

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/29333> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Hengel, Theodorus Jan Cornelis van

Title: The Diving Dutchman : het marien-gravimetrisch onderzoek van F.A. Vening Meinesz (1887-1966)

Issue Date: 2014-10-22

Curriculum Vitae

Theo van Hengel werd in 1940 in Utrecht geboren. Na een gymnasiale schoolopleiding en de vervulling van de dienstplicht studeerde hij vanaf 1962 Geologie met keuzerichtingen Geofysica en Bedrijfseconomie aan de Rijksuniversiteit te Utrecht, waar hij vanaf 1964 aan het Vening Meinesz Laboratorium voor Geofysica en Geochemie was verbonden als student-assistent van professor W.Nieuwenkamp. Na zijn afstuderen in 1969 was hij tot 1996 in binnen- en buitenland werkzaam in dienst van de Kon./Shell Groep in verschillende functies op het gebied van Exploratie of Productie.

Na zijn pensionering begon hij in 1996 aan de Universiteit te Leiden de studie Geschiedenis met het specialisme Zeegeschiedenis en keuze-richtingen (Maritieme) Archeologie en Geschiedenis der Natuurwetenschappen, waarvan het doctoraal examen in 2002 werd afgelegd en waarvan deze dissertatie de afsluiting is.

Geraapleegde Bronnen en informanten

KAW	<i>Verslagen en Mededelingen der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen.</i>
KNAW	<i>Proceedings of the Section of Natural Sciences of the Royal Dutch Academy of Sciences.</i>
KNGMG	<i>Verhandelingen van het Koninklijk Nederlandsch Geologisch – Mijnbouwkundig Genootschap, Geologische Serie.</i>
NA	<i>Nationaal Archief</i>
RCG	<i>Jaarverslag van de Rijkscommissie voor Graadmeting en Waterpassing {vanaf 1937 Nederlandse Commissie voor Geodesie}.</i>
TAG	<i>Tijdschrift van het Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap, Tweede Serie.</i>

Overige informatieverschaffers

Over familie-achtergronden en het milieu, waarin Vening Meinesz opgroeide, gaven Ursula den Tex' *Erfgenenamen* (2009) en enkele andere publikaties over toentertijd in vergelijkbare omstandigheden verkerende families een goede impressie. Het daaruit gevormde beeld kon worden aangevuld met mondeling verkregen herinneringen uit een recenter verleden van de volgende personen:

Prof. Dr.E.den Tex (1918 – 2012), gesprek op 23 september 2003;

Prof.Ir.G.J.Bruins (1909 – 2007), gesprek op 27 januari en op 3 februari 2004;

Mevr. P.J.H.van Marle - van Riemsbergen (1921 – 2008), gesprek op 17 februari 2004;

Dr.D.R. de Vletter (1916 – 2008), gesprek op 11 september 2004;

Ir.J.van Vliet, telefonisch onderhoud op 4 februari 2005.

In het Depôt van de Nederlandse Commissie voor Geodesie in Delft is materieel erfgoed - zoals Vening Meinesz' slingerapparaat, vele van zijn waarnemingsregistraties, zijn koffer met gravimetrisch opnamemateriaal en de bijbehorende lichtdichte opbergblikken en enkele notitieboekjes uit de periode tussen 1910 en 1939 - aanwezig, terwijl diktaten van de periode 1936 – 1956, notitieboekjes over de periode 1948 – 1959 en enig "curiosa" in de Bibliotheek aldaar worden bewaard.

In het Museum van de Universiteit te Utrecht zijn enkele fotoboeken en een dagboekje van Vening Meinesz, bijgehouden gedurende zijn reis naar de Verenigde Staten eind 1945, aanwezig.

Alfabetische literaturopgave

Aardoom, L., "Over het drie-slingertoestel van professor F.A.Vening Meinesz: dat het vraagstuk der slingerwaarnemingen op zee geacht kan worden definitief te zijn opgelost", in: *De Hollandsche Cirkel* 3 (2007) 91 – 108.

Aken, H.M. van, "Dutch oceanographic research in Indonesia in colonial times", in: *Oceanography* 18, 4 (2005).

Allwardt, A.O., "Evolution of the tectogene concept, 1930 – 1960". In: K.Benson en P. Rehbock (eds), *Oceanography. The Pacific and beyond* (? 1995) 480 - 92

- Angenent, A.W.P. (red), *Alles wel; geen bijzonders !! Gedenkboek ter herinnering aan de vermaarde wereldreis van Hr.Ms. Onderzeeboot K XVIII van 14 november 1934 tot 11 juli 1935* (Den Helder 1935).
- (Anon.), "De zwaartekrachtbepalingen van prof. Vening Meinesz", in: *TAG* 2 44 (1927) 310 – 311 ; 654 – 655.
- (Anon.), "De jaren 1940 tot 1945", in: *Geografisch Tijdschrift* VIII (1974) 296 – 300.
- (Anon.). "De handel volgt de wetenschap", in: Wentholt, A, (red.), *In kaart gebracht met kapmes en kompas* (tweede druk; Heerlen /Utrecht 2004) 16 - 38.
- (Anon.), "Sterrengebergte", in: Wentholt, A, (red.), *In kaart gebracht met kapmes en kompas* (tweede druk; Heerlen /Utrecht 2004) 104 – 117.
- Anten, J., *Navalisme nekt onderzeeboot. De invloed van internationale zeestrategieën op de Nederlandse zeestrategie voor de defensie van Nederlands Indië, 1919 – 1942* (Amsterdam 2011).
- Baarda, W., "Geodetische aspecten van het werk van Vening Meinesz", in: *Verslag van de bijzondere zitting van de afdeling Natuurkunde op vrijdag 18 december 1987 ter ere van de herdenking van de 100ste geboortedag van F.A.Vening Meinesz* (Amsterdam 1987) 4 – 24.
- Baarda, W., "Zonder titel. Jacob Menno Tienstra", in: K.F.Wakker (red.) *Delfts goud. Leven en werken van achttien markante hoogleraren* (Delft 2002) 122 – 134.
- Backer Dirks, F.C., *De gouvernementsmarine in het voormalige Nederlands Indië 1861 - 1949* (Bussum 1986).
- Badgley, P.C., *Structural and tectonic principles* (New York 1965).
- Bakker, M. e. a. (red.). *Amsterdam in de tweede Gouden Eeuw* (Bussum 2000).
- Bank, Jan en Maarten van Buuren, *1900. Hoogtij van burgerlijke cultuur* (Den Haag 2000).
- Baudet, H., *De lange weg naar de Technische Universiteit Delft. De Delftsche Ingenieursschool en haar voorgeschiedenis* (2 dln Den Haag 1992).
- Barzilay, W.F., "The reception of Wegener's theory in the Netherlands", in: T. van Loon en H. Doust (eds) *Dutch Earth Sciences. Development and Impact*. (Den Haag 2012) 123 – 125.
- Beishuizen, J., en E.Werkman, *De magere jaren* (Leiden 1976).
- Bemmelen, R.W. van. "De undatie theorie; hare afleiding en toepassing op het westelijk deel van den Soendaboog", in: *Nat. Tijdschr. Ned. Indië* 92 I (Batavia 1932) 85 – 242.
- Bemmelen, R.W. van. "De undatie theorie; hare afleiding en toepassing op het westelijk deel van den Soendaboog", in: *Nat. Tijdschr. Ned. Indië* 92 II (Batavia 1932) 373 – 402.
- Bemmelen, R.W.van, "The undation theory", in: *Geologie & Mijnbouw* 56 (Den Haag 1977) 263 – 269.
- Benioff, H., "Seismic evidence for crustal structure and tectonic activity", in: Arie Poldervaart (red.), *Crust of the earth. A symposium*. Geol. Soc. America Special Paper 62 (New York 1955) 61 - 74.
- Bennekom, J.van, *Geschiedenis van het zoölogisch station en het Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee* (Den Burg 2001).
- Berkel, K. van, *In het voetspoor van Stevin* (Amsterdam 1985).
- Berkel, K. van, *Citaten uit het boek der natuur* (Amsterdam 1998).

- Berkel, K. van, *De stem van de Wetenschap. Geschiedenis van de KNAW, dl II (1914 - 2008* (Den Haag 2011).
- Berkers, E. e.a., *De aarde verdeeld en verbeeld, berekend en getekend* (Zutphen 2004).
- Berkers, E., "De aarde als planeet", in: E.Berkers e.a.(red), *De aarde verdeeld en verbeeld, berekend en getekend* (Zutphen 2004) 23 – 51.
- Berlage, H.P., "A provisional catalogue of deep-focus earthquakes in the Netherlands East Indies 1918 – 1936", in: *Gerlands Beitrage zur Geophysik* 50 (1936) 7 – 17.
- Beunders, H.J.G., *Weg met de vlootwet* (Bergen 1984).
- Bles, H. de, "Een perscampagne", in: (V. Enthoven (red.) *Een saluut van 26 schoten* (Amsterdam 2005) 53 – 66.
- Bloemhof, J.L., *Amersfoort '40 – '45* (Amersfoort 1990).
- Blom, J.C.H., *De muijer op de "Zeven Provinciën"* (Bussum 1975).
- Blusse, L. en Ilonka Ooms (red.), *Kennis en compagnie* (Amsterdam 2002).
- Boom. B.van der, "Fascisten in de polder", in: (Dennis Bos e.a. (red)) *Harmonie in Holland* (Amsterdam 2007) 194 – 215.
- Bosscher, Flip, "Jaren van loutering", in: (L.Akveld e.a. (red.) *In het kielzog* (Amsterdam 2003) 30 – 39.
- Bottema, O., "In memoriam F.A.Vening Meinesz", in : *De Gids* 129, 9 (Amsterdam 1966) 252 - 253.
- Botting, D., *Humboldt and the Cosmos* (New York 1973).
- Boyle, Robert, *Tracts written by the Honourable Robert Boyle. About the cosmicall qualities of things. Cosmicall suspitions. The temperature of the submarine regions. The temperature of the subterraneall regions. The bottom of the sea* (Oxford 1671).
- Bowie, W., "A survey of research problems in Geophysics", in: *Proceedings of the National Academy of Sciences VI*, 10 (1920) 547.
- Bowler, P.J., *The environmental sciences* (London 1992).
- Broberg, G., *Carl Linnaeus* (Stockholm 2006).
- Browne, B.C., "The British submarine gravity survey of 1946", in: *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* 840 (1947) 173 – 176.
- Bruin, K., *Een Herenwereld ontleed* (Amsterdam 1980).
- Bruins, G.J. (ed.), *Gravity expeditions at sea 1948 – 1958 Vol V* (Delft 1960).
- Bruins, G.J., "Professor Dr.Ir.F.A.Vening Meinesz: bij de herdenking van zijn 100ste geboortejaar", in: *Geodesia* (1987) 442 – 456.
- Bruins, G.J., en J.G.J.Scholte. "Felix Andries Vening Meinesz", in: *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society Vol 13* (1967) 295 – 308.
- Bruyne A. de, e. a., "De verslagen omtrent den tocht met de "Willem Barents" naar en in de IJszee", in: *TAG I,4. Bijbladen 5 & 6* (Amsterdam 1880).
- Bucher, W.H., *The deformation of the earth's crust* (Princeton 1933).
- Bucher, W.H., "Deformation in orogenic belts", in: (A. Poldervaart (red.) *Crust of the earth. A symposium*. Geol. Soc. America Special Paper 62 (New York 1955) 343 – 368.
- Buijze, W., *G.E.Rumphius' reis naar Portugal 1645 – 1648* (Den Haag 2002).
- Bijlaard,P.P., "Theorie des deformations plastiques et locales par rapport aux anomalies negatives de la gravité, aux fosses oceaniques, aux geosynclinaux etc.", in: *Rapport Congr Edinbourg UGGI* (z.p. 1936).

- Cannegieter, H.G. (red.), *Koninklijk Nederlandsch Meteorologisch Instituut 1854 – 1954* (Den Haag 1954).
- Carey, S.W., "A tectonic approach to continental drift", in: S.W.Carey (ed.) *Continental Drift. A symposium* (Hobarth 1958) 117 – 355.
- Chambon, Albert, *100 000 zeemijl per onderzeeboot met professor Vening Meinesz* (Den Helder 1939).
- Chaplin, J.E., *The first scientific American* (New York 2006).
- Charnock, H., "'HMS Challenger' and the development of marine science", in: *Journal of navigation* 25,1 (1973) 5.
- Chun, C., *Uit de diepte der wereldzee* (Zutphen 1903).
- Cohen, F., *De herschepping van de wereld. Het ontstaan van de moderne natuurwetenschap verklaard* (Amsterdam 2007).
- Collette, B.J., "The gravity field of the Northsea", in: G.J.Bruins (ed.) *Gravity expeditions at sea 1948 – 1958 Vol V* (Delft 1960) 47 – 77.
- Collette, B.J., "In memoriam Prof.Dr.Ir. Felix Andries Vening Meinesz", in: *Geologie en Mijnbouw* 45 (1966) 285 – 290.
- Collette, B.J., "Vening Meinesz' knik-hypothese en de Theorie van Wegener", in: *Verslag van de bijzondere zitting van de afdeling Natuurkunde op vrijdag 18 december 1987 ter ere van de herdenking van de 100ste geboortedag van F.A.Vening Meinesz* (Amsterdam 1987) 26 – 38.
- Coster, H.P., *The gravity field of the Western and Central Mediterranean* (Amsterdam 1945).
- Dawson Adams, F., *The birth and development of the geological sciences* (New York 1954).
- Deacon, G.E.R. (red.), *Oceans. An atlas-history of man's exploration of the deep* (London 1969).
- Deacon, Margaret. *Scientists and the sea 1650 – 1900. A study of marine science* (London 1997).
- Deacon, M.B., "How the science of oceanography developed", in: C.P. Summerhayes, en S.A.Thorpe (red.), *Oceanography* (London 1998) 9 – 26.
- Dekkers, C.A., "C. den Boer Jr.; honderd jaar drukker van Marineblad", in: (D.C.L. Schoonoord (red.) *Honderd Jaargangen Marineblad* (Den Haag 1990) 248 – 263.
- Dekkers, M.J. e.a. "Analysis of paleomagnetic data: a tribute to Hans Zijderveld", in: *Geologie en Mijnbouw* 76 1-2 (1997) 1 – 8.
- Dibbets, K. en F. van der Maden (red.), *Geschiedenis van de Nederlandse Film en Bioscoop tot 1940* (tweede druk: Houten 1986).
- Dissel, A.M.C.van, "Koninklijke Marine – In dienst van de Wetenschap", in: Wentholt, A. (red.), *In kaart gebracht met kapmes en kompas* (tweede druk; Heerlen / Utrecht 2004) 350 – 357.
- Dorrestein, H., "Over de betekenis van de gelijkenis der kusten aan weerszijden van de zuidelijken Atlantische Oceaan als argument voor de hypothese der continentverschuiving", in: *TAG* 2 57 (1940) 89.
- Drees, W. e.a. (red.), *Prof.Dr.Ir.W.Schermerhorn. Minister-President van herrijzend Nederland* (Naarden 1977).
- Duncan, F., *Rickover. The struggle for Excellence* (Annapolis 2002).
- Escher, B.G., *Algemene Geologie* (vierde druk; Amsterdam 1934).

- Ewing, Clair E., "Research and development in the field of geodatic science", in: *USAF Surveys in geophysics* 124 (1960).
- Ewing, M., "Gravity measurements on the USS "Barracuda", in: *Trans. Am. Geoph. Union* 18 (1937) 66 – 69.
- Ewing, M. et al., "Gravity observations at sea in US submarines Barracuda, Fisk, Conger, Argonaut and Madregal", in: A.van Weelden (ed.) *Gedenkboek F.A.Vening Meinesz. Verschenen als Deel XVIII van de Geologische Serie van de Verhandelingen van het Koninklijk Nederlandsch Geologisch-Mijnbouwkundig Genootschap* (Den Haag 1957) 49 – 115.
- Field, R.M., "Symposium on the application of geophysics to ocean basins and margins", in: *Trans Am, Geoph. Union* 13 (1932) 11 – 12.
- Field, R.M., "Felix Alexander Vening Meinesz; exponent of international cooperation through geoscience", in: P.Honig and F.Verdoorn, (red.) *Science and scientists in the Netherlands Indies* (New York City 1945) 99 – 104.
- Flim, B.J., "*Omdat hun hart sprak*". *Geschiedenis van de georganiseerde hulp aan Joodse kinderen in Nederland, 1942 – 1945* (Kampen 1995).
- Fraser, R., "Seventy-six years young. A portrait of F.A.Vening Meinesz", in: *ICSU Review of World Sciences* 6 (Amsterdam 1964) 112 – 115.
- Galbraith, J.K., *The new industrial state* (New York 1968; vierde druk).
- George, J.L., *History of warships* (London 1999).
- Hall, M.C.van, *Drie eeuwen. De kroniek van een Nederlandse familie* (Amsterdam 1961).
- Hamilton, W., *Tectonics of the Indonesian Region* USGS Prof. Paper 1078 (Washington 1979).
- Hazelhoff Roelfzema, H., "De betekenis van de zwaartekrachtmetingen genomen door Prof.Dr.Ir.F.A.Vening Meinesz van September 1923 tot augustus 1939", in: *Jaarverslag Vereniging Nederlandsch Historisch Scheepvaart Museum* (Amsterdam 1982) 55 – 61.
- Hazelhoff Roelfzema, H., "Vlagvertoon en publiciteit tijdens de reis van Hr.Ms. K XVIII", in: *Jaarverslag Vereniging Nederlandsch Historisch Scheepvaart Museum* (Amsterdam 1982) 62 – 71.
- Heath, B., *Discovering the Great Southland* (z.p. 2005).
- Heiskanen, W.A., "Some personal glimpses of professor Vening Meinesz", in: A.van Weelden (ed.) *Gedenkboek F.A.Vening Meinesz. Verschenen als Deel XVIII van de Geologische Serie van de Verhandelingen van het Koninklijk Nederlandsch Geologisch-Mijnbouwkundig Genootschap* (Den Haag 1957) xxxii.
- Heiskanen, W.A., "International co-operation in physical geodesy", in: A.van Weelden (ed.) *Gedenkboek F.A.Vening Meinesz. Verschenen als Deel XVIII van de Geologische Serie van de Verhandelingen van het Koninklijk Nederlandsch Geologisch-Mijnbouwkundig Genootschap* (Den Haag 1957) 177 – 181.
- Heiskanen, W.A. en F.A.Vening Meinesz, *The earth and its gravity field* (New York 1958).

- Hengel, T.J.C. van, "F. A. Vening Meinesz; the Diving Dutchman", in: T. van Loon en H. Doust (eds) *Dutch Earth Sciences. Development and Impact*. (Den Haag 2012) 120 – 22; 256 – 57.
- Hess, H.H., "Geological interpretation of data collected on the USS "Barracuda". Preliminary results", in: *Trans. Am. Geoph. Union* 18 (1937) 69 – 77.
- Hess, H.H. "Major structural features of the Western Northern Pacific", in: *Bull. Geol. Soc. America* 59 (1948) 417 – 446.
- Hess, H.H., "The Vening Meinesz negative gravity-anomaly belt of island-arcs 1926 – 1956", in: A.van Weelden (ed.) *Gedenkboek F.A.Vening Meinesz*. Verschenen als Deel XVIII van de *Geologische Serie van de Verhandelingen van het Koninklijk Nederlandsch Geologisch-Mijnbouwkundig Genootschap* (Den Haag 1957) 183 -188.
- Hess, H.H., "History of the ocean basins" in: A.E.J.Engel en H.L.James (eds) *Petrologic Studies; a volume to honor A.F.Buddington* (Denver 1962) 599 – 620.
- Holmes, A., *Principles of physical geology* (eerste editie; London 1944).
- Holmes, A., *Principles of physical geology* (tweede editie; London 1964).
- Holmes, Arthur, "Continental Drift. (Review of the 1926 Symposium proceedings on Continental Drift) . *Nature* 122 (1928) 431 e.v.
- Hoop, A.T.de, "Wisselende stromen en krijtformules", in: K.F.Wakker (red.) *Delfts goud. Leven en werken van achttien markante hoogleraren* (Delft 2002) 40 - 53.
- Hooijkaas, R., "De natuurwetenschap in de eeuw der genootschappen", in: H.A.M.Snelders en K. van Berkel (red) *Natuurwetenschappen van Renaissance tot Darwin* (Den Haag 1981) 131 – 167.
- Hsu, K.J., *Challenger at sea* (Princeton 1992).
- Hubbert, M.K., "Theory of scalemodels as applied to the study of geological structures", in: *Bull G.S.A.* 96 1 (1937) 1459 – 1520.
- Huxley, R. (red.), *Great naturalists* (Londo 2007).
- Irwin, W.D., "Oddball S-Boat", in: Paul Stilwell (ed.) *Submarine Stories* (z.p. 2007) 62 – 66.
- Jalhay, P.C., *Nederlandse Onderzeedienst 75 jaar* (Bussum 1982).
- Jamin, H., *Kennis als opdracht. De Universiteit Utrecht 1636 – 2001* (Utrecht 2001).
- Johnston, P.F., "Antikythera wreck", in: J.P.Delgado (red.), *Encyclopedia of underwater archaeology* (London 1997).
- Jong, W.J., "In memoriam Prof.Dr.Ir.F.A.Vening Meinesz", in: *Geogr. Tijdschrift* 19 (1966) 193 – 194.
- Jong, L.de, *Het Koninkrijk der Nederlanden in de Tweede Wereldoorlog VI tweede helft* (Den Haag 1975).
- Jungslager, J., *Recht zo die gaat* (Den Haag 1991).
- Kahn, M.A., "Gravimetry", in: G.A.Good (red.), *Sciences of the earth I*, (London 1998).
- Kersten, A.E., *Een organisatie van en voor onderzoekers: de Nederlandse Organisatie voor Zuiver-Wetenschappelijk Onderzoek (Z.W.O.) 1947 – 1988* (Assen 1996).
- Kevles, D.J., *The physicists. The history of a scientific community in modern America* (New York 1997).

- Klein, A.J. en J.Visser, "Genealogie (Vening) Meinesz", in: *Gens Nostra* 27 (1972) 132 – 3.
- Korteweg, J., *Hollands Glorie ? De Nederlandse zeesleepvaart als nationaal symbool* (Amsterdam 2000).
- Kroon, L.D.de en Haye Thomas, *Van linieschip tot vliegkampschip* (Amsterdam 1964).
- Kuenen, Ph. H., *Marine geology* (New York 1950).
- Kuenen, Ph. H., "The negative isostatic anomalies in the East Indies", in: *Leidsche Geologische Mededelingen* 8 (Leiden 1936) 169 – 214.
- Kuenen, Ph.H., "No geology without marine geology", in: *Geol. Rundschau* 47 (1957) 1 – 10.
- Kuhn, T.S., *The structure of scientific revolutions* (Chicago 1996).
- Kuiper, H., *Poolbewegingen ten gevolge van Poolvluchtkracht* (Amsterdam 1943).
- Laar, J.N. van, "De Eelerberg". *Bosontwikkeling en bosbeheer van een landgoed op de Sallandse Heuvelrug* (z.p. 1993).
- Laar, P. van de, *Stad van formaat. Geschiedenis van Rotterdam in de negentiende en twintigste eeuw* (Zwolle 2000).
- Lambert, W.D., "Stokes' formula in geodesy", in: *Nature* 129 (1932) 831 – 832.
- Lane-Fox, R., *The classical world. The epic history of Greece and Rome* (London 2005).
- Laudan, R., "Oceanography and geophysical theory in the first half of the twentieth century. The Dutch School", in: M. Sears en D. Merriman (eds), *Oceanography. The Past* (New York 1980) 656 - 666
- Laughton, A. e.a., *Of seas and ships and scientists. The remarkable history of the UK's National Institute of Oceanography 1949 – 1973* (Cambridge 2010).
- Lawrence, D.M., *Upheaval from the abyss* (New Brunswick 2002).
- Leakey, R.E. en L.J.Slikkerveer, *Man – ape, ape – man. The quest for human's place in nature and Dubois' "missing link"* (Leiden 1993).
- Leeuw, M. den en M.Pruys (red.), *De Gouden Bocht van Amsterdam* (Den Haag 2006).
- Leeuw, G.van der, *Nationale cultuurtaak* (Den Haag 1947).
- LeGrand, H.E, *Drifting continents and shifting theories* (Cambridge 1988).
- LeRoy Ladurie, E., *The ancien regime: a history of France 1610 – 1774* (Oxford 1996).
- Lewis, C., *The dating game* (Cambridge 2000).
- Linden, C. van der en M.S.Wytema, *Met Hr.Ms.K XIII naar Nederlandsch-Indië. Een onderzeeboottocht van meer dan 20 000 zeemijlen* (Amsterdam 1927).
- Loo, V. van de, *Toekomst door traditie* (Zutphen 1996).
- Mackay, J.H. baron, "De geschiedenis van de onderzeeboot", in: C.J.W. van Waning e.a. (red.), *Wegduiken....! De Nederlandse Onderzeedienst 1906–1966* (Den Haag z.j.) 466 – 499.
- Mak, G., *De eeuw van mijn vader* (Amsterdam 2003).
- Maury, M.F., *The physical geography of the sea and its meteorology* (? 1855).
- Marsili, L.F. *Histoire physique de la mer. Ouvrage enrichi de figures dessinées d'apres le naturel* (Amsterdam 1725).
- Meijer, B. "Leven aan de Bocht in de negentiende eeuw", in: M. den Leeuw en M.Pruys (red.), *De Gouden Bocht van Amsterdam* (Den Haag 2006) 236.

- Mekel, J.A.A., *Theorie van het tectonisch-gravimetrisch onderzoek* (Delft 1928).
- Menard, W.H., *The ocean of truth; a personal history of global tectonics* (Princeton 1986).
- Meijering, J.L. en C.J.M. Rooijmans, "On the olivine – spinel transition in the earth's mantle", in: *KNAW LXI* (Amsterdam 1958) 333 – 344.
- Molengraaff, G.A.F., "The coral reef problem and isostasy", in: *KNAW XIX* (Amsterdam 1916) 610 – 27.
- Molengraaff, G.A.F., "Geologie", in: J.P. van der Stok (red.) *De zeeën in Nederlandsch Oost Indië* (Leiden 1922) 285 – 300.
- Mörzer Bruyns, W.F.J. (red), *De eerste tocht van de Willem Barents naar de Noordelijke IJszee 1878: De dagboeken van Antonius de Bruijne en Bastiaan Gerardus Baljé*. 2dl. Werken uitgegeven door de Linschoten Vereeniging; vols. 84-85. (Zutphen 1985).
- Muller, J.J.A., *Het tegenwoordig standpunt der geodesie* (Leiden 1909).
- Muller, J.J.A., "De gravimetrische opneming der zeeën van Nederlandsch-Indië", in: *TAG 2* 47 (1930) 702 – 707.
- Muller, J.J.A., "Het werk van Prof. Dr. F.A. Vening Meinesz", in: A.W.P. Angenent (ed), *Alles wel; geen bijzonders !! Gedenkboek ter herinnering aan de vermaarde wereldreis van Hr. Ms. Onderzeeboot K XVIII van 14 november 1934 tot 11 juli 1935* (Den Helder 1935) 137 – 141.
- Nieuwenkamp, W., "Herdenking van Felix Andries Vening Meinesz", in: *Jaarboek 1966 der KNAW* (Amsterdam 1967) 364 – 370.
- Nieuwenkamp, W., "Felix Andries Vening Meinesz", in: *Dictionnary of scientific biography XIII* (1976) 605 - 611.
- Obbema, P.F.J., "De dierenwereld", in: R. Breugelmans (red.), *Goed gezien* (Leiden 1987).
- Oldroyd, D., *Thinking about the earth. A history of ideas in geology* (London 1996).
- Oosterwijk, B., *Vlucht na victorie. Lodewijk Pincoffs (1827 – 1911)* (Rotterdam 1979).
- Oreskes, Naomi, *The rejection of Continental Drift* (New York 1999).
- Oreskes, Naomi (red.), *Plate Tectonics. An insider's history of the modern theory of the earth* (Cambridge 2001).
- Oreskes, Naomi, "Eleanor Lamson and the reduction of marine gravity data", in: *Osiris* 11 (New York 1996) 90 – 102.
- Otterspeer, W., en J. Schuller tot Peursum – Meijer, *Wetenschap en wereldvrede. De Koninklijke Akademie van Wetenschappen en het herstel van de internationale wetenschap tijdens het Interbellum* (Amsterdam 1997).
- Pater, B. de, *Een tempel der kaarten* (Utrecht 1999).
- Pfannenstiel, M., "Das Meer in der Geschichte der Geologie", in: *Geol. Rundschau* 60 (1970) 3 – 72.
- Plinius the Elder, *Natural history. A selection* (London 1991).
- Poldervaart, Arie (red.), *Crust of the earth. A symposium*. Geol. Soc. America Special Paper 62 (New York 1955).
- Ponsteen, A., *Het kerkdorp Hellendoorn in vroeger eeuwen* (z.p. 1970).
- Puchinger, G., "Gesprekken met Dr. G. Puchinger over het minister-presidentschap" in: W. Drees e.a. (red.) *Minister-President in herrijzend Nederland* (Naarden 1977) 37 – 118.

- Puchinger, G., *Nederlandse Minister-Presidenten van de twintigste eeuw* (Amsterdam 1984).
- Pyenson, L., *Empire of reason; Exact sciences in Indonesia, 1840 – 1940* (Leiden 1989).
- Pyenson, L. en Susan Sheets-Pyenson, *Servants of nature. A history of scientific institutions, enterprises and sensibilities* (London 1999).
- Raff, A.D. en R.G. Mason, "Magnetic survey off the West coast of North America", in: *Bull. Geol. Soc. America* 72 (1961) 1267 – 1270.
- Revelle, R. en R. Maxwell, "Heat-flow through the floor of the eastern Pacific Ocean", in: *Nature* 170 (1952) 199 – 200.
- (Riel, P.M.van), "Een Nederlandsche oceanografische expeditie in de zeeën van Nederlandsch Indië", in: *TAG* 2 45 (1928) 370 – 372.
- Rigby, N. en P.van der Merwe, *Captain Cook in the Pacific* (London 2002).
- Rod, E., "Strike-slip faults of Northern Venezuela", in: *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.* 40 (1956) 457 – 476.
- Rooij, G.de, en S.J.A.Heemstra, "De scheepsbouwkundige ontwikkeling van de onderzeeboot", in: C.J.W.van Waning e.a. (red,) *Wegduiken....! De Nederlandse Onderzeedienst 1906–1966* (Den Haag z.j.) 520 – 545.
- Runcorn, S.K., "Vening Meinesz and convection in the earth's mantle: from static to dynamic models of the earth's interior", in: *Verslag van de bijzondere zitting van de afdeling Natuurkunde op vrijdag 18 december 1987 ter ere van de herdenking van de 100ste geboortedag van F.A.Vening Meinesz* (Amsterdam 1987) 43 – 45.
- Rutten, L.M.R., "Alfred Wegener", in: *TAG* 2 48 (1931) 936 – 937.
- Rutten, M.G., "Paleomagnetism and Tethys" in: *Geol. Rundschau* 53 (1964) 9 – 16.
- Rutten, M.G., "Discussion", in: P.M.S.Blackett et al (red.) *A Symposium on Continental Drift* Vol 258 van de *Phil Trans R.S. London* (1965) 59 – 68; 321.
- Savours, Ann, *The voyages of the Discovery* (London 1994).
- Schade van Westrum, L.C., *Amsterdam per vigilante* (Utrecht 1963).
- Schatzkin, P., *Defying gravity. The parallel universe of T.Townsend Brown* (e-book 2011).
- Schermerhorn, W., "Gesprekken met Dr.W.Puchinger over het minister-presidentschap", in: Drees, W., e.a. (red.), *Prof.Dr.Ir.W.Schermerhorn. Minister-President van herrijzend Nederland* (Naarden 1977) 37 – 118.
- Schleinitz, G.E.G.von en D.Rottok (red.), *Die Forschungsreise S.M.S."Gazelle"* (Berlin 1889).
- Schouten, M.G.C., *Spiegel van de natuur* (Utrecht 2005).
- Schraaf, N. van der (red.), *The centenary of the Netherlands Geodetic Commission* (Delft 1979).
- Schaffer, S., "Joseph Priestley", in: Lissa Roberts (red.) *Wetenschap is Cultuur* (Amsterdam 2005) 141 – 151.
- Shepard, F.P., *Submarine geology* (New York 1948)
- Sitter, L.U.de, e.a., *Eindverslag van het geofysisch onderzoek in Z.O. Nederland door de Geologische Dienst der Staatsmijnen* (Maastricht 1949).
- Sluysen, M. et al. (red.), *Twaalf Burgemeesters; 500 jaar Amsterdam* (Amsterdam 1939).
- Sokol. H.H., *20 000 Meilen im U-Boot* (Wenen 1938).
- Stenvert, R., e.a., *Monumenten in Nederland. Overijssel* (Zwolle 1998).

- Stoneley, R., "International co-operation in geodesy and geophysics", in: A.van Weelden (ed.) *Gedenkboek F.A.Vening Meinesz*. Verschenen als Deel XVIII van de *Geologische Serie van de Verhandelingen van het Koninklijk Nederlandsch Geologisch-Mijnbouwkundig Genootschap* (Den Haag 1957) xxxv – xxxvii.
- Summerhayes, C.P. en S.A.Thorpe (red.), *Oceanography* (London 1998).
- Sverdrup, H.U., M.W.Johnson en R.Fleming, *The oceans; their physics, chemistry and general biology* (Englewood Cliffs 1942).
- Swarte, J.L., "Honderd jaargangen belangenbehartiging", in: D.C.L. Schoonoord (red.) *Honderd Jaargangen Marineblad* (Den Haag 1990) 224 - 238.
- Tardi, P., "Le Professeur F.A.Vening Meinesz. President de l'A.I.G.(1933 – 1945)", in: A.van Weelden (ed.) *Gedenkboek F.A.Vening Meinesz*. Verschenen als Deel XVIII van de *Geologische Serie van de Verhandelingen van het Koninklijk Nederlandsch Geologisch-Mijnbouwkundig Genootschap* (Den Haag 1957) xlii.
- Tavenraat, J.J., "In memoriam Burgemeester Meinesz", in: *Rotterdamsch Jaarboekje* 9 (Rotterdam 1911) 3-4.
- Tex, E. den, "Education in geology and mining engineering", in: W.A.Visser e.a. (red.), *Seventy-five years of geology and mining in the Netherlands (1912 – 1987)* (Den Haag 1987) 67 – 79.
- Tex, E. den, "Dankwoord", in: *Geologie en Mijnbouw* 68 (1989) 154.
- Tex, U. den, *Anna baronesse Bentinck (1902 – 1989). Een vrouw van stand* (Amsterdam 2003).
- Tex, U. den, *Erfgenamen. Het verhaal van een Nederlandse familie van aanzien en vermogen* (Amsterdam 2009).
- Tharp, M., "Mapping the oceanfloor: 1947 – 1977", in: R.A. Scrutton en M.Talwani (eds) *The ocean floor* (London 1982) 19 – 31.
- Thiadens, A.A., "Meinesz, Felix Andries", in: *Biografisch Woordenboek van Nederland 2* (Den Haag 1985) 386 – 389.
- Thomson, C.W. en J.Murray (red.), *The report on the scientific results of the exploring voyage of HMS Challenger during the years 1873 – 1876. Narrative of the voyage* (London 1885).
- Toit, A.L. du, "The origin of the Atlantic – Arctic-Ocean", in: *Geol. Rundschau* 30 (1939) 138 – 147.
- Treub, M.W.F., "Bij het portret van Mr. S.A.Vening Meinesz", in: *Eigen Haard* (Amsterdam 1897) 356.
- Umbgrove, J.H.F., *The pulse of the earth* (Den Haag 1942).
- Veen, F.R.van, *Een avontuurlijk geleerde. Gustaaf Molengraaff (1860 – 1942)* (Delft 2004).
- Veldkamp, J., *Geofysica* (Utrecht 1965).
- Veldkamp, J., *History of geophysical research in the Netherlands and its former overseas territories*, Deel 32 der *Verhandelingen der KNAW*, afd. Natuurkunde (Amsterdam 1984).
- Veldkamp, J., "Zwaartekracht", in: B.G.Escher e.a. (red.) *E.N.S.I.E V* (Amsterdam 1948) 33 – 41.
- Veldkamp, J., "De betekenis van Felix Andries Vening Meinesz voor geodesie en geofysica", in: *Zenit* 14 2 (1986) 50 – 58.
- Verstappen, H., *Zwerftocht door een wereld in beweging* (Assen 2006).

- Vine, F.J., "Spreading of the ocean floor: new evidence", in: *Science* 154 (1966) 1405 – 15.
- Visser, W.A., "The advance of geophysics in exploration", in: Idem e.a. (red.), *Seventy-five years of geology and mining in the Netherlands (1912 – 1987)* (Den Haag 1987) 167 – 198.
- Visser, S.W., "On the distribution of earthquakes in the Netherlands East Indian Archipelago", in: *Verh. Kon. Magn. Met. Obs, Batavia* 22 (1930).
- Waalewijn, A., *Drie eeuwen Normaal Amsterdams Peil* (Den Haag 1986).
- Waning, C.J.W.van, "Vredesillusies, oorlogsdestructies en vlootwetdiscussies", in: Idem et al (red,) *Wegduiken....! De Nederlandse Onderzeedienst 1906 – 1966* (Den Haag z.j.) 29 – 85.
- Waning, C.J.W. van, "De groei van de onderzeedienst", in: Idem et al (red,) *Wegduiken....! De Nederlandse Onderzeedienst 1906–1966* (Den Haag z.j.) 110 – 168.
- Waning, C.J.W.van, "Chronologisch overzicht 1916 - 1940", in: Idem et al (red,) *Wegduiken....! De Nederlandse Onderzeedienst 1906– 1966* (Den Haag z.j.) 169 - 314.
- Warner, D.J., "Political geodesy; the Army, the Airforce and the World Geodetic System of 1960", in: *Annals of Science* 59 (2002) 363 – 389.
- Warners, C.J., "Vening Meinesz en het Koninklijk Nederlandsch Meteorologisch Instituut", in: A. van Weelden (ed.) *Gedenkboek F.A.Vening Meinesz. Deel XVIII van de Geologische Serie van de Verhandelingen van het Koninklijk Nederlandsch Geologisch- Mijnbouwkundig Genootschap* (Den Haag 1957) xlv - lv.
- Watts, A.B., *Isostasy and flexure of the lithosphere* (Cambridge 2001).
- Weber – van Bosse, A., *Een jaar aan boord H.M."Siboga"* (Amsterdam, 2000).
- Weelden, A. van, "History of gravity observations in the Netherlands" in: A. van Weelden (ed.) *Gedenkboek F.A.Vening Meinesz. Deel XVIII van de Geologische Serie van de Verhandelingen van het Koninklijk Nederlandsch Geologisch-Mijnbouwkundig Genootschap* (Den Haag 1957) 305 – 309.
- Wegener, A., "Die Entstehung der Kontinente", in: *Geol. Rundschau* 3 (1912) 276 – 292.
- Wegener, A., *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (derde editie; Braunschweig 1922); in de Engelse vertaling van J. Biram: "*The origin of continents and oceans*". *Revised edition* (London 1966).
- Wegener, A., *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (vierde editie; Braunschweig 1929).
- Wentholt, A. (red.), *In kaart gebracht met kapmes en kompas* (tweede druk; Heerlen / Utrecht 2004).
- Whitten, C.A., "W.D.Lambert (1879 – 1968)", in: *Biographical Memoir of the National Academy of Sciences* (1973) 147 – 161.
- Wilford, J.N., *The mapmakers* (London 2000).
- Worzel, J.L., en G.L.Shurbet, "Gravity interpretations from standard oceanic and continental crustal sections", in: Arie Poldervaart (red.), *Crust of the earth. A symposium*. Geol. Soc. America Special Paper 62 (New York 1955) 87 - 100.
- Wytema, M.S., "*Klaar voor onderwater!*" *Met Hr.Ms. K XVIII langs een omweg naar Soerabaja* (Amsterdam 1936).
- Zandvliet, K., *Mapping for money* (Amsterdam 1998).

Publikaties van F.A.Vening Meinesz, geraadpleegd voor deze dissertatie

- Bijdragen tot de theorie der slingerwaarnemingen* (Amsterdam 1915)
Observations de pendule dans les Pays – Bas, 1913 – 1921 (Delft 1923).
Theory and practice of pendulum observations at sea (Delft 1929).
(met F.E.Wright) *The gravity measuring cruise of the US Submarine S-21, with an appendix on computational procedure by Miss Eleanor A.Lamson* (Washington 1930).
Relevé gravimétrique maritime de l'archipel Indien (Delft 1931).
Gravity expeditions at sea 1923 – 1930 Vol. I (Delft 1932).
(met J.H.F.Umbgrove en Ph.H.Kuenen) *Gravity expeditions at sea 1923 – 1932 Vol II* (Delft 1934).
Gravity expeditions at sea 1934 – 1939 Vol III (Delft 1941).
Tables for regional and local isostatic reduction (Airy system) for gravity values (Delft 1941).
Kort overzicht der kartografie (Groningen 1941).
Theory and practice of pendulum observations at sea Vol II (Delft 1941).
Gravity expeditions at sea 1923 – 1938 Vol IV (Delft 1948).
(met W.A.Heiskanen) *The earth and its gravity field* (New York 1958).
"Interpretation", in: G.J.Bruins (ed.) *Gravity expeditions at sea 1948 – 1958 Vol V* (Delft 1960) 28 – 34.
Interpretation of gravity anomalies on the west coast of South America and in the Caribbean (Delft 1964).
The earth's crust and mantle (Amsterdam 1964).
- De verhouding van Geodesie tot Geophysica*. Inaugurele rede, uitgesproken op 28 november 1927 (Utrecht 1927).
Evenwichtsverstoringen in de aarde. Inaugurele rede, uitgesproken op 2 november 1939 (Delft 1939).
- "The determination of gravity at sea in a submarine", in: *Geographical Journal* LXV (London 1925) 501 - 521.
"Provisional results of determinations of gravity, made during the voyage of Her Majesty's Submarine K XIII from Holland via Panama to Java", in: *KNAW XXX* (Amsterdam 1927) 743 – 755.
"Gravity survey by submarine via Panama to Java", in: *Geographical Journal* LXXI (London 1928) 144 – 161.
"A formula expressing the deflection of the plumbline in the gravity anomalies and some formulae for the gravity-field and the gravity-potential outside the geoid", in: *KNAW XXXI* (Amsterdam 1928) 315 – 331.
"A gravity expedition of the U.S.Navy", in: *KNAW XXXII* (Amsterdam 1929) 94 – 99.
"Gravity anomalies in the East Indian Archipelago", in: *Geographical Journal* LXXVII (London 1931) 323 – 337.
"By submarine through the Netherlands East Indies", in: *Geographical Journal* LXXVII (London 1931) 338 – 349.
"Over de vorming van aardkorstplooiingen en ketengebergten", in: *TAG 2* 48 (1931) 813 – 826.

- "The gravity expedition of Hr.Ms. O 13 in the Atlantic", in: *KNAW XXXV* (Amsterdam 1932) 1143 – 1149.
- "Gravity and the hypothesis of convection-currents in the earth", in: *KNAW XXXVII* (Amsterdam 1934) 37 – 45.
- "De voorlopige resultaten van het zwaartekrachtsonderzoek tijdens de reis van Hr.Ms. K XVIII", in: *KNAW XXXVIII* (Amsterdam 1935) 108 – 109.
- "Note on "Notes on phenomena of a geophysical nature", in: *TAG 2 53* (1936) 586 - 587.
- "Wat de reis van Hr.Ms. K XVIII voor den vorm van de geoïde opleverde", in: *TAG 2 54* (1937) 3 – 6.
- "The gravity expedition of Hr.Ms. Submarine O 16 in the North Atlantic. January 11 – March 16 1937", in: *KNAW XL* (Amsterdam 1937) 382 – 389.
- "Second order disturbance terms in pendulum observations at sea", in: *KNAW XL* (Amsterdam 1937) 650 – 653.
- "The determination of the earth's plasticity from the post-glacial uplift of Scandinavia; isostatic adjustment", in: *KNAW XL* (Amsterdam 1937) 654 – 662.
- "Inleiding tot "Vier opstellen", in: *TAG 2 56* (1939) 113.
- "De theorie van Wegener", in: *TAG 2 56* (1939) 453 – 457.
- "The earth's crust deformation in the East Indies", in: *KNAW XLIII* (1940) 278 – 293.
- "Gravity over the Hawaiian archipelago and over the Madeira area; conclusions about the earth's crust", in: *KNAW XLIV* (1941) 2 – 12.
- "De aardkorst onder de oceanen", in: *TAG 2 58* (1941) 1033 – 1038.
- "Het zwaartekrachtsveld in Oost- en West Indië; desiderata voor verder zwaartekrachts onderzoek in die gebieden", in: *Handelingen 28ste Ned. Natuur- en Geneeskundig Congres* (Utrecht 1941) 255 – 257.
- "Topography and gravity in the North Atlantic ocean", in: *KNAW XLV* (Amsterdam 1942) 120 - 125.
- "The equilibrium figure of the earth and the indirect isostatic or Bowie reduction", in: *KNAW XLV* (Amsterdam 1942) 611 – 615.
- "Spanningen in de aardkorst ten gevolge van poolverschuivingen. (with a short abstract in English)" in: *(K)NAW XLVI* (Amsterdam 1943) 185 – 195.
- "De verdeling van continenten en oceanen over het aardoppervlak", in: *(K)NAW XLVII* (Amsterdam 1944) 151 – 159.
- "Deep-focus and intermediate earthquakes in the East Indies", in: *KNAW XLIX* (Amsterdam 1946) 855 – 865.
- "The indirect isostatic or Bowie reduction and the equilibrium figure of the earth", in: *Bull Geod., N.S.* 1 (1946).
- "Indrukken opgedaan in Amerika", in: *TAG 2 56* (1947) 128 – 132.
- "Een stormreis met Hr.Ms. "O – 16" naar Washington in 1937", in: *Veertig jaar Onderzeedienst 1906 – 1946* (Amsterdam 1947) 51 – 69.
- "Les graben africaines resultat de compression ou de tension dans la croute terrestre?", in: *Kon. Belg. Kol. Inst. Bull. der Zittingen XXI 2* (1950) 539 – 552.
- "A remarkable feature of the earth's topography, origin of continents and oceans", in: *KNAW LIV* (Amsterdam 1951) 212 – 229.
- "Convection currents in the earth and the origin of the continents" 3 dln, in: *KNAW LV* (Amsterdam 1952) 527 – 553.
- "Physical geodesy", in: *KNAW LVI* (Amsterdam 1953) 19 - 33.

- "The second order corrections for pendulum observations at sea", in: *KNAW* LVI (Amsterdam 1953) 218 – 227.
- "Earthcrust movements in the Netherlands resulting from Fennoscandian postglacial isostatic re-adjustment and alpine foreland rising", in: *KNAW* LVII (Amsterdam 1954) 142 – 155.
- "Correlation between geomagnetic field and tectonic movements ?", in: *KNAW* LVII (Amsterdam 1954) 395 – 399.
- "Plastic buckling of the earth's crust: the origin of geosynclines", in: Arie Poldervaart (red.), *Crust of the earth. A symposium*. Geol. Soc. America Special Paper 62 (New York 1955) 319 - 330.
- "A phase-transition layer between 200 and 900 kilometer depth in the earth?", in: *KNAW* LIX (Amsterdam 1957) 1 – 10.
- "The geophysical history of a geosyncline", in: *KNAW* LX (Amsterdam 1957) 126 – 140.
- "Het kasteel Schuilenburg bij Hellendoorn, vroeger Ter Molen geheten" in: *Verslagen en Mededelingen van de Vereeniging tot Beoefening van Overijsselsch Regt en Geschiedenis*, 73 (1958) 123 – 160.
- "The difference of the tectonic development on the east and the west side of the Pacific", in: *KNAW* LXII (Amsterdam 1959) 26 – 31.
- "The outside gravity-field up to great distance from the earth", in: *KNAW* LXII (Amsterdam 1959) 109 – 114.
- "The results of the development of the earth's topography in spherical harmonics up to the 31st order. Provisional conclusions I & II", in: *KNAW* LXII (Amsterdam 1959) 115 – 136.
- "Convection-currents in the mantle", in: *KNAW* LXIV (Amsterdam 1961) 501 – 511.
- "Continental and ocean-floor topography; mantle convection-currents. Revised paper.", in: *KNAW* LXIV (Amsterdam 1961) 512 – 527.
- "Pattern of convection-currents in the earth's mantle", in: *KNAW* LXV (Amsterdam 1962) 131 – 143.
- "Relative movements of continents", in: *KNAW* LXVI (Amsterdam 1963) 3 – 7.
- "Mantle-currents below the Mediterranean area", in: *KNAW* LXVII (Amsterdam 1964) 215 – 219.
- "The Anchorage earthquake", in: *KNAW* LXVII (Amsterdam 1964) 339 – 340.
- "Origin of the crustal structure of the mid-ocean ridges", in: *KNAW* LXVIII (Amsterdam 1965) 114 – 116.
- "The area where the two parts of the Alpine – Himalayan geosyncline meet each other", in: *KNAW* LXIX (Amsterdam 1966) 55 – 57.
- "The subcrustal current-system between Alps and North Sea in the present period", in: *KNAW* LXIX (Amsterdam 1966) 230 – 234.
- "Zwaartekracht expedities met Nederlandse onderzeeboten 1923–1954", in: C.J.W.van Waning e.a.(red.) *Wegduiken....! De Nederlandse Onderzeedienst 1906 – 1966* (Den Haag z.j.) 315 – 325.
- "De Heiligenberg", in: *FleHITE* 1, 3 (Amersfoort 1965) 38 – 48.
(met V.J.Koningsberger) "Memorandum", in: H.Wagenvoort (red.) *Jaarboek der Rijksuniversiteit te Utrecht 1952 – 1953* (Utrecht 1953) 123 – 161.

Bijlagen

De K II Expeditie (Den Helder 18/9/1923 - Batavia 24/12/1923)

Tenzij anders vermeld is de nu volgende informatie ontleend aan F.A. Vening Meinesz, *Gravity expeditions at sea 1923 – 1930 Vol.1* (Delft 1932) 11 – 30.

Doelstelling

Evaluatie van de bruikbaarheid van duikboten als stabiel platform voor zwaartekracht-meting op zee met behulp van slingerapparatuur;
Vestiging van zwaartekrachtbasis-stations in Nederlands-Indië.

Vaarroute

Den Helder - Gibraltar - Tunis - Alexandrië - Suezkanaal - Aden - Colombo - Sabang - Batavia

Op zee werden op onderlinge afstanden van tussen 100 en 400 zeemijlen 26 metingen en, afgemeerd in havens, nog eens zeven metingen gedaan.

Personeel

Ltz. 1 L.A.C.M.Doorman voerde het commando over de bemanning van 29 koppen, waarvan - behalve Vening Meinesz - nog twee navigatie- en twee machinekamer-officieren tot de “etat major” behoorden.

Middelen

De duikboot K II was een dubbelschroefs duikboot naar buitenlands ontwerp van 649 ton waterverplaatsing met diesel/electrische voortstuwing, een actieradius van 3500 mijl en een duikdiepte tot 40 meter. De duikboot beschikte over een radio-ontvanger, maar niet over een specifiek echolood. De generator, beschikbaar om door geluidsoverdracht met andere (ondergedoken) duikboten te communiceren, kon voor dieptepeilingen ten nutte gemaakt worden. (Het in het *Marine Jaarboek 1924* gegeven verslag suggereert, dat aan zwaartekrachtmeting een lage prioriteit werd gegeven: onderwater sein- en slinger-proeven werden veelal uitgevoerd gedurende oponthoud ten gevolge van machine- of andere pech.)

Het in de commandoruimte tussen de periscopen, overdwars opgestelde slingerapparaat was van het gemodificeerde Von Sterneck-Stueckrath type, dat door een koperen kooi tegen de beïnvloeding door electrische en magnetische velden kon worden afgeschermd. Dit apparaat kon tezamen met het opgelijnde fotoregistratie-apparaat tegen storende lichtinval worden afgeschermd door een lichtdichte hoes, van waaronder Vening Meinesz de apparaten kon manipuleren.

De enige voorhanden chronometer kon eenmaal per dag op het gehoor gekalibreerd worden met radiotijdseinen van Parijs (golflengte 2200 m), Lyon (golflengte 14000 m), Bordeaux (golflengte 23000 m) of Calcutta.

Uitvoering der metingen

Terwijl de duikboot op de gewenste diepte bleef afgetrimd - waarbij enige snelheid moest worden behouden om de noodzakelijke druk op de duikroeren te houden - werd het slingerapparaat geopend om de stootkussentjes van de slingergewichten te verwijderen. Na vervolgens het apparaat weer gesloten te hebben, werd het licht- en het sluitercircuit getest. Vervolgens werden de slingers in hun steunen afgehangen en - per paar - in beweging gebracht in tegengestelde fase. De fotoregistratie van die bewegingen nam daarna ruim een kwartier in beslag, terwijl aan begin en eind van de cyclus de temperatuur, vochtigheid en luchtdruk binnen het apparaat werd afgelezen. Tenslotte werden de voorbereidende handelingen in omgekeerde volgorde uitgevoerd en het apparaat weer in vervoersstand gebracht, nadat de belichte filmstrook in een koker was opgeborgen. De ontwikkeling van die film vond plaats in de aanloopshavens, zodat Vening Meinesz frequent de bruikbaarheid van het geregistreerde - zij het achteraf - kon controleren, maar dus gemiste metingen niet kon herhalen.

Resultaten

Voor een uitvoerbaarheids-evaluatie van zwaartekrachtmetingen met slinger-apparatuur op zee was de K II bij uitstek geschikt, gezien "dat het [reserve]drijfvermogen (15%) van deze boot voor langdurig gebruik in open zee te gering is....Dit vermindert natuurlijk in hoge mate de bewoonbaarheid. Van zee dwars in ondervindt de boot niet de minste last." Een commentaar, dat de Ltz Schorer eerder met betrekking tot duikboot KI gaf, maar dat door bovenstaande herinnering van Vening Meinesz lijkt te worden bevestigd.¹ Plaatsing van het slingerapparaat in het stabiele middendeel van de duikboot, de druk bezette commandoruimte, maakte manipulatie door Vening Meinesz onder zijn verduisteringskleed een warm karwei, ook al omdat in de K II nog geen "airconditioning" aanwezig was. Bovendien bleek het wenselijk, dat - terwille van het bewaren van de stabiliteit - de bemanningsleden tijdens een meting zich niet zouden verroeren.

Het slingerapparaat voldeed pas, nadat het in een in Gibraltar geconstrueerde "schommel" was geplaatst, waarvan de draai-as evenwijdig aan de "kiel" van de duikboot liep, zodat de invloed van kortdurende verstoringen veroorzaakt door het rollen van de duikboot kon worden geëlimineerd. Afhankelijk van externe invloeden en van de scherpte van de registraties, op basis waarvan de periode van de ongestoorde slinger kon worden bepaald - een tijdrovend karwei - kon, met een nauwkeurigheid variërend van 1:125 000 tot 1: 200 000, de zwaartekracht worden afgeleid. Hierbij vormden de temperatuur, de regelmaat van de chronometer en de scheepssnelheid de voornaamste onzekerheden. Bovendien valt te bedenken, dat de onzekerheid in scheepspositie een tot twee mijl was, corresponderend met enkele milligal. Nochtans kon de nauwkeurigheid der metingen worden bevestigd op basis van de grootte van het Eötvös-effect: het verschil tussen twee zwaartekrachtmetingen, uitgevoerd over eenzelfde oost-west lopend traject, gevaren

¹ C.J.W. van Waning, "De groei van de onderzeedienst", in: Idem et al (red,) *Wegduiken....! De Nederlandse Onderzeedienst 1906-1966* (Den Haag z.j.) 134 e.v.

in tegenovergestelde richtingen, met als gevolg een met de vaar-snelheid en -richting samenhangende verandering in de geocentrifugale versnelling, component van de totale gemeten zwaartekracht. Ook metingen gedaan in afgemeerde toestand in havenplaatsen, waar de zwaartekracht al eerder op andere wijze was gemeten, bevestigden die nauwkeurigheid.

Vening Meinesz keerde in maart 1924 naar Nederland terug, na in het Meteorologisch Instituut te Batavia een zwaartekracht basis-station voor Nederlands-Indië te hebben gevestigd. Op de terugreis met een van de lijnboten van de Mij. "Nederland" heeft hij nog enige experimenten gedaan met het slingerapparaat, maar het bleek, dat zelfs bij rustige zee zo'n vaartuig geen stabiele basis voor zwaartekrachtmeting vormde. Na zijn terugkeer verifieerde hij de werking van het slingerapparaat nogmaals op het basisstation in De Bilt en bevond, dat het de reizen goed had doorstaan.

De K XI Expeditie (Den Helder 15/10/1925 - Port Said 12/11/1925)

Tenzij anders vermeld is de nu volgende informatie ontleend aan F.A. Vening Meinesz, *Gravity expeditions at sea 1923 – 1930 Vol.1* (Delft 1932) 31 – 40.

Doelstelling

Evaluatie werking drieslingerapparaat met separate fotoregistratie voor zwaartekrachtmeting ter zee.

Vaarroute

Den Helder - Sevilla - Tunis - Alexandrië - Port Said, waar Vening Meinesz de K XI verliet, die haar reis ongeconvoyeerd naar Soerabaja voortzette.

Personeel

De bemanning van de duikboot was met 30 koppen (vier officieren en 25 manschappen onder commando van Ltz1 G.E.V.L.Beckman) tezamen met Vening Meinesz voltallig.

Middelen

De K XI was een recent opgeleverde, dubbelschroefs duikboot naar Nederlands ontwerp. De waterverplaatsing (onder water) was 827 ton. De diesel / elektrische voortstuwing gaf de duikboot een actieradius van 3500 mijl bij een snelheid van acht knopen. Haar maximum duikdiepte was zestig meter. De boot was uitgerust met een Fessenden onderwater membraan zender, die als echolood kon worden benut. Hiertoe moest met een handchronometer het tijdsverloop tussen uitgaand en van de zeebodem gereflecteerd signaal met een marge van 0,1 - 0,2 seconde gemeten worden. Boordtelefonisch konden de via de radio-installatie ontvangen radiotijdseinen van Parijs of Bordeaux naar de bij de zwaartekrachtmeting betrokken twee chronometers voor hun synchronisatie worden doorgegeven.

De schommel, waarin het drieslingerapparaat was opgesteld, was in Den Helder aan de ombuizing van een periscoop bevestigd, terwijl het fotoregistratietoestel in het verlengde van de schommelas op afstand was opgesteld, zodat de invallende en gereflecteerde stralenbundels binnen de verbuizing van spreidlicht waren afgeschermd. Dankzij een systeem van spiegels en prisma's behoefde van het drieslingerapparaat de beweging van elke slinger niet meer individueel te worden geregistreerd, maar kon de verschilbeweging van twee slingers direct geregistreerd worden door "optische stapeling". Buiten genoemde slingers waren nog twee hulpslingers - "aanvullende bewegingsmelders" - in gebruik. In het nieuwe apparaat konden de slingers gemanipuleerd worden zonder dat hun omhulsel behoefde te worden verwijderd; zodoende bleef de temperatuur van het inwendige beter op een constant niveau. Het uurwerk, dat de spoelen met het lichtgevoelig papier aandreef, kon - om papier te besparen - nu ook in een lagere versnelling worden gezet.

Uitvoering der meting

Alle metingen ter zee werden ondergedoken op een diepte van dertien respectievelijk vijftientig meter uitgevoerd. Na trimming werden de slingers afgehangen uit hun vervoersstand. Na het testen van belichtings- en chronometer-circuits werden de slingers voor de meting gereed gemaakt en geactiveerd met de buitenste slingers in tegenfase en bij beste benadering gelijke amplitude. Fotoregistratie vond dan plaats met de verschillende spoelsnelheden, zoals in het protocol voorzien. De totale tijdsduur van zo'n meting was minder dan drie kwartier, maar met de gehele duikoperatie kon toch nog wel twee uur gemoeid zijn, zo berichtte de *Nieuwe Rotterdamsche Courant* van 1 december 1925.

Resultaten

Gedurende de gehele tocht waren de weersomstandigheden uitstekend en op tien nieuwe locaties kon de zwaartekracht worden gemeten.

Aan het begin van de reis vertoonde de schommelas een frictie in de lagering, die in Sevilla door de technische staf aan boord kon worden verholpen. Daarna voldeed het nieuwe toestel uitstekend, behoudens enige frictie in de vrije werking van de twee hulpslingers. Gedurende de meting kon de bemanning zich "vrijelijker bewegen" en behoefde er minder stringente eisen aan de horizontale ligging van de duikboot te worden gesteld.

De grootte van het Eötvös-effect en de precisie van de tijdmeting bleken nu de grootste onzekerheden bij de uitwerking van de ruwe meetresultaten.

De op de reis met de K II in de Alboran Zee gevonden afwijkingen in de verwachte zwaartekracht werden tijdens de reis met de K XI bevestigd.

De door Vening Meinesz tijdens de reis vanuit Tunis en Alexandrië gedane mededelingen werden in verschillende avondbladen gemeld.

Met zijn apparatuur verliet Vening Meinesz op 22 november 1925 in Port Said de K XI, die ongeconvoyeerd haar reis naar Soerabaja voortzette en daar op 14 januari van het volgend jaar aankwam. Hijzelf keerde met het ss "Koningin der Nederlanden" op 6 december 1925 in Nederland terug en verifieerde nog diezelfde dag de correcte werking van zijn instrumenten op het basis-station in De Bilt.

**De K XIII Expeditie a (Den Helder 27/05/1926 - Soerabaja 13/12/1926)
b (Soerabaja 03/02/1927 - Soerabaja 10/03/1927)**

Tenzij anders vermeld is de nu volgende informatie ontleend aan F.A. Vening Meinesz, *Gravity expeditions at sea 1923 – 1930* Vol.1 (Delft 1932) 41 – 66.

Doelstellingen

De operationele doelstelling was het beproeven van het uithoudingsvermogen van bemanning en schip gedurende langdurige, ongeconvoyeerde vaart naar Indië via Panama. Sinds 1922 bestonden hiertoe plannen, maar pas sinds de succesvolle overtocht van de K XI via het Suezkanaal achtte men de bedrijfszekerheid van duikboten voldoende en de uitvoering dan ook technische verantwoord.¹

De wetenschappelijke doelstelling, die mede tot de feitelijke realisatie van bovengenoemde doelstelling aanzet gaf, was het doen van marien-gravimetrisch onderzoek, gericht op sluiting van een wereldomspannende keten van zwaartekrachtmetingen, op de ontrafeling van complexe geodetische en structuur-geologische vraagstukken, zoals de bepaling van enige, van de geografische lengte afhankelijke term in de internationale zwaartekrachtsformule, de status van het isostatisch evenwicht op de oceanen en de relatie tussen zeebodemreliëf en zwaartekracht.

Vaarroute

- a Den Helder - Horta - Las Palmas - Curaçao - Colon - Panama - San Francisco - Honolulu - Guam - Yap - Manilla - Ambon - Soerabaja.
De totale lengte van de gevaren route was 20939 mijl, waarbij in 116,5 uur onderwater 111 metingen werden gedaan. Voorts, afgemeerd in havens, nog vijftien metingen.
- b Soerabaja - Christmas Island - Soerabaja.
De totale lengte van de gevaren route was 2544 mijl, waarbij 26 metingen werden gedaan.²

Personeel

De organieke duikbootbemanning van 31 koppen - vier officieren en 26 manschappen, aan wie Vening Meinesz "boven de sterkte" was toegevoegd, - stond onder commando van Ltz1 L.G.L.van der Kun.

Middelen

¹ C. van der Linden en M.S.Wytema, *Met Hr.Ms.K XIII naar Nederlandsch-Indië. Een onderzeeboottocht van meer dan 20 000 zeemijlen* (Amsterdam 1927) 17.

² Ibidem, na 252.

Duikboot K XIII was een recent (29 maart 1926 !) door de werf “Fijenoord” opgeleverde duikboot, gebouwd volgens met de K XI vergelijkbare technische specificaties. De actieradius was 3500 mijl bij een bovenwater vaarsnelheid van acht knopen. Over speciale reddingsmiddelen voor de ongeconvoyeerde vaart werd nauwelijks gerept: een jol lag vastgesjord op het achterdek.....

Voor de gewenste, gedetailleerde opname van het zeebodem reliëf was een door de Britse Admiraliteit beschikbaar gestelde “Hughes Sonic Depthfinder” als echolood daags voor vertrek ingebouwd. Daarnaast beschikte men over het Fessenden onderwater communicatie systeem.

In het drieslingertoestel was voor deze reis het fotoregistratie apparaat geïntegreerd, zodat het geheel nu cardanisch kon worden opgehangen in een frame, dat aan de ombuizing van de achterste periscoop was bevestigd. Dit liet ondermeer een grotere bewegingsvrijheid voor de bemanning gedurende de metingen toe.

Ervan uitgaande, dat ontvangst van radiotijdseinen van Parijs of Bordeaux in het Atlantische Oceaan gebied verzekerd was, had men voor de doorgifte van zulke seinen in het Stille Oceaan gebied zich van de medewerking van de Nederlandse Indische Radio Omroep (N.I.R.O.) verzekerd.

Uitvoering

De voorgenomen vaarroute was een compromis tussen scheepstechnische mogelijkheden en verlangens van de zijde der wetenschap. Het buiten de routine-vaarroute liggende traject van Las Palmas naar Curaçao (3635 mijl in 17 dagen) over de Atlantische Oceaan en dat van Honolulu naar Guam (3470 mijl in 18 dagen) over de Stille Oceaan vroeg - met de dagelijks weerkerende duik oefeningen - het uiterste van schip (actieradius!) en bemanning. Maar deze vaarroute zou - met het door de K II over de Indische Oceaan gevolgde traject - bij benadering het zwaartekrachtsveld over een groot deel van de aarde in een zone tussen de tien en twintig graden noorderbreedte op regelmatige afstanden kunnen bemonsteren.³ Het aanlopen van San Francisco was nodig voor een dokbeurt om met de verwijdering van ongewenste algengroei aan de scheepshuid de vaarcapaciteit van de duikboot weer te herstellen en - zoals ook bij andere aanloophavens het geval was - aan de bemanning gelegenheid tot ontspanning te geven. Zij spendeerde 112 dagen op zee, waarbij 108 maal duik”oefeningen” werden gehouden, en 88 dagen aan wal. Zelden liet de zeegang toe, dat een dekluk voor ventilatie voor langere tijd geopend bleef, zodat onderdeks de atmosfeer vaak te snijden was. En vanwege de dagelijkse duik was aanbrengen van een tentdak als verkoeling tegen de felle tropenzon aan dek niet realistisch.....

Dagelijks werden in de vroege ochtend en avond posities astronomisch bepaald en de chronometers aan de radiotijdseinen geverifieerd. Overdag werd dan ook nog een aantal malen het “zonnetje geschoten”, want men vertrouwde op een geheel metalen duikboot niet al te zeer op het kompas... Inderdaad bleken “deadreckoned” positie - afgeleid van de op basis van schroefomwentelingen

³ F.A.Vening Meinesz, "Provisional results of determinations of gravity, made during the voyage of Her Majesty's Submarine K XIII from Holland via Panama to Java", in: *KNAW XXX* (Amsterdam 1927) 744.

geschatte snelheid - en feitelijke positie nogal eens te verschillen, zodat twijfel aan de betrouwbaarheid van het berekende Eötvös-effect bij de ruwe zwaartekrachtgegevens kon ontstaan. In de middag werd gewoonlijk de duik oefening met een zwaartekrachtmeting uitgevoerd. Daarbij werd - afhankelijk van de deining en haar invloed op het cardanisch opgehangen slingertoestel - tot diepten variërend tussen de dertien en veertig meter diep gedoken. Alleen op het traject tussen Panama en San Francisco - waar frequent korte profielen dwars op de kust moesten worden ingemeten - werd meerdere keren per dag gedoken.⁴ Daarbij "moet de bemanning steeds, en vooral onderwater varende, ernstig zijn en zich stipt aan de voorgeschreven regels houden. Daarom werd het gewone 'oorlam' der marine aan boord niet uitgereikt" vertelde een bezorgde commandant Van der Kun in een interview met de *New York Times* op 30 augustus 1926. Maar.... de duiktoelage, accumulerend uit 108 duiken ten behoeve van de zwaartekracht metingen zal wel veel goed gemaakt hebben bij de bemanning, die Vening Meinesz' bronskleurig toestel al gauw het "Gouden Kalf" noemde. En Vening Meinesz zelf verraste de bemanning zo nu en dan op een praatje over het werk, waarmee hij bezig was, en over wat hem daarbij was opgevallen.⁵ Zo verdiende hij al voor het einde van de reis bij de marine zijn titel "Professor", waarvan de officiële bevestiging nog wel enkele maanden op zich zou laten wachten.

Resultaten

De ongeconvoyeerde overtocht van de K XIII naar Nederlands-Indië via Panama was in scheepstechnisch opzicht een onverdeeld succes. De duikboot legde in totaal een afstand van zo'n 23 500 mijl af zonder noemenswaardige mankementen. Tenzij het de "ijsmachine" betrof, die de temperatuur "onderdeks" nog enigszins dragelijk [dat is beneden de 35 graad Celsius] diende te houden en waarvan weigering dat twee weken lang onmogelijk maakte. En slechts eenmaal - onderweg van Java naar het Christmas Island - ging er iets mis met de duikroutine, toen de duikboot tot tachtig meter diep - dus beneden de maximaal gespecificeerde duikdiepte - afzonk, maar daaraan zelf noch de bemanning nare consequenties aan over hield.

De 'Hughes Sonic Depthfinder' voldeed al ras niet aan de verwachtingen, zodat het Fessenden systeem voor de bepaling van het zeebodemreliëf werd gebruikt.

Op twee na werden alle zwaartekrachtmetingen met succes op film geregistreerd en de resultaten bewezen de bedrijfszekerheid van het slingerapparaat in zijn toenmalige vorm. De directe registratie van de beweging van de fictieve slinger bracht de tijd nodig voor de uitwerking van de gegevens van twee dagen tot enkele uren terug. De meetresultaten bleken minder grillig variërend dan die verkregen bij metingen op land. Want de oceaanwaterlaag als medium, waar gemeten in werd, is dikker en homogener, verstoringende massa's verder verwijderd dan op land. Bovendien is erosie als onvoorspelbare agens in korstvervorming afwezig. De K XIII expeditie resultaten wezen uit, dat de Stille Oceaan gemiddeld zwak positief anomaal was met een gemiddelde anomalie van zes mgal. Waar het net van metingen voldoende dicht

⁴ F.A.Vening Meinesz, "Gravity survey by submarine via Panama to Java", in: *Geographical Journal* LXXI (London 1928) 148.

⁵ Van der Linden en Wytema, *Met Hr.Ms.K XIII naar Nederlandsch Indië*, 165.

was, kon geconstateerd worden, dat de positieve anomalieën in velden en de negatieve anomalieën in smalle stroken optraden.⁶ Desondanks stuitte Vening Meinesz op soms aanzienlijke verschillen tussen gemeten, isostatisch gereduceerde zwaartekrachts-waarden en de normaalwaarde van de zwaartekracht.

Met de metingen van de K II vormden de metingen van de KXIII een rond de wereld sluitende keten van metingen tussen 20 °+/- 10 ° noorderbreedte, waar het zwaartekrachtsveld op het niveau van de geoïde elke tweehonderd zeemijl was bemonsterd. Uit de ontwikkeling van dit veld concludeerde Vening Meinesz, dat de doorsnede van de aarde in het vlak van de evenaar beter door een cirkel dan door een ellips kon worden gerepresenteerd.⁷ Dit in tegenstelling tot de conclusies van Helmert in 1915 en Heiskanen in 1925, beiden enkel gebaseerd op landgegevens.

In een verdere stap verwerkte Vening Meinesz - in de vooronderstelling, dat de gevonden zwaartekrachtswaarden representatief zouden zijn voor een strook van 20 breedtegraden langs de evenaar - die gegevens in het indertijd geldig geachte wereldwijde zwaartekrachtsmodel. Hoewel dus de vooronderstelling niet met de werkelijkheid kon overeenstemmen, was het toch aannemelijk, dat de zo gevonden afwijkingen van de geoïde van dezelfde grootte orde als de werkelijk optredende moesten zijn. Het was dan ook heel verrassend voor Vening Meinesz te moeten concluderen, dat de regionale afwijkingen in voornoemde strook tussen geoïde en referentie-ellipsoïde veel groter dan gedacht bleken en dat een gemiddelde waarde - en geen eenduidig bedrag - aan de afplatting van de aarde moest worden gegeven.

Maar over het algemeen gaven de resultaten van Vening Meinesz' expedities tot dan toe voldoende overtuigende argumenten - ook voor diegenen, die daar nog aan mochten twijfelen - ten gunste van het bestaan van een toestand van isostasie, waarvan het aantonen enkel gebaseerd op zwaartekrachtmetingen te land met "addertjes onder het gras" was bezaaid.

Marine en samenleving

De tocht van de K XIII bleek voor de Koninklijke Marine van grote propagandistische waarde. "Dat op 27 mei 1926 de K XIII de Hollandsche wateren had verlaten, zal op dien datum tot weinige landgenoten doorgedrongen zijn, daar pas na de groote ruchtbaarheid, die de Amerikaansche bladen aan de reis gegeven hadden, er ook in Nederland belangstelling ontstond".⁸ Die "ruchtbaarheid" kwam in de Verenigde Staten waarschijnlijk mede tot stand dankzij de Science Service, een in 1919 ontstaan samenwerkingsverband tussen de Amerikaanse Associatie ter Bevordering van de Wetenschappen (A.A.A.S.) en Scripps Newspaper Enterprise Association, die populair-wetenschappelijke artikelen als "Scientist to weigh the floating earth. Dutch geodesist will use submarine to test truth of new theory" efficiënt over de landelijke pers zoals *The New York Times* van 20 september 1925 wist te verspreiden.⁹ De aankomst van de K XIII omstreeks Koninginnedag 1926 in de mistige haven van San Francisco was niet alleen het eerste bezoek sinds 1919 van een Nederlands

⁶ J. Veldkamp, "Zwaartekracht", in: B.G. Escher e.a. (red.) *E.N.S.I.E.V.* (Amsterdam 1948) 40.

⁷ Vening Meinesz, "Provisional results", 752.

⁸ Van der Linden en Wytema, *Met Hr. Ms. K XIII naar Nederlandsch Indië*, 38.

⁹ D.J. Kevles, *The physicists. The history of a scientific community in modern America* (New York 1997) 171.

marineschip aan de Amerikaanse westkust, maar ook een “bewijs van durf, dat grote indruk in dit sportland maakte” zoals in Nederland *Het Vaderland* zes (!) weken later rapporteerde. Na aankomst wachtte “de bemanning een ontvangst, zoals men nooit had durven verwachten”, schreef de *Nieuwe Rotterdamsche Courant* van 29 september 1926. Met berichten als deze raakte het publiek in Nederland ook meer geïnteresseerd in het wel en wee van de K XIII: de enkele – daags voor het vertrek – aan de K XIII gewijde kranteartikelen werden vanaf oktober 1926 gevolgd door een kleine twintig artikelen tot de terugkeer in april 1927 van Vening Meinesz; die werd toen zelfs namens de Minister van Marine a.i. verwelkomd! Hij was, met commandant Van der Kun, onmiddellijk na aankomst van de K XIII in Soerabaja - waar men nog nauwelijks van de schok van de November-opstand bekomen was - door de regering benoemd tot Officier in de Orde van Oranje-Nassau uit waardering voor de geleverde prestatie en erkenning, dat de samenleving daarbij baat had gevonden. Baat, die in een grotere waardering van de bevolking voor de Koninklijke Marine en een verbeterde verstandhouding met de Verenigde Staten tot uitdrukking was gekomen. Met de door de Rijkscommissie voor Graadmeting en Waterpassing aan de individuele bemannings-leden uitgereikte Draagmedaille ter herinnering aan de tocht met de K XIII werd hun onmisbare bijdrage aan het succes gehonoreerd.

Als uitvloeisel van de verbetering in de relatie tussen Marine en samenleving lijkt de benoeming te liggen tot Commandant van Willemsoord van schout-bij-nacht L.J.Quant, “een uitnemend gastheer, die bovendien beter als zijn meeste tijdgenoten de grote waarde begreep van goede betrekkingen met “de wal” in het algemeen en met de pers in het bijzonder”.¹⁰ Ltz2 D.C.M.Hetterschey, die als commandant van de K XVIII later nog een rol in Vening Meinesz’ leven zou gaan spelen, werd toen tot Quant’s adjudant aangesteld. Dezelfde Quant zou nog in juni 1927 tijdens een door de AVRO uitgezonden “Radio-marine avond” wijzen op “de schitterende reis om de wereld van de K XIII”. Zonder twijfel stimuleerde hij ook de uitgave van het door C.van der Linden en M.S. Wytema - beiden officieren van de K XIII (en later ook op de K XVIII) - “fris van de lever vertelde relaas *Met Hr.Ms. K XIII naar Nederlandsch-Indië*, een levendig, pakkend, uitermate humoristisch” geschrift volgens de *Nieuwe Rotterdamsche Courant* van 28 november 1927.

¹⁰ C.J.W. van Waning, “De groei van de onderzeedienst”, 156.

De S-21 expeditie (Hampton Roads 2/10/1928 - Hampton Roads 30/11/1928)

Op initiatief van de USC&GS, het Carnegie Institution en de National Academy of Sciences in samenwerking met de US Navy werd Vening Meinesz in 1928 uitgenodigd voor demonstratie-zwaartekrachtsonderzoek in Amerikaanse wateren. In de lente van 1928 benaderden USC&GS' William Bowie en Arthur Day, Head Geophysical Laboratory Carnegie Institution, hiertoe de superintendent van het Naval Observatory met het verzoek om een duikboot beschikbaar te stellen. Aan dat verzoek hechtte in juni 1928 de Minister van Marine, Curtis Wilbur zijn goedkeuring. Voor de kosten stelde het Carnegie Institution zich garant, voor de calibratie der instrumenten en de berekeningen voor de data-reductie stelde de USC&GS mankracht beschikbaar.¹

Doelstellingen

De primaire doelstelling van de expeditie was verificatie van het isostatisch model, zoals door Hayford en Bowie gehanteerd bij de afleiding van de ellipsoïde van Hayford (1910). De implicaties van hun voorstelling van zaken daaromtrent was, dat de aardkorst niet anders dan geringe spanningen kon verdragen en – behalve in gebieden met een snelle erosie of sedimentatie - in isostatisch evenwicht moest zijn. Op de tweede plaats kwam het verkrijgen van praktische ervaring met Vening Meinesz' drieslingerapparaat en het doen van zwaartekrachtsonderzoek ter zee door staf van het Carnegie Institution, onder wie F.E.Wright.² die een speciale belangstelling voor de relatie tussen zwaartekracht-anomaliën en vulkanisme had. Tenslotte zou transfer van Vening Meinesz' apparaat naar de Verenigde Staten bepaling van de zwaartekrachtsrelatie tussen De Bilt en Washington (USC&GS) mogelijk maken.

Vaarroute

Het onderzoekstraject liep vanaf Hampton Roads (Washington) langs de Oostkust van de Verenigde Staten via de Florida Keys naar de Golf van Mexico, waar profielen dwars op de Mississippi delta werden ingemeten; vandaar in zuidoostelijke richting naar de Puerto Rico trog en terug rond Haïti naar Hampton Roads.

Middelen

Aan de expeditie namen de duikboot S-21 en twee, 500 tons oppervlakte schepen (US Eagle 58 en US Eagle 35) deel. De commandant van laatstgenoemd schip stond aan het hoofd van de expeditie. Tevens waren op dat schip medische voorzieningen

¹ Naomi Oreskes, *The rejection of Continental Drift* (New York 1999) 238 e.v.

² F.A.Vening Meinesz, "Zwaartekracht expedities met Nederlandse onderzeeboten 1923–1954", in: C.J.W.van Waning e.a.(red.) *Wegduiken....! De Nederlandse Onderzeedienst 1906 – 1966* (Den Haag z.j.) 321.

aanwezig, waarvan Vening Meinesz in de loop van de expeditie voor de genezing van een opgelopen infectie dankbaar gebruik zou maken, zo berichtte *Het Vaderland* op 12 december 1928.

De S-21 was een dubbelschroefs duikboot, met een waterverplaatsing van 1062 ton ruimer dan de K XIII. Maar zij was voorbestemd om te worden opgelegd onder de termen van de Conferentie van Washington en daarom al van het een en ander ontdaan. Haar maximale duikdiepte was 60 meter. Door de US Navy was een recent ontworpen echolood installatie gemonteerd. Een "airconditioning" systeem, zoals in Nederlandse K-boten aanwezig, ontbrak.

Personeel

Naast de duikbootbemanning onder commando van Ltz J.L.Fisher waren Vening Meinesz, F.E.Wright (Carnegie Institution) en E.B.Collins (Principal Scientist Hydrographic Office US Navy) als onderzoekers aan boord van de S-21.

Uitvoering

De voorgenomen vaarroute was gekozen in de verwachting hiermee bestaande vragen op het gebied van de isostasie (Atlantisch kustgebied, Caribische eilandkusten) en vragen terzake van de geologische en geofysische duiding van lokaal reliëf (Mississippi delta, onderzeese slenken en troggen) te kunnen beantwoorden.

Door een verbeterde afstelling van de cardanische opgehangen wieg konden nog bij een "rol" van zeven graden metingen worden gedaan. Nadat op zee soms wel vijf metingen per dag waren gedaan op een periscoopdiepte van dertien meter, werden in de aanloophavens de filmopnamen ontwikkeld en op voorlopige basis geïnterpreteerd.

Mede om Wright de nodige ervaring in het praktisch gebruik van apparatuur en verwerking van de gegevens te geven, werd aan boord volgens Vening Meinesz' vaste procedures in waarneming en USC&GS' procedures in reductie gewerkt, zodat voorlopige resultaten al snel beschikbaar kwamen.³

"The operation of the gravity apparatus is made as simple as possible so that the observer makes each measurement almost mechanically, starts the apparatus, records the temperature, the barometric pressure, and so on, and has only to take care that no essential step is omitted. The single difficult task is the determination of the rates of the chronometers by comparison with the radio time signals. This operation, which is quite independent of the gravity measurements, requires a high degree of skill on the part of the observer. [But] it is possible that a method can be devised [in the future] for making this comparison mechanically with the aid of a radio set-up, thus eliminating the personal factor in the method".⁴

³ F.A.Vening Meinesz, "A gravity expedition of the U.S.Navy", in: *KNAW XXXII* (Amsterdam 1929) 96.

⁴ F.A.Vening Meinesz en F.E.Wright, *The gravity measuring cruise of the US Submarine S-21, with an appendix on computational procedure by Miss Eleanor A.Lamson* (Washington 1930) 5.

Vele jaren later zou Vening Meinesz nog bewonderend schrijven over het aanpassingsvermogen van de 50-plusser Wright aan de condities aan boord, waar de tropische hitte regelmatige wisseling van lijfgoed eiste en waar khaki werkkleding vanwege alle olie en smeer te prefereren viel boven "blue collar and tie". Wright zelf had nogal wat last van chronische hoofdpijn ten gevolge van het inademen van uitlaatgassen.⁵

Gedurende het onderzoek liep de temperatuur aan boord op tot zeer hoge waarden en door Vening Meinesz werd airconditioning dan ook node gemist. In weerwil van het feit, dat hij in de S-21 rechtop kon blijven staan en men zijn kooi aan zijn lengte had doen aanpassen konden "..... buitenlandse duikboten - volgens de professor - qua inzet en prestatie niet geheel het niveau bereiken van de Nederlandse boten".⁶

In nauwelijks twee maanden tijds werd een afstand van zo'n 7000 mijl afgelegd, waarbij vier zwaartekrachtmetingen op land werden uitgevoerd en 45 op zee, sommige in profielen dwars op de kust. De meetlocaties werden genummerd van 1 tot 49. Van zeegang had men weinig last behalve in het Caribisch zeegebied. Het echolood produceerde bodemprofielen van aanmerkelijk hogere resolutie dan bij eerdere onderzoeken.⁷

Resultaten

De definitieve resultaten van de S-21 expeditie vonden al snel hun neerslag in F.A.Vening Meinesz en F.E.Wright's *The Gravity Measuring Cruise of the US Submarine S-21, with an Appendix on Computational Procedure by Miss Eleanor Lamson* (Washington DC, 1930) Hierin komt Wright tot de volgende conclusies. Ten eerste blijkt een zwaartekrachtstekort de loop van de rand van het continentale plat langs de Atlantische Oceaan te volgen.

Vervolgens blijkt ondanks de recente belasting met een kilometers dikke sedimentlaag het Mississippi deltagebied in tegenstelling tot de verwachting in isostatisch evenwicht;

daarentegen blijkt over het gehele gebied, waar de bodem van de Golf van Mexico nauwelijks enig reliëf vertoont, een zwaartekrachtsexces te heersen.

Tenslotte werd het bestaan van de door Vening Meinesz gedurende de K XIII expeditie gevonden grote, negatieve anomalie over de Puerto Rico trog bevestigd. Ook over twee in het Caribisch gebied gelegen en als fossiel beschouwde slenken werden negatieve anomalieën gevonden. Met betrekking tot de vorm van de troggen kon uit de echolood profielen worden opgemaakt, dat de wanden van die troggen hellingen tot veertig graden vertoonden, maar dat de bodems vlak waren.⁸

Conclusies

De resultaten van de S-21 expeditie zette Bowie's perceptie van isostasie op zijn kop. Waar hij verstoring van evenwicht door recente, snelle sedimentatie had verwacht,

⁵ D.M.Lawrence, *Upheaval from the abyss* (New Brunswick 2002) 116.

⁶ H.Hazelhoff Roelfzema, "De betekenis van de zwaartekrachtmetingen genomen door Prof.Dr.Ir.F.A.Vening Meinesz van september 1923 tot augustus 1939", in: *Jaarverslag Vereniging Nederlandsch Historisch Scheepvaart Museum* (Amsterdam 1982) 56, noot.

⁷ Vening Meinesz, "A gravity expedition of the U.S.Navy", in: *KNAW XXXII* (Amsterdam 1929) 95 e.v.

⁸ Ibidem, 96.

bleek de situatie in isostatisch evenwicht (Mississippi delta). En waar volgens hem oude, geheel “gravitatief gecompenseerde” breuken lagen werd een zwaartekrachtsdeficit gemeten. Tenslotte bleek, waar hij evenwicht had verwacht, omdat een vlak reliëf daarop zou duiden, een breed gebied met zwaartekrachtsexces te bestaan. De volledige compensatie, zoals in het Mississippi delta gebied bereikt, zou erop wijzen, dat de aardkorst zeer elastisch was. Maar het brede zwaartekrachtsexces in de Golf van Mexico wees juist op een stijve korst, tot overdracht van een regionaal krachtenstelsel in staat.

Het vermoeden rees derhalve, dat het Pratt-model van isostatische compensatie - hoewel eenvoudiger in toepassing - minder betrouwbaar was dan verondersteld, en dat meer gewicht zou moeten worden gegeven aan het complexere Airy-model, waarin de diepte van het compensatieniveau van plaats tot plaats varieerde. Het leek er wel op, of er misschien een soort van regionaal compensatie mechanisme bestond. Maar voor het bewijs en de berekening ervan zouden in de loop der tijden nog verschillende wegen bewandeld worden.

Overige hoogtepunten

Het vertrek van de S-21 werd opgeluisterd door de aanwezigheid van Curtis D. Wilbur (Secretary of the US Navy), Admiral Hughes (Chief of Naval Operations) en Rear Admiral Leigh (Chief of the Bureau of Navigation), zo berichtte *Het Vaderland* op 6 november 1928.

Na terugkeer werd een officieel banket in het National Museum in Washington aangericht, waarbij als officiële gasten naast Vening Meinesz - die aldaar een demonstratie van zijn gravimeter gaf -, Bowie en Wright ook Curtis Wilbur en C.S. Freeman (Superintendent van het US Naval Observatory) aanzaten.⁹

Een en ander wijst er wel op, dat Vening Meinesz' manier van zee-onderzoek niet aan de aandacht van de regering was ontgaan.

Verdere ontwikkelingen

Mede als gevolg van de door de S-21 expeditie verkregen nieuwe inzichten realiseerden onderzoekers in de Verenigde Staten, dat er buitengaats een groot werkterrein voor geofysische en geologische research aanwezig was.

Het Carnegie Institution besloot al in de loop van 1929 een Vening Meinesz gravimeter op haar 323 tons, gedemagnetiseerd onderzoeksvaartuig - het zeegaande zeil / motor jacht “Carnegie” - te installeren. Aan onderzoek daarmee nam Vening Meinesz niet in persoon deel, maar wel verleende de Rijkscommissie er haar medewerking aan door enkele slingers voor de gravimeter ter beschikking te stellen.¹⁰ Zwaartekrachtmeting aan boord van dit oppervlakteschip was weinig succesvol vanwege de allesoverheersende, storende werking van de zeegang, zodat slingers regelmatig uit hun ophanging raakten. In de haven van Apia (Samoa) ging door een explosie het schip in November 1929 verloren, waarbij twee doden vielen te betreuren.

⁹ Albert Chambon, *100 000 zeemijl per onderzeeboot met professor Vening Meinesz* (Den Helder 1939) foto t/o 144.

¹⁰ *RCG* 1929, 2.

Voorts leidde de realisatie van het S-21 expeditie mede tot verwezenlijking van de sinds 1927 bij de National Academy of Sciences bestaande plannen tot stichting van een permanent, onafhankelijk, "non-profit" instituut voor oceanografisch onderzoek. In de schaduw van de "Great Depression" toch nog gesubsidieerd door de Rockefeller Foundation met een gift van drie miljoen US dollars, kon het "Woods Hole Oceanographic Institution" (Mass) in 1930 haar poorten openen en al in 1931 haar eerste opnameschepen - de zeil / motor-schepen "Atlantis I" en "Asterias" - in gebruik nemen. "Woods Hole" - zoals het zou worden aangeduid - zou een nauwe associatie met de universiteiten van Harvard en Princeton blijven houden.

De “Snellius”-expeditie (Soerabaja v.v.1929 - 1930)

Inleiding

In 1925 stelde het hoofd van de Hydrografische Dienst van de Koninklijke Marine, de Ktz J.L.H.Luymes (1869 - 1943), ambtshalve lid van de Rijkscommissie voor Graadmeting en Waterpassing, aan het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap voor om in de Indische Archipel een fysisch en chemisch oceanografisch onderzoek te doen. Want tijdens de “Siboga”-expeditie (1899/1900), waarover tijdens en zelfs nog na het Interbellum studies zouden verschijnen, was de nadruk van het onderzoek vooral op biologische aspecten gevallen. Bovendien was in de loop van de twintigste eeuw de dieptebepaling - vroeger met loodlijnen, maar sinds de Eerste Wereldoorlog met een echolood, dat eens per kwartier een peiling kon doen - zoveel efficiënter geworden, dat een gedetailleerdere opname van de zeebodem-morfologie binnen bereik was gekomen. De opzet van de voorgestelde expeditie werd mede door de Duitse “Meteor”-expeditie (1925 - 1927) beïnvloed in zoverre, dat wederom een beperkt zeegebied zou worden onderzocht met focus op de zeebodem-morfologie en circulatie en chemische samenstelling van het zeewater, terwijl het geologisch onderzoek aan koraalriffen kon worden voortgezet.¹

De Indische regering bleek bereid middelen en een in aanbouw zijnd hydrografisch opnamevaartuig, de “Willibrord Snellius”, voor genoemd onderzoek ter beschikking te stellen. Dat die middelen - ondanks hangende bezuinigingen – uiteindelijk ook beschikbaar kwamen was denkelijk mede te danken aan de tussenkomst van de partijloze Minister van Koloniën Dr J.C.Koningsberger (1867 - 1951), befaamd natuuronderzoeker en voorstander van een ethische politiek. Overigens verwachtte ook hij, dat de nog ontbrekende fondsen wel uit particuliere bronnen zouden kunnen worden gefourneerd.

Organisatie

Leider van expeditie en wetenschappelijke staf van vijf academici en zeven assistenten was de gepensioneerde marineofficier P.M.van Riel, hoofd van de afdeling Oceanografie en Maritieme Meteorologie van het K.N.M.I. De scheepsbemannings telde 110 koppen en stond onder commando van de Ltz1 F.Pinke.

Uitvoering

Tussen juli 1929 en november 1930 legde de “Willibrord Snellius” in het gebied van de Oostindische diepzeebekkens ruim dertig duizend mijl af, waarbij ruim 33 000 echolodingen werden uitgevoerd. Daardoor werd de zeebodem morfologie veel

¹ (P.M.van Riel), "Een Nederlandsche oceanografische expeditie in de zeeën van Nederlandsch Indië", in: TAG 2 45 (1928) 370 – 372.

gedetailleerder bekend. Voorts werden van honderden locaties temperaturen, watermonsters en bodemonsters verzameld en was er tijd voor (sleep)netvisserij.

Uit brieven van commandant Pinke is af te leiden, dat de samenwerking aan boord met wetenschappers niet altijd gladjes verliep: "...er is een neiging bij de stafleden over schip en instrumenten te schrijven. (De wetenschappelijke lui willen zoo graag publiceren)...De schrijvers kunnen niet voldoende op de hoogte zijn, doch matigen zich gauw een oordeel aan". Ook over de schepelingen was hij weinig te spreken: "de oude opname-matroos is helaas vrijwel verdwenen. Ik heb veel van die jongens aan boord, die geen kompas kennen, niet kunnen sturen, zich niet thuis voelen in een sloep..." Maar Pinke was dan ook een ambitieus hydrograaf, wat koppig en misschien eigenzinnig, maar zeker erg toegewijd. Desondanks kwam naderhand ook zijn eigen studie terzake van de verschillende methoden van het echoloden niet af.²

Resultaten

Na terugkomst liep bij deze expeditie de verwerking van de verzamelde informatie grote vertraging op, omdat in het budget geen rekening met de betaling van de benodigde arbeidskrachten was gehouden.

De eerste publikaties door staf van de "Snellius"-expeditie betroffen de bodemgesteldheid in de Indische Archipel, verschenen in 1934 en waren van de hand van Van Riel. Het laboratorium onderzoek van het verzamelde aan flora, fauna en gesteente kon "voorlopig" voortgang vinden, maar ook daarin kwam de klad na 1934 door de pensionering bij het K.N.M.I. van expeditieleider Van Riel. Pinke's samenwerking met hem eindigde in een verschil van mening over inhoud en wijze van publikatie van het aandeel van eerstgenoemde aan het expeditieverslag.³ De 23 delen tellende reeks rapporten van de "Snellius"-expeditie kon pas lang na de bevrijding worden afgesloten met twee delen, die de samenstelling en de stroming van het zeewater beschreven. Hoewel.....resultaten van het geologisch onderzoek zouden nog tot in 1978 in losse publikaties verschijnen.

Niettemin waren de resultaten van deze expeditie en de later door Vening Meinesz op zee opgedane ervaringen betreffende zee-stromingen en -systemen zodanig, dat na de oorlog de afdeling "Oceanografie" binnen het K.N.M.I. werd losgekoppeld van die van de "Mariene Meteorologie". De leider van de nieuw gevormde afdeling zou op instigatie van Vening Meinesz, de toenmalige hoofddirecteur van het K.N.M.I., begin 1947 eerst een studiereis naar de Verenigde Staten maken. Hij bracht o.a. geruime tijd door aan het "Scripps Institution of Oceanography" in La Jolla (Calif), waarvan H.U.Sverdrup - die Vening Meinesz in 1930 in Bergen aan boord van de "Nautilus" al had ontmoet - de directeur was. Daarna volgde nog een stage bij het "Woods Hole Oceanographic Institution" in Woods Hole (Mass.), waar toentertijd Ewing leiding gaf.⁴

² A.M.C.van Dissel,"Koninklijke Marine – In dienst van de Wetenschap", in: A.Wentholt (red.), *In kaart gebracht met kapmes en kompas* (tweede druk; Heerlen / Utrecht 2004) 357.

³ Ibidem, 357.

⁴ H.G.Cannegieter (red.), *Koninklijk Nederlandsch Meteorologisch Instituut 1854 – 1954* (Den Haag 1954) 229.

De geoloog Kuenen beschreef zijn herinneringen aan de “Snellius”-expeditie in *Kruistochten over de Indische Diepzeebekkens* (Den Haag 1941), dat (in oorlogstijd verschenen) een ruim lezerspubliek vond.

De K XIII expeditie (Soerabaja v.v.12/06/1929 – 15/02/1930)

Tenzij anders vermeld is de nu volgende informatie ontleend aan F.A. Vening Meinesz, *Gravity expeditions at sea 1923 – 1930 Vol.1* (Delft 1932) 67 - 109.

- Eerste deel (12/06 - 12/08/1929) / 7000 mijl / 105 meetpunten. Via de Banda Zee langs de kusten van de kleine Soenda Eilanden, Nieuw-Guinea, de Molukken en Halmaheira tot Mindanao. Onderbreking in Ambon.
- Tweede deel (08/10 - 14/11/1929) / 4000 mijl / 65 meetpunten. Rondom Celebes. Onderbreking in Makassar.
- Derde deel (02/01 - 15/02/1930) / 5000 mijl / 62 meetpunten. Rond langs Java en Sumatra. Onderbreking in Belawan.

Inleiding

Toen evaluatie van de in 1926/27 in de Oostindische Archipel en ten zuiden van Java gemeten zwaartekrachtsprofielen meer vragen dan antwoorden terzake van de relatie tussen geologische configuratie en zwaartekracht hadden opgeworpen, kreeg in 1928 de wens gestalte in dit gebied een gedetailleerder onderzoek uit te voeren. Inleidende besprekingen tussen leden van de Rijkscommissie en de Minister van Koloniën, Dr.J.C.Koningsberger - zelf een onderzoeker van naam - en de toevallig in Nederland aanwezige Commandant Zeemacht in Indië leidden er eind 1928 toe, dat Vening Meinesz na het bijwonen van het Vierde Pan Pacific Science Congress in Bandoeng met de K XIII het door hem gewenste onderzoek kon gaan uitvoeren. "Aanvankelijk bestond er bezwaar het schip zolang aan zijn eigenlijke dienst te onttrekken, maar wegens de groote wetenschappelijke betekenis der waarnemingen is dat bezwaar terzijde gesteld".¹

Dat kort na een regionaal, verkennend onderzoek het daarbij verkregen nieuw inzicht zo snel in een voorstel tot systematisch detailonderzoek kon worden uitgewerkt en gerealiseerd was een doorbraak in oceanografisch onderzoek!

Vening Meinesz onderzoeksvoorstel was erop gebaseerd om over het geologische gecompliceerde Oostelijk deel van de Indische Archipel een netwerk van meetpunten te leggen, die onderling niet meer dan zo'n honderd kilometer van elkaar verwijderd waren. Die afstand kwam overeen met en was waarschijnlijk mede gebaseerd op de door velen toentertijd als maximaal geschatte dikte van de stijve aardkorst. Met zo'n netwerk zou hij in staat zijn later in verschillende richtingen door equidistante controlepunten zwaartekrachts profielen te construeren. Waar op grond van geologisch inzicht de richting van de tectonische activiteit kon worden vermoed, zette Vening Meinesz profielen uit in de werkrichting van die krachten; zoals bijvoorbeeld langs de Zuid- en Westkusten van Java en Sumatra.²

¹ J.J.A.Muller, "De gravimetrische opnemingen der zeeën van Nederlandsch-Indië", in: *TAG* 2 47 (1930) 703.

² F.A.Vening Meinesz, *Relevé gravimetrique maritime de l'archipel Indien* (Delft 1931) 3.

Uit het door Vening Meinesz gewenste netwerk van meetpunten en het operationeel realiseerbare zou daags voor vertrek een definitief routeplan worden opgemaakt, waarbij veel medewerking van de Commandant Zeemacht in Indië werd verkregen. Want bij een acht maanden durende operatie in tropische wateren moet een duikboot toch ook regelmatig een haven opzoeken voor motorisch onderhoud en voor verwijdering van overmatige algenaangroei aan de scheepshuid. En daar duikdiensten in tropische wateren veel van de bemanning vergen, had die ook wel recht op enig verlof....

Doelstellingen

Van het wetenschappelijk onderzoek was de belangrijkste doelstelling de bepaling van de relatie tussen (zwaartekracht) en tektoniek van de aardkorst: waar de toestand van isostasie is verstoord, moeten krachten werkzaam zijn, die in de geologische configuratie gereflecteerd zijn. Die relatie kon op basis van de resultaten van het eerder verkennend onderzoek nog niet worden vastgesteld. Adequate profilering van het zeebodemreliëf met behulp van het echolood was voorts een vereiste voor de adequate reductie van de ruwe zwaartekrachtsgegevens. Voor de marine was het opdoen van ervaring met navigatie en met frequente duikoperaties in tropische wateren bezaaid met mogelijk niet nauwkeurig in kaart gebrachte koraalriffen ongetwijfeld een uitdaging gedurende het maandenlange onderzoek.

Personeel

Gedurende de gehele expeditie voerde Ltz2 G.Mante (1898 - 1942) in een goede verstandhouding met Vening Meinesz het commando over een bemanning van vijf officieren en 26 manschappen, waaronder zeven Inlanders.

Middelen

De materiële uitrusting voor deze expeditie verschilde nauwelijks van die van de door de K XIII in 1926/27 uitgevoerde expeditie. Terwijl door de "Willebrord Snellius" nog verschillende echolood apparaten werden beproefd, moest men op de K XIII het doen met een gemodificeerd Fessenden onderwater communicatie systeem. Maar Vening Meinesz had nu tenminste de beschikking over twee chronometers en een slingerapparaat met een verbeterd registratiesysteem.

Uitvoering

Omdat de meetpunten relatief dicht bij elkaar lagen en een volledige duikoperatie een uur of twee duurde, kon er tweemaal 's nachts en tweemaal overdag worden gedoken, terwijl in de vroege ochtend en de vroege avond de chronometers met de vanuit het Bosscha Observatorium te Lembang verzonden radiotijdseinen konden worden geijkt. Dit programma trok een zware wissel op de bemanning. Temeer, daar tijdens het eerste deel van de expeditie vanwege een te ruwe zee de dekluiken nauwelijks geopend konden worden en de binnenatmosfeer alles behalve fris reikte ondanks de inspanningen van het "airconditioning" systeem. Zo'n omgeving was ook

niet echt bevorderlijk voor het doen van reken- en denkwerk, dat gravimetrisch onderzoek met zich meebrengt. Gelukkig was de zee gedurende de verdere expeditie redelijk kalm, het leefklimaat minder onaangenaam. Niettemin bracht - waar mogelijk - een groot deel van de bemanning een deel van de dag op het toredek (3 m x 1,2 m) door.³

Onverlet de plaatselijke zeestromingen werd tijdens de een half uur durende meting voor de berekening van het Eötvös effect een snelheid van 3,2 - 3,6 knopen aangehouden, overeenkomend met 135 schroefomwentelingen per minuut. Deze aanname werd enkele malen metend langs hetzelfde traject in beide richting varende, gecontroleerd. Waar de zeebodem vlak bleek werden enkele malen opvolgende metingen gedaan om de robuustheid van de instrumentatie te bevestigen. Ontwikkeling van de fotografische registraties kon nog alleen in de thuishaven worden gedaan. Toen bleek op basis van plotseling afwijkende slingertijden, dat aan het eind van de eerste tocht door onbekende reden een van de slingers in het ongerede was geraakt. Een afwijking, die Vening Meinesz naar beste kunnen op de Technische Hogeschool te Bandoeng corrigeerde, maar die niettemin in een iets grotere foutmarge voor de rest van de metingen resulteerde.

Gedurende het eerste deel van de expeditie functioneerde het Fessenden echolodingsysteem niet naar behoren. Slecht werkende hydrofonen - als oorzaak aangemerkt - werden in Soerabaja door nieuwe vervangen, waarna het euvel opgelost bleek. Toen gedurende het laatste deel van de expeditie de met de operatie van het echolood belaste telegrafist door ziekte indisponibel was, namen commandant Mante en Vening Meinesz zijn taken waar.⁴

Resultaten

Uitwerking van de ruwe waarnemingen tot bruikbare meetgegevens werd verricht door personeel van het K.N.M.I. "in vrijen tijd".⁵ Waar hierbij betrouwbare gegevens over de diepte van de zee ontbraken, gebruikten zij informatie door de "Snellius" expeditie vergaard.

Al op basis van zijn eigen, voorlopige berekeningen meende Vening Meinesz - een foutenmarge van 10 - 20 mgal hanterend - een vijfduizend kilometer lange en minder dan honderd kilometer brede strook van aanzienlijk negatieve zwaartekrachts anomalieën vanaf noordwest Sumatra rond de Soenda Eilandenboog via de Molukken langs Halmaheira naar de Mindanaotrog te kunnen traceren. In dwarsdoorsnede bleek de grote negatieve anomalie aan weerszijden van een positieve "schouder" van variabele amplitude vergezeld te gaan.

De wijze, waarop de intensiteit van de negatieve anomalie in de as van de "Minus"-zone door de gehele archipel veranderde, zou sterk pleiten voor de aanname, dat de zijdelingse druk niet door contractie van de aardkorst ten gevolge van afkoeling en krimp ontstond. Ook lijken de krachten, die de zijdelingse druk

³ F.A.Vening Meinesz, "By submarine through the Netherlands East Indies", in: *Geographical Journal* LXXVII (London 1931) 339.

⁴ Muller, "De gravimetrische opnemingen der zeeën van Nederlandsch-Indië", 704.

⁵ *RCG* 1930, 14.

realiseren, orden van magnitude groter, dan die veroorzaakt door Wegener's hypothetische "Polfluchtkraft".⁶

Op grond van de ruimtelijke uitgebreidheid van de anomalieën leek de conclusie gewettigd, dat de "Minus"-zone deel uitmaakte van een geotectonisch systeem, dat van het Alpino-Himalaya systeem via het Archipelgebied zich voortzette tot in de diepzeetroggen van de Stille Oceaan. De processen, die aan de basis van dat systeem lagen, leken ook dieper te liggen en eenvoudiger van aard te zijn dan de visueel waarneembare (geologische) verschijnselen suggereerden. Op basis van een snelle berekening leek het te gaan om processen, die zich op een diepte tot veertig kilometer afspeelden.⁷

Besluit

Internationaal was de respons op de resultaten van de K XIII expeditie positief. Niet alleen was er veel bewondering voor de man, die zo'n groot onderzoek onder moeilijke omstandigheden tot een goed einde wist te brengen, maar ook voor de interpretatie door hem van de resultaten. Een voordracht voor de Royal Geographical Society op 10 november 1930 leidde tot de volgende reacties.⁸

"...the discovery of this great line of negative anomalies, is the greatest geodetic discovery made since 1901...." (de geodeet Sir Lenox-Conyngham). Ook de door Vening Meinesz geconstateerde correlatie van "Minus"-zone en vulkaanketens (en aardbevingszones) in de Indische Archipel leek op enig moment in de geologische evolutie van de Britse eilanden een tegenhanger te kunnen vinden. (Sir John Flett) Veel steun kreeg Vening Meinesz ook voor zijn hypothese, dat de oorzaak voor de creatie van "this great line" in processen diep onder de aardkorst moet worden gezocht: "...it is not without support from....terrestrial magnetism..." (de geofysicus Chapman).

⁶ Muller, "De gravimetrische opneming der zeeën van Nederlandsch-Indië", 705.

⁷ Vening Meinesz, *Relevé gravimétrique maritime de l'archipel Indien*, 5.

⁸ F.A.Vening Meinesz, "Gravity anomalies in the East Indian Archipelago", in: *Geographical Journal* LXXVII (London 1931) 332 – 337.

De “Nautilus”-expeditie (New York 24/03/1931 - Bergen 20/11/1931)

Tenzij anders vermeld is de nu volgende informatie ontleend aan J.J.Ahern, *Low road to the pole. The 1931 Nautilus expedition to the North pole* (Washington 2000) via <http://www.amphilsoc.org/library/exhibits/nautilus/pole.htm> geraadpleegd op 15 augustus 2005.

Doelstellingen

In het begin van de twintigste eeuw werd arctisch onderzoek uitgevoerd middels oppervlakte-schepen of luchtvaartuigen. Dankzij de gegroeide bedrijfszekerheid van duikboten begonnen poolonderzoekers als Hubert Wilkins (1888 - 1958) zich na de Eerste Wereldoorlog als doel te stellen te onderzoeken in hoeverre zo'n vaartuig gebruikt kon worden als tijdelijke wetenschappelijke onderzoeksbasis in openingen tussen poolijsstromen of als transportmiddel onder het ijs van de Noordelijke IJszee.

Middelen

Nadat Wilkins zich had verzekerd van de financiële steun van het Carnegie Institution, het Woods Hole Oceanografic Institution, het Noors Geofysisch Instituut, de American Geographical Society en het Cleveland Museum, kon hij voor de somma van een dollar per jaar voor een periode van vijf jaar van de US Navy de ontmantelde duikboot O-12 (SS-79) huren. Deze nauwelijks driehonderd ton metende duikboot was al sinds 1924 opgelegd en in eerste instantie bedoeld om te worden verschrot als uitvloeisel van het Verdrag van Washington. Maar voor deze nieuwe missie moest zij eerst in de Verenigde Staten worden aangepast door onder andere de brugopbouw te verwijderen en vervolgens haar uit te rusten met een flexibele boeg, een ingebouwde drukcabine en elektrische drillboren, 'ijssmelters' en lanceerinrichtingen voor springladingen om onder wisselende omstandigheden door poolijs heen te kunnen breken. Want men voorzag, dat niet langer dan drie dagen onafgebroken onder ijs kon worden gevaren. De hiertoe dan in een 'drooggelegde' werf uitgeruste duikboot werd herdoopt tot “Nautilus”, verwijzing naar Jules Verne's fictieve *20 000 mijlen Onderzee* - boot.

Vaarroute

Vanuit de Verenigde Staten op weg naar Noorwegen kreeg “Nautilus” halverwege de Atlantische Oceaan motorische averij en moest naar Davenport (Engeland) worden gesleept voor reparatie. Begin augustus 1931 deed zij Bergen (Noorwegen) aan, waar de Noorse wetenschappelijke staf aanmonsterde en ondermeer een van de Nederlandsche Seintoestellen Fabriek (N.S.F.) aangekocht slingertoestel werd geïnstalleerd. Vanaf de tweede helft van augustus tot in september voer “Nautilus” in en - soms onder - de IJszee bij Spitsbergen. Technische mankementen forceerden haar terugkeer naar Bergen op 20 september. Zij werd op 20 november 1931 doelbewust tot zinken gebracht in een Noorse fjord.

Personeel

Terwijl Wilkins de expeditie leidde, was Sloan Danenhower voor de bereddering van de duikboot en Harold U. Sverdrup (1888 – 1957) voor het wetenschappelijk onderzoek verantwoordelijk. In totaal maakten vanaf Bergen een twintigtal koppen de expeditie mee. Bernhard Villinger was als wetenschappelijk assistent belast met het meten van de zwaartekracht.. Hij werd daartoe ter plaatse in het gebruik van het slingertoestel geïnstrueerd door Vening Meinesz, die eerder in Hilversum dat apparaat had afgeregeld.

Uitvoering

Op vijf augustus 1931 uit Bergen vertrokken, arriveerde de “Nautilus” - zij het niet zonder kleine averijen - op de vijftiende van die maand voor een laatste inspectie bij Spitsbergen. Daags daarna werd pakijs waargenomen en voorbereidingen getroffen voor een eerste duik. Maar van duiken moest op het laatste moment worden afgezien vanwege een hangende uitlaatklep van een ballasttank. Na reparatie hiervan bleek bij een volgende duikmanoeuvre, dat het duikroer niet aanwezig was (gemaakt?). Tussen de bedrijven door werd nog wel door een duiker een monster van de zeebodem opgehaald, waarbij de drukcabine goede diensten bewees. Maar met de boot kon alleen nog worden gedoken onder een zeer kleine hoek door overdacht gebruik te maken van de afvulling van de ballasttanks. Toen men zodoende eindelijk onder een ijslaag van een meter dik wist te duiken, bleken de ijsboren niet op hun taak berekend. In het licht van de geringe vooruitgang (en de talloze gebreken?) en van het inmiddels naderende einde van de voor onderzoek gunstige weerssituatie werd begin september besloten de expeditie af te blazen. Op Spitsbergen werden expeditieleider en wetenschappelijke apparatuur ontscheept en terugkeer naar Bergen voorbereid. Daar aangekomen kon de bemanning eind september afmonsteren en werd bericht ontvangen, dat de “Nautilus” ver in zee tot zinken moest worden gebracht. Maar toen ook dat vanwege het slechte weer op een veilige manier niet haalbaar bleek, kreeg de door averijen geplaagde “Nautilus” eind november 1931 onder het oog van een vloot van scheepjes in een fjord nabij Bergen op een diepte van 350 meter eindelijk haar laatste rustplaats.

Resultaten

Aan marien-gravimetrisch onderzoek lijkt de “Nautilus”-expeditie nauwelijks te zijn toegekomen. Toch was voor Vening Meinesz in een opzicht zijn medewerking aan de expeditie niet zonder gevolgen. De leider van het wetenschappelijk onderzoek, Harold U.Sverdrup, was ten tijde van de expeditie al een befaamd poolonderzoeker en oceanograaf en in Bergen aan het particuliere Christian Michelsen Instituut als full-time onderzoeker werkzaam. In 1936 werd Sverdrup benoemd tot hoofd van het Scripps Institution of Oceanography, een in 1931 verzelfstandigd onderdeel van het particulier gefinancierde Scripps Institution for Biological Research, gevestigd in La Jolla (Californië). Met de onmiddellijke vervanging van verouderd materieel door een modern onderzoeksvaartuig bracht Sverdrup daar onderzoek en onderwijs snel tot grote hoogten, smeedde gedurende de Tweede Wereldoorlog een hechte samenwerking tussen Instituut en US Navy en gaf - in associatie met de Universiteit

van Californië - vorm aan de grote naoorlogse expansie van oceanografisch onderzoek in de Stille Oceaan.¹

¹ <http://scrippsarchives.ucsd.edu/sio/archives/siohstry/sverdrup-blog.html>, geraadpleegd op 28 februari 2007.

De S 48 expeditie (Guantanamo 7/2/1932 - Miami 17/3/1932)

Doelstellingen

Onder auspiciën van de USC&GS en met medewerking van de US Navy werd onder gezag van R.M.Field (1885 - 1961), hoogleraar aan de geologische faculteit van de Universiteit van Princeton, een plan voor een mariene zwaartekrachtsexpeditie gerealiseerd met als doel de aard van het korstgesteente onder de ondiepe afzettingen in de zeeën rond de Bahama's, Jamaica en Cuba te onderzoeken. Sponsors van de expeditie waren - behalve bovengenoemde instellingen - de Geological Society of America (GSA) en de American Geophysical Union (AGU).¹ Transfer naar de Verenigde Staten van zijn slingertoestel gaf Vening Meinesz als beoogd instructeur een nieuwe gelegenheid om een vergelijking tussen de in Washington en de in De Bilt gemeten zwaartekrachtswaarden te treffen.²

Vaarroute

De beoogde vaarroute leidde vanuit Guantanamo (Cuba) met de klok mee rond Jamaica en Cuba, rond de Caicos eilanden en vervolgens langs de Oost- en Noordkust van de Bahama eilanden naar Miami.

Middelen

Voor de expeditie stonden twee vaartuigen ter beschikking. Duikboot S 48 met een waterverplaatsing van 1500 ton was aanmerkelijk groter dan enige duikboot, waarop Vening Meinesz eerder had gewerkt. Dat kwam, doordat aan de duikboot een middensectie was toegevoegd gedurende een twee jaar durende dokbeurt, nadat zij in 1925 aan de grond gelopen en zwaar beschadigd was. De boot stond dan ook als "ongeluksboot" bekend. Na beëindiging van de expeditie zou zij weer een grote dokbeurt moeten ondergaan. Op deze boot werd de slingerapparatuur dus geplaatst.³ De duikboot werd begeleid door "tender and rescueship (!?)" US "Chewink", waar men zich met de echolodingen bezighield.

Personeel

Lt. Cmdr. Olton R.Bennehoff voerde op de S 48 het commando over een bemanning van 38 koppen. Oudste officier was Hyman G. Rickover (1900 - 1986), de latere "vader van de nucleaire onderzeeboot". Hoewel zijn achtergrond die van een electrotechnicus was, deed Rickover op de S 48 tussen 1931 en 1933 zijn (enige) ervaring als nautische (duikboot) officier op.

¹ R.M.Field, "Felix Alexander Vening Meinesz; exponent of international cooperation through geoscience", in: (P.Honig and F.Verdoorn, red.) *Science and scientists in the Netherlands Indies* (New York City 1945) 102.

² RCG 1932, 6.

³ W.D.Irvin, "Oddball S-Boat", in: Paul Stilwell (ed.) *Submarine Stories* (z.p. 2007) 62 – 66.

Als wetenschappelijke staf waren, behalve Vening Meinesz en R.M. Field, ook H.H.Hess (1906 - 1969), een latere decaan van de geologische faculteit te Princeton, en matroos / technicus T.T.Brown (1905 – 1985) van het US Naval Research Laboratory aan boord. Laatstgenoemde moest door Vening Meinesz in het gebruik van het slingerapparaat worden geïnstrueerd.⁴

Aan boord van US "Chewink" was E.B.Collins (US Navy Hydrographic Office) voor de uitvoering van de echolood / diepte metingen verantwoordelijk.

Uitvoering

Al voor de aanvang van de expeditie - de S 48 lag in Guantanamo te ravitailleren en de opvarenden waren in een hotel in Santiago ondergebracht - bracht een zware aardbeving bijna een voortijdig einde aan het onderzoek: onder de ruïne van het Casa Grande Hotel, maar "beschermd" door de constructie van zijn bedstee werd Vening Meinesz haast ongedeerd door o.a. Hess gevonden en in veiligheid gebracht, voordat een na-schok ook van het restant van het hotel een puinhoop maakte.⁵ Maar Hess, die deze episode later boekstaafde, merkte op, dat het niet het enige "ongemak" was, dat Vening Meinesz ten deel viel.

Ook al was de S 48 van een recent ontwerp, haar prestaties in vreedstijd lieten te wensen over. Al direct na haar tewaterlating in 1921 bleek een der balasttanks dienst te weigeren en zonk de boot zo langzaam maar zeker, dat de bemanning nog net het vege lijf kon redden. Ook bij het onderhavig onderzoek raakte eens de boegballast- tank defect met gevolg, dat de boot een duik tot haar maximale duikdiepte van 50 meter maakte, voordat corrigerende actie effect kreeg. Van de duikboot werd klaarblijkelijk gedurende de expeditie zoveel geest, dat de commandant in Miami een grote dokbeurt noodzakelijk achtte.

Elke vier tot vijf uur werd gedoken tot diepten varieerend van periscoopdiepte tot zo'n veertig meter, zodat er nauwelijks meer tijd voor zelfs een hazeslaapje was. Voor het uitvoeren van de zwaartekrachtmetingen was matroos T.T.Brown door het Naval Research Laboratory aangewezen, terwijl aan Hess de geofysisch / geologische duiding van de resultaten was toevertrouwd. In de aanloophavens werden de filmopnamen ontwikkeld en voorlopig geïnterpreteerd. Radiotijdsignalen werden dagelijks enige malen verwerkt voor de correctie van chronometertijden.

Resultaten

Gedurende de expeditie werden 54 zwaartekrachtmetingen uitgevoerd, genummerd - in aansluiting op het onderzoek van de S 21 - van 50 tot 103. Hiermee werd ook in de Verenigde Staten de traditie gecreeërd om - onafhankelijk van boot, waarnemer of zeegebied - aan iedere, door "Woods Hole" gedane mariene zwaartekrachtmeting een uniek nummer te geven. Een traditie, die blijkens publikaties zeker tot 1948 stand zou houden.

⁴ P.Schatzkin, *Defying gravity. The parallel universe of T.Townsend Brown* (e-book 2011).

⁵ H.H.Hess, "The Vening Meinesz negative gravity-anomaly belt of island-arcs 1926 – 1956", in: A.van Weelden (ed.) *Gedenkboek F.A.Vening Meinesz*. Verschenen als Deel XVIII van de *Geologische Serie van de Verhandelingen van het Koninklijk Nederlandsch Geologisch-Mijnbouwkundig Genootschap* (Den Haag 1957) 183.

De uitkomsten van de S 48 expeditie toonden aan, dat de ondergrond van het Bahama-eilandenrijk niet met die van de Antillenboog te vergelijken leek en dus waarschijnlijk niet van vulkanische oorsprong was. En voorts, dat het gebied ook structureel niet verwant of gerelateerd kon worden aan dat van de Westindische Archipel. De rol, de positie van Cuba in de geologische ontwikkeling van de Golf van Mexico enerzijds en het Caribische Zeegebied anderzijds zou nog onopgelost blijven. De resultaten werden gepubliceerd in R.M.Field e.a. *The Navy-Princeton Gravity Expedition to the West Indies in 1932* (US Navy Hydrographic Office, Washington, 1933), waarin Hess de geologische / geofysische paragraaf voor zijn rekening nam.

Reminiscenties

Volgens Irvin was Bennehoff een rekenkundig genie, maar als duikboot - commandant nogal wispelturig. Met Rickover, die de bemanning tegen hem vaak in bescherming moest nemen, zou hij onophoudelijk geargumenteed hebben. Rickover was voor Irvin een "fine and respected shipmate". In 1933 zou Rickover's Engelse vertaling van Hermann Bauer's *Das Unterseeboot* (Berlijn, 1931) verschijnen en vanaf dat moment tot de Tweede Wereldoorlog de standaard tekst voor de Amerikaanse onderzeedienst vormen. Bauer (1875 - na 1928) verwerkte in die publikatie zijn inzichten opgedaan als admiraal van de Duitse duikbootvloot in de Eerste Wereldoorlog. Gesprekken met Vening Meinesz gaven Rickover de intellectuele stimulus, die hij in de US Navy node miste. "Ik ben blij met deze vrienden", schreef hij zijn vrouw, "Ze zijn zo anders dan marineofficieren, aan wie geen filosofische gedachte besteed is. ...Ik heb Vening Meinesz een steuntje gegeven. Hij was nogal pessimistisch, maar nu heb ik zijn optimisme weer teruggebracht".⁶ Vening Meinesz' ervaringen met de S 48 deden hem inderdaad de voorkeur aan Hollandse duikboten geven.⁷

Al met al ervoer Hess zijn intensieve contacten met Vening Meinesz gedurende deze expeditie als een verbond tussen leraar en leerling, tussen onderzoeker en assistent, die het geluk had om juist toen zo'n veelbelovend, nieuw gebied van onderzoek te mogen betreden. Zij zouden verder nauwe contacten blijven houden.⁸

Matroos T.Townsend Brown, die ook aan het expeditie rapport zou meewerken, merkte naderhand, dat "Dr. Vening Meinesz a man with friends in high places... applied his quiet influence in the background to recommend *Lieutenant* Brown for his next assignment at sea".

Verdere ontwikkelingen

Toen de resultaten van de S 21 en de S 48 expedities op de Jaarvergadering van de Geological Society of America in december 1932 ter sprake kwamen, wekten zij de interesse van enkele vooraanstaande structureel-geologen als Bailey Willis en Walter

⁶ F.Duncan, *Rickover. The struggle for Excellence* (Annapolis 2002) 44-47.

⁷ H.Hazelhoff Roelfzema, "De betekenis van de zwaartekrachtmetingen genomen door Prof.Dr.Ir.F.A.Vening Meinesz van September 1923 tot augustus 1939", in: *Jaarverslag Vereniging Nederlandsch Historisch Scheepvaart Museum* (Amsterdam 1982) 56.

⁸ Hess, "The Vening Meinesz negative gravity-anomaly belt", 183.

Bucher. Onder auspiciën van de American Geophysical Union (AGU) was in 1932 al onder voorzitterschap van R.M.Field een “Committee on Geophysics and Tectonics (later Geological Study) of Ocean Basins” opgericht om activiteiten op genoemd gebied te initiëren en / of te coördineren. Als resultaat van de zich nu verbredende belangstelling in marien zwaartekrachtsonderzoek werd in een samenwerking tussen Britse en Amerikaanse onderzoekers, de USC&GS, de GSA, de AGU en de US Navy een nieuwe expeditie voorbereid om het gebied langs de Antillenboog en de Venezolaanse kust nader te onderzoeken; een expeditie, die in de winter van 1936-37 haar beslag zou krijgen.

Ten gevolge van de aanloop naar en uitbreken van de Tweede Wereldoorlog kreeg laatstgenoemde expeditie geen direct vervolg, maar na de Tweede Wereldoorlog zou mariene gravimetrie met medewerking van de US Navy gedurende de “Koude Oorlog” een hoge vlucht nemen als deel van strategisch georiënteerd militair-technologisch zee-onderzoek.

De O 13 expeditie (Den Helder v.v. 5/7/1932 - 14/8/1932)

Tenzij anders vermeld is de nu volgende informatie ontleend aan F.A. Vening Meinesz, *Gravity expeditions at sea 1923 – 1932 Vol.II* (Delft 1934) 65 – 79, aangevuld met gegevens uit F.A. Vening Meinesz, "The gravity expedition of Hr.Ms. O 13 in the Atlantic", in: *KNAW XXXV* (Amsterdam 1932) 1143 – 1149.

Inleiding

Maart 1931 werd door de Rijkscommissie de toezegging van Minister van Defensie Deckers verkregen, dat duikboot O 12 onder commando van Ltz1 E.J.Borgesius beschikbaar zou komen om gravimetrisch onderzoek in de Noordzee uit te voeren. De bedoeling van dat onderzoek was om het in de periode 1913 - 1920 op het vasteland verkregen netwerk van zwaartekrachtmetingen tot over de Noordzee uit te breiden. Maar bij de uitvoering van de metingen in de herfst van 1931 bleken de wateren van de Noordzee tot op de bodem te ruw, zodat bij een eerste poging in november slechts vier metingen konden worden gedaan; bij een tweede poging in diezelfde maand werd een der hoogteroeren van de duikboot dermate beschadigd, dat van verder onderzoek dat jaar moest worden afgezien.¹

Met de O 13 - waarmee op 25 juni 1932 Prins Hendrik nog een duik had gemaakt - werden aan het eind van die maand in dertig uur de ontbrekende metingen gedaan alvorens de expeditie naar de Atlantische Oceaan vertrok.²

Doelstellingen

Doel van de expeditie was het uitvoeren van gravimetrisch onderzoek in het gebied van de Mid Atlantische Rug in de omgeving van de Azoren, waar vulkanisme en aardbevingshaarden een met het Oostindisch Archipelgebied vergelijkbare geologische configuratie suggereerden. In aansluiting op dit onderzoek zouden enkele zwaartekrachtsprofielen kunnen worden verkregen dwars op de "as" van de Azoren naar Gibraltar, waar geologen zich een voortzetting van de Alpiene geosynclinaal voorstelden. Op de terugreis zou tenslotte een zwaartekrachtsprofiel over de overgangszone van oceaan naar continent worden ingemeten.

Hoewel in het onderhavig gebied door Vening Meinesz gedurende eerdere expedities al metingen waren gedaan, bleek het voorhanden netwerk van gegevens te wijdmazig, nadat Vening Meinesz in Indië het bestaan van veel smallere, anomale stroken had vastgesteld. Verdichting tot een meetpuntenafstand van 50 - 60 mijl bleek gewenst.

Route

Het programma voorzag in de acquisitie van twee profielen dwars op de Mid-atlantische Rug, respectievelijk ten noorden en ten zuiden van de Azoren. Voorts van

¹ RCG 1931, 6.

² RCG 1932, 6.

drie profielen tussen de Azoren en Gibraltar en tenslotte van een continue serie metingen 'en route' van Funchal naar Den Helder over de marge tussen oceaan en continent.

De expeditie had een totale lengte van 5300 mijl en viel in drie delen uiteen:

- Den Helder - Ponta Delgada (5 - 13/7), 11 metingen;
- Ponta Delgada - Funchal (19 - 31/7), 31 metingen;
- Funchal - Den Helder (6 - 14/8), 17 metingen.

Middelen

Duikboot O 13 - met een waterverplaatsing van 754 ton net iets kleiner dan de K XIII - stond onder commando van Ltz1 P.Rouwenhorst.

Vening Meinesz' slingerapparaat was ditmaal voorzien van bronzen slingers van een door hem ten behoeve van een verbeterde stabiliteit gemodificeerd ontwerp, dat eerder op de S 48 expeditie was beproefd.

Het Fessenden Sonic Apparatus - bedoeld voor de onderwatercommunicatie tussen duikboten - was voor de echoprofielering van de zeebodem aangepast. Het tijdsverloop tussen uitgezonden en weerkaatst, in een hydrofoon opgevangen, signaal moest door de boordtelegrafist met een handstopwatch worden gemeten.

Uitvoering

De expeditie werd begunstigd door goed weer. Maar desondanks moesten de dekluiken meestentijds gesloten blijven. De relatief korte afstanden tussen de meetpunten maakten de expeditie een inspannende zaak, daar soms drie tot vier maal daags gedoken moest worden tot een diepte van zo'n 30 - en soms 40 - meter.

Echoprofielering kon alleen in ondergedoken toestand worden ge-effectueerd, omdat boven water de ruis van tegen de duikboot brekende golven het signaal overstemde. Bovendien kwam de horizontale gerichtheid van het systeem de ontvangst van een signaal uit de diepte niet ten goede, ondanks pogingen de oriëntatie van de hydrofonen te verbeteren. In de praktijk kon een dieptemeting per mijl worden gerealiseerd met een foutmarge van 25 - 50 meter. Het systeem van echoprofielering had dus maar een beperkt horizontaal en vertikaal oplossend vermogen. Uit een aantal profielen bleek niettemin, dat het zeebodemreliëf veel onregelmatiger was dan voorzien.

Dat was dan ook de reden, waarom verschillende zwaartekrachtmetingen herhaald moesten worden om meer zekerheid omtrent hun geldigheid te krijgen. Ook werden herhaalde malen opvolgende zwaartekrachtmetingen uitgevoerd waarbij de duikboot van oost naar west en daarna in omgekeerde richting voer om de invloed van het Eötvös effect te analyseren en de vaarsnelheid te verifiëren. Die laatste werd geschat op zo'n vier knopen gedurende een meting van dertig minuten.

Vening Meinesz constateerde gedurende de expeditie, dat de nieuwe slingers minder stabiel waren dan hij zich had voorgesteld.

Gedurende de expeditie bleek uit plotselinge, onverklaarde seconde sprongen de regelmaat van een van de chronometers te wensen over te laten. Ook bleek uit een vergelijking voor en na de expeditie een graduele verandering in slingertijd, een onvermoede variabiliteit van een der slingers. Beide kwesties leidden tot nogal wat correctiewerk aan de ruwe meetgegevens. Tezamen met de altijd bestaande

onzekerheid van twee zeemijl in de precieze scheepspositie werd een marge voor de nauwkeurigheid van gemiddeld 5,6 mgal afgeleid. Maar tegen een achtergrond van anomalieën varierend van -72 tot +234 mgal was die marge nog best acceptabel.

De K XVIII expeditie (Den Helder 14/11/1934 - Soerabaja 11/07/1935)

Tenzij anders vermeld is de nu volgende informatie ontleend aan F.A. Vening Meinesz, *Gravity expeditions at sea 1934 – 1939 Vol.III* (Delft 1941) 10 – 37 en aan *Gravity expeditions at sea 1923 – 1938 Vol.IV* (Delft 1948) 123 – 130.

Inleiding

De resultaten van de K XIII (1926/27) expeditie over de Atlantische en Stille Oceaan gebieden van het Noordelijk Halfrond leidden bij velen tot de overtuiging, dat de aarddoorsnede in het equatorvlak een cirkelvorm had. Maar niet ieder was daarvan overtuigd, om reden van het feit, dat de massa der continenten ongelijk over het aardoppervlak was verdeeld, met een opeenhoping op het Noordelijk Halfrond. Bij hen leefde de vraag of zo'n massa-exces daar niet gecompenseerd zou kunnen zijn door een massa-tekort in het Indische Oceaangebied op het Zuidelijk Halfrond, waardoor genoemde cirkelvorm toch zou kunnen zijn afgeplat?

Deze vraag was voor de Rijkscommissie reden de Minister van Defensie te benaderen voor de realisatie van een zwaartekrachtsexpeditie over de Atlantische en de Indische Oceaan op het Zuidelijk Halfrond, toen bekend werd, dat drie duikboten naar Indië zouden worden gezonden. Eind december 1932 kreeg zij daartoe de toezegging in beginsel, want ook op de Onderzeedienst moest toen bezuinigd worden. In de loop van 1934 kregen de plannen vastere vorm.¹

Doelstellingen

Van operationele zijde was - behalve versterking van de vloot in Nederlands-Indië en de training van bemanningen - een belangrijke reden voor de expeditie de mogelijkheid tot uitvoerige beproeving van een nieuw ontwerp duikboot, waarvan de dieselmotoren met een nieuw systeem van brandstofinspuiting waren uitgerust.

Toch vormde de insteek om tot beantwoording van bovenvermelde vraagstelling te komen de belangrijkste rechtvaardiging voor het door Vening Meinesz voorgestelde vaarplan, waarin uitbreiding van het netwerk van zwaartekrachtgegevens over het Zuidelijk Halfrond voorop stond om de vorm van de equatoriale aarddoorsnede te kunnen verifiëren. Maar dat plan zou hier en daar nog om logistieke redenen in de loop der tijd moeten worden aangepast.² Voorts ging de belangstelling uit naar de verwerving van profielen dwars op de kust om de overgang van continentale naar oceanische korst te kunnen analyseren en werd onderzoek naar de gravimetrische respons van enkele bijzondere structuren zoals de (recentelijk ontdekte) Romanche Trog en de Walvis Rug aan het programma toegevoegd. Het vaartraject stelde tenslotte Vening Meinesz in staat om de bodemprofielen, zoals jaren tevoren door de Duitse "Meteor"-expeditie in de Zuidatlantische Oceaan waren

¹ J.J.A.Muller, "Het werk van Prof. Dr. F.A.Vening Meinesz", in: A.W.P.Angenent (red), *Alles wel; geen bijzonders !! Gedenkboek ter herinnering aan de vermaarde wereldreis van Hr.Ms. Onderzeeboot K XVIII van 14 november 1934 tot 11 juli 1935* (Den Helder 1935) 137.

² NA; Arch. Marinestaf 1886 – 1942 2.12.18 inv 204.

verkregen, te completeren en om iets van het bodemprofiel van de Indische Oceaan te leren kennen. Afgezien van metingen ten behoeve van het zwaartekracht-onderzoek was ook voorzien in meting van de intensiteit van de kosmische straling.

Voorts werd werk gemaakt van vlagvertoon en representatie speciaal in die landen van Zuid-Amerika, waarvan eventuele orders ten behoeve van een daar voorgenomen vlootuitbreiding konden worden verwacht. Met het oog daarop hadden bedrijven geschenkboeken ingebracht en waren een aantal Nederlandse documentaire films aan boord. Waar in die mate in het buitenland de publiciteit werd gezocht zou het wel verklaarbaar zijn, dat de directie van Polygoon er voldoende mogelijkheden in zag om de marineautoriteiten toestemming te vragen deze expeditie op de film te doen laten vastleggen. Daartoe werd een der dekkofficieren zes weken voor de afvaart bij genoemd bedrijf gesecondeerd.

Route

Vaststelling van de definitieve vaarroute had nogal wat voeten in de aarde gehad. Uiteindelijk bleek dat met aanloophavens als Dakar (Goree), Pernambuco, Kaapstad, Mauritius en Fremantle een traject gevolgd te worden langs plaatsen, waar in de Gouden Eeuw door de Republiek “iets groots was verricht”. Naderhand werden aan het traject Rio de Janeiro, Montevideo en Buenos Aires toegevoegd, zetels van regeringen, van wie mogelijk orders voor (oorlogs)materieel waren te verwachten. Van de Britse regering was inmiddels een verzoek ontvangen om post te bezorgen en poolshoogte te nemen terzake van de toestand op het geïsoleerd in de Zuidatlantische Oceaan gelegen eiland Tristan da Cunha. Toen de definitieve vertrekdatum van de K XVIII was vastgesteld, bleek het mogelijk de duikboot onderweg te doen functioneren als een vooruitgeschoven baken in zee voor de eerste transatlantische (kerstpost)vlucht van het KLM toestel “Snip” in december 1934.

Uiteindelijk bleek de expeditie volgens het volgende schema te zijn gerealiseerd:

Vertrekhaven	Datum	Datum	Aankomsthaven	Aantal meetpnt	Traject (mijl)
Den Helder	14/11/1934	24/11/1934	Funchal	21	1688
Funchal	05/12/1934	12/12/1934	St.Vincent	18	1242
St.Vincent	16/12/1934	28/12/1934	Dakar	23	2004
Dakar	05/01/1935	17/01/1935	Pernambuco	32	2135
Pernambuco	24/01/1935	31/01/1935	RioJaneiro	12	1260
RioJaneiro	12/02/1935	18/02/1935	Montevideo	12	1175
Montevideo	22/02/1935	23/02/1935	Buenos Aires	1	137
BuenosAires	02/03/1935	03/03/1935	MardelPlata	1	304
MardelPlata	07/03/1935	02/04/1935	Kaapstad	52	4656
Kaapstad	29/04/1935	04/05/1935	Durban	17	1189
Durban	13/05/1935	22/05/1935	Mauritius	14	1615
Mauritius	31/05/1935	20/06/1935	Fremantle	21	3429
Fremantle	02/07/1935	11/07/1935	Soerabaja	15	1733
TOTAAL				239	22567

Nadat ten behoeve van haar functioneren als radiobaken voor de “Snip” al eerder het traject St.Vincent naar Dakar was gewijzigd, werd op verzoek van Vening Meinesz na het overvliegen van de “Snip” een verder wijziging goedgekeurd, die het

hem mogelijk maakte zwaartekrachtmetingen te doen in het gebied van de toen recentelijk ontdekte Romanche Trog.

Hoewel het lijkt, dat per honderd mijl een zwaartekrachtmeting kon worden gedaan, fluctueerde in feite de gemiddelde dichtheid per tussentraject van een meting per zeventig tot een meting per honderdzestig mijl. De laatstgenoemde, geringste dichtheid werd behaald op het traject van Mauritius naar Fremantle, toen de duikboot niet alleen met slecht weer, maar ook met motorische problemen had te kampen.³

Personeel en uitrusting

Ltz1 D.C.M.Hetterschij (1891 - 1948) voerde het commando over de organieke bezetting van 34 koppen, waaraan Vening Meinesz boven de sterkte was toegevoegd. Van hen hadden Ltz2 C. ter Poorten (belast met de navigatie), Sgt-Maj. Torpedomaker G.A. van Westerop (belast met instrument-onderhoud) en Sgt. Seiner C.Verstraten met Korp. Seiner A.Bauw (belast met de ontvangst der draadloze tijdseinen en de uitvoering van de echo-lodingen) naast de commandant het meeste met de zwaartekrachtmetingen van doen. De oudste officier Ltz2 M.S.Wytema maakte gedurende de reis de filmopnamen, waarbij hij ook Vening Meinesz met zijn slingertoestel in beeld bracht. Zowel Wytema als ook OMSD2 C.van der Linden hadden met Vening Meinesz in 1926/27 de roemruchte K XIII expeditie meegemaakt. Daar zal niet vreemd aan zijn geweest, dat de commandant van die expeditie – L.G.L van der Kun – nauw bij de plannen voor de K XVIII expeditie was betrokken.

Met een lengte van 75 meter, een breedte van 6,5 meter en een holte van 5,8 meter had duikboot een waterverplaatsing (ondergedoken) van 1045 ton. Haar maximum snelheid boven water was achttien knopen, onderwater negen; haar actieradius bedroeg ruim tienduizend mijl. Afbouw van de duikboot, die onder toezicht van Hetterschij had plaatsgevonden, was vertraagd door problemen met de aflevering van geschut en brand in de werf van Wilton-Feyenoord in 1933.

Volgens *Het Vaderland* van 12 november 1934 waren voor de expeditie “de dekbuizen niet met torpedo’s, maar met aardappelen en uien volgestouwd....Voor den professor was een buitenmodel kooi gemaakt....Teneinde meer brandstof te kunnen innemen is de achterste watertank met olie gevuld...Tropenkleding vooruitgestuurd naar Dakar, “donkergoed” naar Montevideo, “witte pakken” naar Kaapstad”. Want veel ruimte voor persoonlijke uitrusting was er niet voor de bemanning van 35 koppen, die tezamen nauwelijks tweehonderd vierkante meter leef- en werkruimte hadden.⁴

Speciaal voor de opname van het bodemprofiel was de K XVIII uitgerust met een Atlas echolodingstoestel van een type, dat eerder tijdens de “Snellius”-expeditie was gebruikt en nu op expliciet verzoek van Vening Meinesz was getest.⁵

Behalve zijn slingerapparaat had Vening Meinesz op deze expeditie drie chronometers, waarvan er een geleend was van de Franse marine. Voorts het “toestel van Boulitte ten behoeve van de tijdseinvergelijking, dat zeer nauwkeurige uitkomsten biedt, maar door de grote gevoeligheid wel eens moeilijkheden

³ H.Hazelhoff Roelfzema, "Vlagvertoon en publiciteit tijdens de reis van Hr.Ms. K XVIII", in: *Jaarverslag Vereniging Nederlandsch Historisch Scheepvaart Museum* (Amsterdam 1982) 65.

⁴ M.S.Wytema, "Klaar voor onderwater!" Met Hr.Ms. K XVIII langs een omweg naar Soerabaja (Amsterdam 1936) 32.

⁵ NA; Arch. Marinestaf 1886 – 1942 2.12.18 inv 204.

opleverde".⁶ Een draagbare Holweck - Lejay gravimeter voor meting van de zwaartekracht te land was hem door de Bataafsche Petroleum Maatschappij geleend. Tenslotte was in de commandotoren een "donker hoekje" ingeruimd om de fotoregistraties van het slingertoestel te kunnen ontwikkelen.⁷

Professor Clay's (1882 - 1955) "Kollhörster electrometer" met zelfregistrerende meting van de intensiteit van de kosmische straling was - zonder ooit onder die omstandigheden beproefd te zijn - in de hekbuis kamer opgesteld, waar de torpedomaker er een wakend oog over hield.⁸

Uitvoering

Dat de K XVIII de expeditie ongehavend voltooide, betekende nog niet, dat het gehele traject ook zonder kleinere of grotere storingen werd afgelegd. Zelfs raakten op een dag meerdere machine-componenten in het ongereede. Maar het technisch personeel bleek altijd weer in staat om ze tijdig te herstellen. Een gebroken kabeltje in de radiozend - ontvanger zorgde enige dagen voor grote onrust aan het thuisfront: voor hen gold niet "geen nieuws is goed nieuws"! Ziekenhuisopname van een enkel bemanningslid leidde tot enige vertraging in het vaarschema, maar bleef zonder verdere gevolgen.

Het Atlas echolood onderscheidde zich van het eerder tot dieptemeter aangepaste "Fessenden Sonic Signalling" toestel door het uitzenden van schelle (hoogfrequente) fluittonen: met de daarmee bereikte resolutie van 25 meter was het apparaat dan ook heel wat beter. Anderzijds had de bemanning er wel "een extra kopzorg bij....", schreef *Het Vaderland* op 6 december 1934. Waar een ruw zeebodemreliëf werd vermoed, werd de gebruiksfrequentie van het Atlas echolood tot meer dan eenmaal per twee uur opgevoerd.

Scheepstrillingen en de hoge omgevende vochtigheid werden als oorzaak genoemd, waarom - ondanks de inspanningen van de torpedomaker - Clay's intensiteitsmeting van de kosmische straling zonder resultaat bleef. Het toestel werd daarom in Rio de Janeiro uitgebouwd.⁹

Onder goede weersomstandigheden kon soms per etmaal wel driemaal gedoken worden. Maar er waren ook dagen, dat het zo stormde, dat geen enkele meting kon worden gedaan. En hoewel met de overtocht over de Indische Oceaan de marine haar "horizon" had vergroot, bleken naderhand gedetailleerde meteorologische rapporten van de expeditie onvindbaar.¹⁰

Compressorproblemen bij de dieselmotoren zouden tegen het einde van de reis beperkingen aan de duikfrequentie opleggen.

Op zee werd op een duikdiepte van bijna dertig meter bij een snelheid van vier knopen de zwaartekrachtmeting uitgevoerd, die dan bijna een kwartier in beslag nam. Eenmaal werd een vergelijking tussen twee opvolgende zwaartekrachtmetingen

⁶ Muller, "Het werk van Prof. Dr. F.A.Vening Meinesz", 137.

⁷ A.W.P. Angenent (red), *Alles wel; geen bijzonders !! Gedenkboek ter herinnering aan de vermaarde wereldreis van Hr.Ms. Onderzeeboot K XVIII van 14 november 1934 tot 11 juli 1935* (Den Helder 1935) 26.

⁸ H.Hazelhoff Roelfzema, "Vlagvertoon en publiciteit tijdens de reis van Hr.Ms. K XVIII", in: *Jaarverslag Vereniging Nederlandsch Historisch Scheepvaart Museum* (Amsterdam 1982) 64.

⁹ Ibidem, 64.

¹⁰ NA; Arch. Marinestaf 1886 - 1942 2.12.18 inv 204.

gedaan, waarvan de uitkomsten evenwel zo identiek bleken, dat aan de juiste werking van het slingertoestel toen niet behoefde te worden getwijfeld. In Kaapstad werd het slingertoestel uitgebouwd om vergelijking met voorhanden metingen op het plaatselijk Observatorium mogelijk te maken. IJking van het slingertoestel na afloop van de expeditie in Bandoeng wees uit, dat de slingers iets gesleten waren. Op basis van de door Ter Poorten verschaftte gegevens werd de positionele marge op een zeemijl geschat en de hoogte van het Eötvös effect bepaald.

Met de toen vrij nieuwe Holweck - Lejay gravimeter kon Vening Meinesz met succes enkele op zee opgenomen zwaartekrachtsprofielen landinwaarts continueren. Dat daarbij officieel protocol en wetenschap soms naadloos in elkaar overgingen bleek tijdens een excursie op Madeira. Tijdens de onderbreking van een autoritje met de lokale Gouverneur "vond [Vening Meinesz] een goed gefundeerde vloer... stelde zijn minuskuul kleine apparaatje op enzagen wij hem het gehele volgende uur, in zijn jacket, af en toe op de knieën liggende, over het toestel gebogen".¹¹

In de verschillende aanloophavens van Zuid Amerika hadden de autoriteiten een lokaal ingevoerde liaison officier en officiële ontvangsten voor officieren van de K XVIII geregeld. Hun marineofficieren werden met duikdemonstraties verrast. Verder werden aan daartoe in aanmerking komende personen fotoalbums betreffende Nederland in het algemeen en scheepswerven in het bijzonder aangeboden.¹² Voor de Nederlandse kolonie, die zich zeer inspande om de bemanning een zorgeloos oponthoud te bieden, werden door Wytema met groot enthousiasme en succes films over Rotterdam, de Zuiderzeewerken of Indië vertoond.¹³

Vening Meinesz gaf in verschillende plaatsen lezingen over zijn werk en dat van de Internationale Geodetische Associatie, waarvan hij sinds 1933 voorzitter was. In de Latijnsamerikaanse verslaggeving over het duikbootbezoek viel de nadruk eerder op "wetenschap" dan "techniek", omdat journalisten ter plaatse de helder Frans sprekende Vening Meinesz beter verstonden en begrepen dan de Engels sprekende Hetterschij, die dat dan ook niet erg prettig vond. In anglofiel Zuid Afrika viel de nadruk meer op het "sportieve" en "avontuurlijke" element van de vaartocht en vond Hetterschij voor zijn verhaal een willig gehoor. Evenzo reageerde men in Australië, waar de burgemeester van Fremantle bovendien wees op de rol van de V.O.C. in de ontdekking van Australië en van Fremantle's Swan River in het bijzonder.¹⁴

Persoonlijke Indrukken

Voor commandant Hetterschij en oudste officier Wytema stonden vlagvertoon en representatie gedurende de expeditie voorop. Daarom wensten zij de K XVIII in tiptop conditie te houden. Daartoe bleek ook Vening Meinesz best wel bereid, getuige enige foto's, waarop hij met een verfkwast in de hand werd vereeuwigd.¹⁵ Maar niettemin was voor hem het risico op schade, dat duiken in "zwaarder weer" met zich mee bracht, ondergeschikt aan zijn streven om het maximale voor de wetenschap uit

¹¹ Wytema, *"Klaar voor onderwater!"*, 53.

¹² Ibidem 122.

¹³ Angenent, *Alles wel; geen bijzonders !!*, 39.

¹⁴ Ibidem, 213 e.v.

¹⁵ Ibidem, foto t/o 81.

de expeditie te halen. Verschillen in inzicht dienaangaande leidden tot wat spanning in de leiding, maar die hield dat wel "onder de pet".¹⁶

Voor Ter Poorten was Vening Meinesz "...een typische well-to-do vrijgezel, wat zelfzuchtig, maar wanneer je hem dat ronduit zei, was er geen vuiltje aan de lucht".¹⁷

Voor Maj.- machinist W.Reitsma was Vening Meinesz "...een graag geziene figuur aan boord...Dezen grooten man, die voor ons allen een vriendelijk woord heeft en voor ons een vraagbaak is in dingen, die wij nog niet konden omvatten en begrijpen betreffende zijn wetenschappelijk werk, was geen moeite teveel om aan ons leken dit duidelijk te maken".¹⁸

Wetenschappelijke resultaten

De uiteindelijke berekeningen van de ruwe zwaartekrachtsgegevens werden in het K.N.M.I. in De Bilt volgens het door Vening Meinesz in 1929 vastgestelde protocol uitgevoerd door daarvoor geautoriseerde rekenaars. Daarvoor werkten zij ook nieuwe tabellen uit voor de reductie der resultaten volgens een nieuw model van Vening Meinesz voor regionale isostatische compensatie, geldig voor verschillende uitgestrektheden der regionale verdeling en voor verschillende diktes der aardkorst.¹⁹

De zwaartekracht over de oceanen bleek systematisch een licht exces te vertonen, iets groter dan op de continenten, waarnaartoe een scherpe overgang op de continentrand optrad. Deze evenwichtsafwijkingen in de opbouw van de aardkorst bleken niet overeen te stemmen met de hypothese van een afplatting van de aarde in het equatorvlak, doch eerder met de verdeling van oceanen en continenten over het aardoppervlak.

Het langs de Westkust van Europa en van Afrika verkregen zwaartekracht-profiel suggereerde, dat de korstplooingen van het Iberisch schiereiland en van Marokko (het Atlas Gebergte) niet in de oceaan doorliepen. Deze bevinding leek de veronderstelling van een vroegere continuïteit der continenten als verklaring voor de overeenkomsten van flora, fauna en geologie aan weerszijden van de Atlantische Oceaan te weerleggen, terwijl de klaarblijkelijke stijfheid van een scherp geprofileerde oceaanbodem evenmin ruimte liet voor een model van continentverschuiving, zoals door Wegener voorgesteld.

De Romanche Trog, die met haar grote diepte en haar aardbevingscentra een evenbeeld van de Pacifische diepteetroggen leek te zijn, bleek - voorzover de te schaarse meetpunten die conclusie toelieten - isostatisch gecompenseerd en niet met een grote korstplooiing vergelijkbaar.²⁰ De trog gaf - ondanks wel heel steile wanden - de indruk vergelijkbaar te zijn met een vulkanische caldera zoals het Toba Meer in Sumatra. De aardbevingen leken hier zowel als elders in de oceaan meer het gevolg van verschuivingen langs breukvlakken, die tot uitdrukking kwamen in een groot aantal rechtlijnige ruggen van vulkanische oorsprong. Daarbij moet wel worden opgemerkt, dat het reliëf van grote delen van de Atlantische Oceaan door gebrek aan

¹⁶ Hazelhoff Roelfzema, "Vlagvertoon en publiciteit", 65.

¹⁷ Hazelhoff Roelfzema, "De betekenis van de zwaartekrachtmetingen", 61.

¹⁸ Angenent, *Alles wel; geen bijzonders !!*, 172.

¹⁹ *RCG* 1937, 8.

²⁰ F.A.Vening Meinesz, "De voorlopige resultaten van het zwaartekrachtsonderzoek tijdens de reis van Hr.Ms. K XVIII", in: *KNAW XXXVIII* (Amsterdam 1935) 108 – 109.

gegevens nog niet erg betrouwbaar in kaart was gebracht. Door ververwijderde punten met elkaar te verbinden kon al snel een gewenst patroon worden gesuggereerd.

De enkele zwaartekrachtsprofielen over de Midatlantische Rug suggereerden, dat deze regionale verheffing lokaal gecompenseerd zou kunnen zijn en mogelijk een met de continentale vergelijkbare korst zou hebben. Op de regionale topografische trend was regionaal gecompenseerd vulkanisch reliëf gesuperponeerd.

Een in zuidoostelijke richting, van continent naar oceaan over 500 kilometer lengte, dwars over Rio de Janeiro naar een onderzees plateau ingemeten zwaartekrachtsprofiel, vertoonde in topografische en gravimetrische expressie een grote overeenkomst met een zuidoostwaarts lopend profiel vanaf de Noordamerikaanse Oostkust, de continentale randzone bij Virginia. Waar laatstgenoemd gebied als verzonken sedimentair bekken werd beschouwd, vermoedde Vening Meinesz – naar later zou blijken terecht - eenzelfde origine voor genoemd onderzees plateaugebied bij Rio de Janeiro. Met de mogelijk hiermee corresponderende, zich vanaf de Afrikaanse kust in zuidwestelijke richting voortzettende Walvis Rug, leek het zwaartekrachtsprofiel te wijzen op verzonken elementen van een “landbrug”, die ooit Afrika met Zuid Amerika zou hebben verbonden.

Het door Vening Meinesz vanuit de Indische Oceaan tot zo’n 230 km ten oosten door Fremantle ingemeten profiel suggereerde, dat hier een vlakke zeebodem vanuit een diepte van vijfduizend meter via een nauwe kustzone een honderdtal meters oprees naar een laag continentaal plateau, de Darling Range. Maar in vergelijking tot dat ongecompliceerde reliëf bleken de zwaartekrachtsanomalieën verrassend groot. Evenzo als langs de Sumatraanse kust vermoedde Vening Meinesz dan ook de aanwezigheid in dit gebied van langs het aardoppervlak, in een richting dwars op het profiel verschoven breukblokken.

Reacties van het Thuisfront

Anders dan bij eerdere expedities het geval was, had nu de Regeringspersdienst daags tevoren het komend vertrek van de K XVIII expeditie doen aankondigen. En de marineautoriteiten bleken er geen bezwaar tegen te hebben, dat enkele bemanningsleden door dagbladen als “reisbrievenschrijver” waren aangetrokken.²¹

Vanwege het late vertrek van de K XVIII en de daarmee samenhangende verdere vertraging als gevolg van haar aanwijzing tot (radio)baken tijdens de Kerstpostvlucht van de “Snip”, had men voorzien, dat mogelijk het Sinterklaasfeest en zeker het Kerstfeest - tegen de gewoonte van de Koninklijke Marine in - op zee zouden moeten worden doorgebracht. In anticipatie daarop had de Onderzeedienst onder het mom van “studieboeken voor de Professor” al wel enige geschenkpakketjes aan boord gebracht, door familieleden van de bemanning en enkele bedrijven samengesteld.²²

Maar veel verder ging op dat moment het initiatief van de autoriteiten om deze lange, recordbrekende reis vanaf van vertrek in de publieke belangstelling te houden

²¹ Wytema, *"Klaar voor onderwater!"*, 39.

²² Angenent, *Alles wel; geen bijzonders !!*, 44; 53.

niet. Die taak werd op zich genomen door het ad hoc georganiseerde Comité “Onze Marine”. Zij werd daartoe aangezet door het bijna onverklaarbare enthousiasme voor de prestaties van de “Uiver”. Dit KLM toestel was enige weken tevoren als tweede geëindigd in de Londen - Melbourne vliegrace en winnaar van de handicap categorie geworden. Landelijk werd dat enthousiasme ondermeer uitgedragen door Uiver - speldjes, Uiver - sigaren, Uiver - liederen, Uiver - souvenir - borden.²³ In een persbericht op 22 November stelde het Comité zich voor als schakel tussen “het Nederlandse Volk en de opvarenden van de K XVIII” te fungeren onder het motto: “Toont met de daad Uw belangstelling”.²⁴

Het resultaat van deze oproep was in natura en in harde munt verrassend groot, zodat in de loop van de expeditie vier colli met verrassingspakketten voor de bemanning naar evenzovele aanloophavens konden worden verzonden.

Omdat de civiele boordradio van de K XVIII het in eerdere aanloophavens nogal had laten afweten, arrangeerde PHilips Omroep in Hllversum - Phohi - met medewerking van KRO en Wereldomroep in de loop van 1935 zelfs een kortegolf radiuitzending naar Mauritius. Die uitzending maakte het mogelijk voor de bemanning van de K XVIII, die ten huize van de Philips vertegenwoordiger bijeen was, naar de stemmen van hun in Nederland achtergebleven familieleden, die ze al bijna een half jaar niet hadden gehoord, te luisteren.²⁵

Bij aankomst in Soerabaja werd de K XVIII - begeleid door vliegtuigen - verwelkomd door een haag van schepen. Van Koningin Wilhelmina werd een geluks-telegram ontvangen. Minister van Defensie Deckers richtte zich kort daarop met een direct door de radio uitgezonden dankwoord vanuit Nederland tot de bemanning. Daarbij kregen enkele officieren en bemanningsleden van hem te horen, dat hen met hun rang corresponderende koninklijke onderscheidingen waren verleend. Alle bemanningsleden kregen de Draagpenning van de Rijkscommissie voor Graadmeting 1935 uitgereikt. Voorts werd er ook een officiële gedenkpenning geslagen.

Het Comité “Onze Marine” had voor de kazernes van de Onderzeedienst in Den Helder en Soerabaja gedenkramen doen ontwerpen en uitvoeren, die de herinnering aan de expeditie van de K XVIII levend moesten houden. Ook werd door het Comité het gedenkboek “*Alles wel, geen bijzonders!!*” (Den Helder 1935) met bijdragen van de bemanning van de K XVIII samengesteld, waarin zij verantwoording van haar activiteiten aflegde. Voorzover dat nodig was. Want het thuisfront was door de K XVIII expeditie als in een roes geraakt blijkens de rage van herdenkings-speldjes, -borden en -vaantjes, die was losgebroken, en de vele bedrijven, die trachtten met reclames, verwijzend naar de succesvol afgelopen expeditie, hun voordeel te doen.²⁶

Het was dan ook geen verrassing, dat tijdens de jaarvergadering van het Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap in november 1935 schout-bij-nacht T.L.Kruys kon vaststellen “dat [Vening Meinesz] onderzoeken aan de Marine de gelegenheid had geschonken het Nederlandsche Volk te toonen, dat zij nog tot grote dingen in staat is, waardoor de zwarte bladzijde uit haar bestaan was omgeslagen”.²⁷

²³ G.Mak, *De eeuw van mijn vader* (Amsterdam 2003) 173.

²⁴ Angenent, *Alles wel; geen bijzonders !!*, 46 e.v.

²⁵ Ibidem, 142 – 159.

²⁶ Angenent, *Alles wel; geen bijzonders !!*, foto t/o 177.

²⁷ (Anon), in: TAG 2 53 (1936)136 e.v.

Beeldvorming

Op initiatief van Hetterschij had Wytema ruim voor vertrek contact opgenomen met de Polygoon Filmfabriek voor het maken van een film over de K XVIII expeditie.

Directeur B.D.Ochse had zich daartoe bereid verklaard en had vervolgens ook de daarvoor benodigde medewerking van de marineautoriteiten verkregen.²⁸

Onmiddellijk na afloop van de expeditie keerde Wytema per vliegtuig naar Nederland terug om te assisteren bij de samenstelling van de film *"20 000 mijlen Over Zee"*, de eerste, door Polygoon geproduceerde (bedrijfs)documentaire film met geluid. Bij de ingesproken tekst vormde de door Peter van Anrooij (1879 - 1954) in 1911 gecomponeerde en door Max Tak voor de film gearrangeerde *"Piet Hein Rapsodie"* de achtergrondmuziek.

Gedragen door de publieke bijval voor de K XVIII expeditie slaagde Ochse er in een Erecomité ter begeleiding van de publieke filmvertoning samen te stellen, waarvan regeringsleider Colijn voorzitter werd. Dat zal er wel in niet geringe mate toe hebben bijgedragen, dat Koningin Wilhelmina persoonlijk bij de première van de film eind januari 1936 in Den Haag aanwezig wilde zijn.

In een tijd van sociaal-economische malaise bleek het publiek ontvankelijk voor het avontuur en de spanning, die de film verschaftte. Die was dan ook een groot succes zowel binnen als buiten de landgrenzen.

Dat succes bevorderde de verkoop van Wytema en Van der Linde's - met instemming van het departement van Defensie uitgegeven - reisbeschrijving *"Klaar voor Onderwater!"* (Amsterdam 1936) zo, dat de verkoopcijfers die van Huizinga's *In de Schaduwen van Morgen* voorbij streefden.²⁹ Succesvol als filmer en auteur keerde Wytema een loopbaan als marineofficier de rug toe en vervolgde zijn carrière in 1936 in de civiele scheepvaartsector.

Van het filmscript verscheen in 1938 een Duitse bewerking in boekvorm, opgedragen aan Koningin Wilhelmina (!). De bewerker, de Oostenrijkse (!) Ktz Hans Sokol, weidde - anders dan Wytema – verder uit over de Japanse dreiging in het Verre Oosten, maar negeerde Vening Meinesz' onderzoek.

²⁸ Angenent, *Alles wel; geen bijzonders !!*, 105.

²⁹ Hazelhoff Roelfzema, "Vlagvertoon en publiciteit", 70.

De “Barracuda”- expeditie (Panama 30/11/1936 – Philadelphia 14/01/1937)

Tenzij anders vermeld is de nu volgende informatie ontleend aan W.M.Ewing e. a., "Gravity observations at sea in US submarines Barracuda, Fisk, Conger, Argonaut and Madregal", in: A.van Weelden (ed.) *Gedenkboek F.A.Vening Meinesz*. Verschenen als Deel XVIII van de *Geologische Serie van de Verhandelingen van het Koninklijk Nederlandsch Geologisch-Mijnbouwkundig Genootschap* (Den Haag 1957) 57 - 62.

Doelstellingen

Onder auspiciën van het “Committee on the Geophysical and Geological Study of Ocean Basins” organiseerde Dr.R.M.Field deze United States Navy - American Geophysical Union Expedition als zwaartekrachtsexpeditie in de Caribische Zee om de structuur-geologische (tectonofysische) overeenkomst tussen het gebied rond de Kleine Antillen en de ABC eilanden met de door Vening Meinesz onderzochte Oostindische Archipel te onderzoeken.

Sponsors van deze expeditie waren de U.S.Navy, de USC&GS, de GSA, de American Philosophical Society en Woods Hole Oceanographic Institution. Laatstgenoemde instelling was een in 1930 met een subsidie van de Rockefeller Foundation opgerichte onafhankelijke non-profit organisatie voor diepzeeonderzoek, gevestigd aan de Amerikaanse Oostkust en met contacten met de aldaar gevestigde universiteiten, waaronder Harvard en Princeton.

Uitvoering en resultaten

USS "Barracuda" stond onder commando van Ltz W.A.Gorry. Vanuit Panama naar Philadelphia - haar thuishaven - legde de “Barracuda” bijna 4200 mijl af in het onderzoeksgebied en verzamelde de bemanning informatie op 59, ongelijk over het gebied verdeelde, meetpunten. Voor het begin en na afloop van de expeditie werd het slingertoestel in Washington door de USC&GS geijkt, laatstelijk eind januari 1937.

Van de wetenschappelijke staf onder de leiding van R.M. Field, was Harry H.Hess - die in 1932 met Vening Meinesz op de S 48 had gevaren - de expert op geologisch gebied. R.J.Hoskinson (USC&GS) was belast met de zwaartekrachtmetingen onder toezicht van de electro-technicus W. Maurice Ewing (1906 - 1974), die met de door American Bell Telephone Laboratories beschikbaar gestelde “crystal chronometer” en enige zelf aangebrachte verbeteringen het tijdmeet-mechanisme van het naar Vening Meinesz' ontwerp gekopieërde slingertoestel zeer had verbeterd. Verder maakte de Britse fysicus Edward C.Bullard (1907 - 1980), die onder Harold Jeffreys aan de Universiteit van Cambridge (GB) werkzaam was, deel van die staf uit.¹ Hoewel Ewing al in 1937 de voorlopige geofysische resultaten van dit onderzoek publiceerde, duurde het nog twintig jaar, voordat hij zijn bevindingen volledig had uitgewerkt. Toch was aan Hess en Field al snel gebleken, dat de zwaartekracht

¹ Naomi Oreskes, *The rejection of Continental Drift* (New York 1999).264.

verdeling in het gebied van de Westindische eilandboog in tectonofysisch opzicht een evenbeeld was van die in Oost-Indië.²

Besluit

Door het uitbreken van de Tweede Wereldoorlog werd de specifieke kennis van de leden van de staf op andere gebieden van marien-fysisch onderzoek aangewend.

Ewing zou met zijn kennis van en ervaring met de voortplanting van geluidsgolven in zee de ontdekker worden van de strategisch belangrijk gebleken SOFAR (Sound Fixing And Ranging) waterlaag, waarin ten gevolge van de fysische omstandigheden geluidsgolven door herhaalde (interne) reflectie gevangen blijven, zodat geluiden nog op grote afstand kunnen worden gehoord. Niet alleen door walvissen, maar ook door duikboten. Na de oorlog speelde Ewing als wetenschappelijk leider van het Lamont - Docherty Laboratorium van de Columbia Universiteit een vooraanstaande rol in de ontwikkeling van de oceanografie in de breedste zin.

Hess, die al in 1935 was toegetreden tot de US Naval Reserve, bracht het in die oorlog tot de rang van luitenant ter zee eerste klas en bevoer de gehele Stille Oceaan. Aan boord hadden de profielen van het continue registrerende echolood - gedurende het Interbellum ontwikkeld uit het Asdic toestel - zijn grote belangstelling. Op basis van de hieruit verkregen informatie ontwikkelde hij na de oorlog gedurende zijn professoraat aan de Universiteit van Princeton een theorie omtrent de systematiek van het verschijnsel der guyots - onderzeese, geïsoleerd voorkomende "tafel"bergen. Daarop voortbouwend en verrijkt met nieuwe inzichten over het reliëf, de interne configuratie en de zwaartekrachtsverdeling van het oceaانبodem-gesteente zou hij aan het begin van de zestiger jaren tot de theorie der "seafloor spreading" komen.

Bullard werd aan het begin van de Tweede Wereldoorlog in Groot-Brittannië belast met de ontwikkeling van demagnetisatie-uitrustingen voor schepen ter beveiliging tegen magnetische mijnen. Na de oorlog hernam hij zijn (marien)-geofysisch onderzoek aldaar en vervolgens in de Verenigde Staten en werd in 1964 tenslotte aangesteld om het Geodetisch en Geofysisch Onderzoek in Cambridge (GB) te leiden. Toen publiceerde hij met zijn medewerkers de "Bullard Fit", een computer gestuurde reconstructie, die aantoonde, dat de huidige vorm de continenten met hun randzee-gebieden door rotatie en ontmanteling van de tussentijds gevormde oceaankorst op een pre-continentale drift constellatie van een haast naadloos aangesloten supercontinent kon worden teruggevoerd.

"Seafloor spreading" en "Bullard Fit" zouden belangrijke ingrediënten voor de ontwikkeling van de hypothese van de platentectoniek vormen. Tegen het licht van die latere ontwikkelingen in het geofysisch (diepzee)onderzoek was de "Barracuda"-expeditie en de ontmoeting van haar wetenschappelijke staf met Vening Meinesz - die in 1928 het civieltechnische begrip "plaat" zou hebben geïntroduceerd - na afloop een zeer opmerkelijke!³

² R.M.Field, "Felix Alexander Vening Meinesz; exponent of international cooperation through geoscience", in: (P.Honig and F.Verdoorn, red.) *Science and scientists in the Netherlands Indies* (New York City 1945) 102.

³ Oreskes, *Rejection*, 241.

De O 16 (Den Helder 11/01/1937 - Lissabon 16/03/1937)

Tenzij anders vermeld is de nu volgende informatie ontleend aan F.A.Vening Meinesz, "The gravity expedition of Hr.Ms. Submarine O 16 in the North Atlantic. January 11 – March 16 1937", in: *KNAW XL* (Amsterdam 1937) 382 – 389 en aan F.A. Vening Meinesz, "Een stormreis met Hr.Ms. "O – 16" naar Washington in 1937", in: *Veertig jaar Onderzeedienst 1906 – 1946* (Amsterdam 1947) 51 – 69.

Doelstellingen

Bij de bouw van duikboot O 16 werden voor het eerst op grote schaal lasconstructies in plaats van klinkverbindingen benut, terwijl ook andere noviteiten op het gebied van de scheepsbouw werden toegepast.¹ Na de in dienststelling eind oktober 1936 was het voor de Marine daarom van groot belang om de duikboot onder extreme omstandigheden in een stevige "shake down cruise" grondig op de proef te stellen. Eind november 1936 werd het verzoek van de Rijkscommissie om op deze tocht in het nog onverkende Noordatlantische Oceaangebied zwaartekrachtmetingen te mogen doen door H.Colijn, als Minister van Defensie, gehonoreerd. Zodoende kon de toen al bijna vijftigjarige Vening Meinesz deze "cruise" mee maken, die hem in de gelegenheid stelde om de tectono-fysische configuratie van aardkorst en substraat nader te analyseren en voorts het meetpuntennetwerk rondom de Azoren te verdichten om de aard van dit deel van het Midatlantische Rugggebied beter te kunnen bestuderen. Dat gebied werd wel beschouwd als een relict continentale korst, maar de relatie tot de continenten aan weerszijden was onzeker. De door Vening Meinesz in het *Amersfoorts Dagblad* van 26 november 1936 uitgesproken verwachting was, dat de Rug de gedaante van een opgeplooid gebergte zou hebben met mogelijk een (klein?) zwaartekrachtsoverschot. Meer specifiek, zou een dichter net van meetpunten de tectonofysische configuratie en hun eventuele correlatie met plooiingsgebergten van het Iberisch Schiereiland kunnen ophelderen.

Route

Den Helder	11/01	- 20/01 Horta	17 metingen
Horta	25/01	- 05/02 Bermuda	24 „
Bermuda	10/02	- 15/02 Washington	8 „
Washington	24/02	- 07/03 P.Delgada	28 „
P.Delgada	08/03	- 12/03 Lissabon	11 „
Totaal			88 „

Ook in de aanloophavens werden enkele metingen gedaan. Voor de terugreis van Washington werd een noordelijker route gekozen op verzoek van Vening Meinesz,

¹ C.J.W.van Waning, "Chronologisch overzicht 1916 - 1940", in: Idem et al (red.) *Wegduiken....! De Nederlandse Onderzeedienst 1906– 1966* (Den Haag z.j.) 238.

wiens “onweerstaanbare gave van de volmaakte gentleman bedelaar.....[ook] nog een extra rondje rond de Azoren ”afdwong” volgens de commandant.²

Vanwege door de O 16 ontvangen instructies ter zake van convoyering in de Straat van Gibraltar met het oog op de daar ontstane spanningen ten gevolge van de Spaanse Burgeroorlog, scheidden de wegen van O 16 en Vening Meinesz zich in Lissabon.

Personeel en uitrusting

Ltz1 C.J.W. van Waning voerde het commando over de bemanning van 35 koppen, onder wie Ltz2 H.A.W.Goossens voor de plaatsbepalingen, Sgt-Maj. C.van Schieveen voor het instrumenteel onderhoud en Sgt Zweistra en Korp. Major voor de echo-profilering en de tijdseinregistratie van bijzondere betekenis voor Vening Meinesz bleken.

Duikboot O 16 had een (onder)waterverplaatsing van 1194 ton en een actieradius van tienduizend mijl bij twaalf knopen boven water, van 26 mijl bij krap negen knopen onderwater en een maximale duikdiepte van tachtig meter. Ook al was de expeditie (gedeeltelijk) gewijd aan zwaartekrachtsonderzoek, op de standaard uitmonstering voor een operationele inzet van bemanning, materieel en bewapening was niet beknipt. Dit bleek ondermeer aan het einde van de expeditie uit de onmiddellijke inzet van de O 16 vanuit Lissabon om de vaarroutes in de Straat van Gibraltar te beveiligen tegen acties van de in Spanje elkaar bestrijdende partijen.

Gedurende zijn carrière op zee had Vening Meinesz “geleidelijk de boten groter en beter verzorgd zien worden”. Toch bleven mangaten van een duikboot te klein om koffers en dozen met instrumenten door te laten; ook binnenboord was veel te weinig ruimte om daarvan iets te stouwen. Men moest dus nog steeds op de wal uitpakken voor en inpakken na het verlaten van de duikboot.

Voor zwaartekrachtsonderzoek had Vening Meinesz - behalve over zijn slingertoestel - ditmaal de beschikking over een drietal chronometers, waaronder een geleend van de Leides universiteit, een “Boulitte” registratietoestel ten behoeve van tijdseinvergelijking en een “Fessenden Sonic Signalling” instrument, aangepast voor gebruik als dieptemeter, waarbij het tijdsverloop tussen uitgaand en door de zeebodem gereflecteerd signaal handmatig met een stopwatch moest worden gemeten.

Uitvoering

Gedurende de ruim vier weken durende heenreis hield stormweer onverflauwd aan, waarbij enkele dagen een (tegen)windkracht elf werd gemeten. Daardoor halveerde de snelheid en verdubbelde het brandstofverbruik van de duikboot zo, dat extra brandstof in de Bermuda's moest worden ingenomen. Ook op de terugreis stormde het hevig, maar toen resulteerde de rugwind in een kortere duur van de overvaart. Het hechte teamverband aan boord bleek ondermeer uit de inzet van gezonde bemanningsleden op plaatsen van door zeeziekte gevelden. De constructie van de kooien bleek evenwel nog zo, dat bij hevig rollen ook Vening Meinesz “eenmaal

² Van Waning, "Chronologisch overzicht 1916 – 1940", 257.

onzacht op den vloer” terecht kwam. Het materieel doorstond overigens de vuurproef grotendeels intact.

De commandant bleek het bij duikmanoeuvres in zware zeegang vereiste, grote zeemanschap te bezitten; dan immers was de stabiliteit van de duikboot minimaal. Meten van de zwaartekracht was - ook op zestig meter diepte - bij het hevig rollen van de duikboot een moeizaam karwei. Verwerking van de gegevens al na een week van stormen uitputtend. Papieren, vulpennen “kwamen [nu weleens] op de vloer terecht en gewoonlijk in de olieachtigheid, die van stuurboord naar bakboord heen en weer gutste Enkele dagen ging de boot [zelfs] zo te keer, dat wijop den grond leefden; het had geen zin te trachten op stoeltjes te blijven zitten, waarmede men onophoudelijk onderste boven ging. Nu kon men tenminste probeeren zich met de beenen dwarsscheeps vast te houden.....Een dergelijke reis is zeker niet gunstig voor kleeven en roerende eigendommen.....Slechts gedurende enkele dagen van allerzwaarsten storm met windkracht elf was duiken uitgesloten.....Gelukkig heeft dit geen ernstigen afbreuk aan het succes van het onderzoek gedaan”. Soms bleek het zelfs wenselijk om ten behoeve van de veiligheid van kok en “pantry” voor langere tijd ondergedoken in “rustiger vaarwater” te verkeren! Onder deze omstandigheden vereiste “zonnetje schieten” - terwijl meestal daarboven een wolkenlaag wild voortjoeg - acrobatische toeren van de met navigatie belaste officier, maar het was voor de plaatsbepaling een onmisbare noodzaak. Vening Meinesz schatte de foutmarge in de plaatsbepaling op minder dan twee mijl.

Onder de gedurende de expeditie heersende weersomstandigheden bleken - ook al was het schip tot 60 meter diep gedoken - de bewegingen van het water op die diepte uit het rollen van de duikboot tot acht (exceptioneel twaalf) graden. Derhalve liet de precisie der metingen wel enigszins te wensen over. Vergelijking van de ijkresultaten van het slingertoestel van voor en van na de expeditie in De Bilt gaven aan, dat het toestel niet had geleden onder de doorstane beproevingen.

Meting van de diepte tot de zeebodem was vanwege de plaatsing van de hydrofonen onder de vigerende omstandigheden bij de vaart boven water niet mogelijk. Onderwater kon het bodemprofiel uit metingen met een tussenruimte van minder dan anderhalve kilometer worden samengesteld.

Wetenschappelijke resultaten

Ondanks de voor zwaartekrachtmeting ongunstige omstandigheden kon Vening Meinesz na de expeditie toch beschikken over twee redelijk complete zwaartekrachtsprofielen dwars over de Noordatlantische Oceaan en aanvullende gegevens voor een (synthetisch) profiel door het Kanaal naar de Azoren.

Op basis van de fluctuaties tussen de tijdmarkeringen op het slingerregistratie-fotogram wist Vening Meinesz af te leiden, dat de golflengte van de deining aan het zee-oppervlak gedurende een storm toenam tot meer dan 400 meter: een nieuwe mogelijkheid tot fysisch-oceanografisch onderzoek was geboren.

Gedurende de enkele keren, dat de duikboot een langere tijd diep ondergedoken bleef, was het Vening Meinesz mogelijk om twee opvolgende metingen te doen op locaties, die zo’n vijftien mijl van elkaar verwijderd waren. De tweede waarneming werd door Vening Meinesz geïnterpreteerd als controle op de eerste. Mede ten gevolge van het door hem gevolgde reductie protocol lijkt dit te bevestigen, dat het lateraal oplossend vermogen betreffende de zwaartekracht voor

dit soort metingen niet minder dan zo'n dertig mijl kan zijn geweest. Tevens bleek het reliëf van de zeebodem behoorlijk te veranderen; met andere woorden, de zeebodem bleek veel ruwer, dan zelfs op grond van de nauwkeurigste zeekaarten mocht worden verwacht.

In het oceaangebied bleken de bekkens oost en west van de Midatlantische Rug een zwaartekracht overschot van omstreeks 40 mgal te hebben; zij het, dat de storingseffecten door de ruwe zee aanzienlijk leken. Over de Rug zelf leek het zwaartekracht overschot echter minimaal. Vanaf de Azoren waren in zuidoostelijke richting de (kleine) excessen onregelmatig en nauwelijks trendmatig verdeeld.

Onderzoek van zwaartekracht en bodemtopografie wees uit, dat de aardkorst in het studie gebied geen scherp gedefinieerde inbuigingen had ondergaan, "zoals die voorkomen in de gebieden, waar zich plooiingsgebergten gevormd hebben, doch dat er een net van scheuren door den geheelen oceaan schijnt te lopen langs welke verschuivingen zijn opgetreden. De topografie maakt den indruk in hoofdzaak van vulkanischen aard te zijn, waarbij men mag veronderstellen, dat de genoemde scheuren in de aardkorst aan het dieper gelegen magma de gelegenheid hebben gegeven om naar buiten te treden. In het bijzonder komen vulkanen voor op die plaatsen, waar scheuren van verschillende richtingen elkander snijden; de Azoren- en Madeira-archipels zijn hiervan voorbeelden."

Als de leiding van de Onderzeedienst in die jaren een beter inzicht in de beschikbare nautische hulpmiddelen had gehad, dan ware de O 16 in 1937 niet met een "ultra sonoren echo-zender en een perifoon" van Duitse makelij uitgerust geweest, maar met een nieuwe generatie Sonar- of Asdic-apparaat, waarmee ook een continue zeebodemprofiel kon worden verkregen.³ Beschikbaarheid toen van zo'n apparaat zou een vroegtijdig inzicht in de complexiteit van de zeebodem hebben kunnen geven!

Representatie en Communicatie

"Het negendaagsch verblijf [te Washington] was wel het hoogtepunt van de reis. Doordat de Potomac voor groote schepen niet bevaarbaar is, komt vlagvertoon door een buitenlandsch oorlogsschip in Washington uiterst zelden voor.....Des te meer trok het bezoek van Hr.Ms. "O 16" in Washington de aandacht en het feit, dat deze reis tevens dienstbaar gemaakt werd aan wetenschappelijk onderzoek gaf er nog meer reliëf aan." Bij wijze van hoge uitzondering en onder het motief dat het een "wetenschappelijke expeditie" betrof, werden Vening Meinesz en de Commandant vergezeld van de Nederlandse gezant in audiëntie ontvangen door President Roosevelt, die toen net aan zijn tweede ambtstermijn was begonnen. Bij zijn inaugurele rede had Roosevelt zich erover bezorgd getoond, dat zonder inmenging van het federaal bestuur er weinig hoop was "to create those moral controls over the services of science which are necessary to make science a useful servant instead of a ruthless master of mankind".⁴ Ook de Minister van Marine en de admiraals Leahy en Freeman - oude bekenden van Vening Meinesz - gaven "acte de presence". Een

³ C.J.W. van Waning, "De groei van de onderzeedienst", in: Idem et al (red.), *Wegduiken.....! De Nederlandse Onderzeedienst 1906-1966* (Den Haag z.j.) 161 e.v.

⁴ D.J.Kevles, *The physicists. The history of a scientific community in modern America* (New York 1997) 264.

van de resultaten van die ontmoetingen was mogelijk de spoedig daarop volgende uitwisseling van marine-attaché's tussen de twee regeringen.⁵

Vanwege de recente terugkeer van USS "Barracuda" (zie Bijlage 11) van een zwaartekrachtsexpeditie in het Caribisch Zeegebied kreeg het verblijf van Vening Meinesz in Washington een extra dimensie. De "Barracuda" had onder auspiciën van het Committee on the Geophysical and Geological Study of Ocean Basins van de AGU deze United States Navy - American Geophysical Union Expedition uitgevoerd om de structuur-geologische (tectonofysische) overeenkomst tussen het gebied rond de Kleine Antillen en de ABC eilanden met die van de door Vening Meinesz onderzochte Oostindische Archipel te onderzoeken. Daarbij was gebruik gemaakt van een slingertoestel van de National Science Foundation, dat door Ewing gemodificeerd was om te functioneren met een door American Bell Telephone Laboratories ter beschikking gestelde "crystal chronometer", waardoor de precisie tijdwaarneming sterk werd verbeterd. Ook Vening Meinesz zou over dat apparaat in een volgende expeditie kunnen beschikken.

Met Ewing en Hess bediscussieerde Vening Meinesz de voorlopige resultaten van de "Barracuda"-expeditie, waarover eerstgenoemden in de loop van 1937 in de *Transactions of the American Geophysical Union* zouden publiceren, terwijl de betreffende locatiekaart tesamen met die van de O 16 expeditie door Vening Meinesz in de opgenoemde KNAW publicatie werd gebruikt. Via Bullard kreeg Vening Meinesz de voorpublicatie van een artikel van diens collega B.C.Browne, waarin enige aspecten van het tot dan toe door Vening Meinesz gehanteerde waarnemingsprotocol ter discussie werden gesteld, met name betreffende waarnemingen uitgevoerd bij een heftige deining aan het zee-oppervlak. Browne zou nog datzelfde jaar met Vening Meinesz het standaardprotocol voor metingen in een onstuimige zee modificeren, waartoe Vening Meinesz nog een nieuw instrument zou ontwikkelen.

Persoonlijke indrukken

De extreme omstandigheden, waarmee Vening Meinesz bij zijn onderzoek aan boord van de O 16 te maken kreeg, hebben niet nagelaten diepe indruk op hem te maken. Zijn persoonlijke ervaringen aan boord van de O 16 gedurende een stormachtige overtocht met een onverwacht einde stelde Vening Meinesz op schrift in het bovenvermelde gedenkboek *Veertig jaren Onderzeedienst, 1906 – 1946*. "Diep werd men dan doordrongen van de nietigheid van den mensch tegenover de machten, die rondom hun geweld botvierden, en men voelde in God's hand te zijn".

De commandant van de O 16, Ltz1 C.J.W.van Waning (1901 - 1989), vanwege zijn energieke en zeer doelgerichte persoonlijkheid ooit getypeerd als "Jumbo", ervoer Vening Meinesz als ".....volhardend, gelijkmatig, opgewekt, inschikkelijk, hulpvaardig, een goede ship-mate".⁶ En omgekeerd had Vening Meinesz - zoals uit zijn in 1946 geschreven relaas blijkt - een goed gevoel over Van Waning, die nog zijn hele verdere leven met Vening Meinesz contact zou blijven houden.

⁵ C.J.W.van Waning, "Chronologisch overzicht 1916 - 1940", in: Idem et al (red.) *Wegduiken....! De Nederlandse Onderzeedienst 1906– 1966* (Den Haag z.j.) 256.

⁶ H.Hazelhoff Roelfzema, "De betekenis van de zwaartekrachtmetingen genomen door Prof.Dr.Ir. F.A.Vening Meinesz van September 1923 tot augustus 1939", in: *Jaarverslag Vereniging Nederlandsch Historisch Scheepvaart Museum* (Amsterdam 1982) 61.

**De O 12 expeditie a (Curaçao 22/11/1937 - 24/12/1937 Den Helder)
b (Den Helder 26 - 28 /01/1938)**

Tenzij anders vermeld is de nu volgende informatie ontleend aan F.A. Vening Meinesz, *Gravity expeditions at sea 1934 – 1939 Vol III* (Delft 1941) 16 – 19; 44 – 48.

Inleiding

Nog tijdens de O 16 expeditie had Vening Meinesz via Bullard de voorpublicatie in de *Monthly Notices R.Astron.S.* (september 1937) van een verhandeling van B.C.Browne, assistent bij Jeffreys' Laboratorium voor Geofysica en Geodesie in Cambridge ontvangen, waarin Browne de juistheid van Vening Meinesz' veronachtzaming van hogere termen in de harmonische reeksontwikkeling van de slingerbeweging aanvocht. De gemeten (versnelling van de) zwaartekracht kon immers beïnvloed zijn door horizontale en verticale versnellingen van de als een stabiel platform beschouwde, ondergedoken duikboot onder invloed van diep onderwater nog niet geheel gedempte effecten van zware en lange (ocean)deining. Terwijl de invloed van daardoor veroorzaakte, kortstondige versnellingen verwaarloosbaar was, konden fouten van meer dan tien mgal geïntroduceerd worden door versnellingen met een periode, die lang was in vergelijking met die van de (gedempte) slingers. In theorie zou de grootte van de eventuele fout kunnen worden afgeleid uit fluctuaties tussen de tijdmarkeringen op het slingerfotogram. Maar Vening Meinesz zag een en ander graag eerst empirisch bevestigd. Daartoe liet hij in de tussenruimte tussen slinger-inrichting en registratie-apparaat van het cardanisch opgehangen toestel twee lang-periodische (30 - 40 secs), horizontale slingers aanbrengen, waarvan de respons op hetzelfde fotogram kon worden geprojecteerd en waaruit de verticale onderwaterversnelling kon worden berekend.

Doelstellingen

Doel van de expeditie met de O 12 was om met bovenbeschreven instrument onder verschillende omstandigheden (duikdiepte, zeegang en koers relatief tot deiningsrichting) de theorie aan de praktische ervaring te toetsen. Zou deze toetsing positief verlopen, dan stond niets in de weg om ook reeds gemaakte metingen voor de "Browne Term" te corrigeren.¹ Als secundaire doelstelling gold verificatie van de voortzetting van een trend van sterk negatieve zwaartekrachtsanomalieën langs de noordkust van Venezuela, zoals door Hess werd gepostuleerd op grond van de door hem tijdens de "Barracuda"- expeditie langs de Antillenboog gedane metingen.

¹ F.A.Vening Meinesz, "Second order disturbance terms in pendulum observations at sea", in: *KNAW XL* (Amsterdam 1937) 650 – 653.

Route

Curaçao 22/11	-23/11 Curaçao	3 metingen (proefvaart)
Curaçao 26/11	-29/11 San Juan (P.R.)	4 „
San Juan (P.R.) 01/12	-15/12 P.Delgado	12 „ (storm)
P.Delgado 17/12	-24/12 Den Helder	3 „
Totaal		22 nieuwe metingen

Personeel en Uitvoering

De O 12 was met een waterverplaatsing van 754 ton heel wat kleiner dan Vening Meinesz toen gewend was en bovendien minder geschikt om bij stormweer onder te duiken.²

Commandant van de expeditie was de Ltz1 H.C.W. Moorman, de latere staatssecretaris voor Defensie. Behalve met hem had Vening Meinesz veel te maken met Sgt-Torpedomaker P.A.Plas, die hem zowel bij werk in de instrumentmakerij van de plaatselijke Shell raffinaderij als op zee assisteerde met de vervolmaking van de ophanging van de lang-periodische horizontaal-slingers. Verder was de door Vening Meinesz gebruikte uitrusting identiek aan de door hem op de O 16 gebruikte; en met dezelfde beperkingen terzake van de bodemprofilering.

De waarnemingen ter bepaling van de invloed van langperiodische slingeren werden uitgevoerd bij verschillende koersen ten opzichte van de heersende deining en op duikdiepten van twintig en van veertig meter. Zij duurden dan ook heel wat langer dan gewoonlijk: de duikboot moest well zo'n drie tot vier uur onderwater blijven koersen.

Resultaten

Ondanks problemen met de veerophanging waren de resultaten met het proeftoestel om de scheepsbewegingen te meten bevredigend, zowel voor het verkrijgen van gegevens voor de constructie van een toestel in definitieve vorm als voor het verkrijgen van een eerste inzicht in de scheepsbeweging van een duikboot, ondergedoken in woelig water. Met die informatie kon een begin gemaakt worden aan de correctie van in ruwe zee verkregen gegevens en konden - op basis van perifere gegevens uit dagjournalen - ook oudere zwaartekrachtmetingen worden herzien.

Door de aangewende methodiek kon voor het eerst ook empirisch iets over de eigenschappen van de golfbewegingen in de diepere waterlagen van de oceaan worden vastgesteld.

De chronometers bleken op deze expeditie helaas minder regelmatig dan men gewend was, zodat een aanzienlijke foutmarge in aanmerking moest worden genomen.

Ter zake van de continuatie van de zone met een groot zwaartekrachtstekort rond de Antillenboog resulteerde de expeditie in de vaststelling, dat genoemde boog

² NA; Arch. Marinestaf 1886 – 1942 2.12.18 inv 204.

al tientallen kilometers ten noorden van Trinidad naar het Westen omhoog en tot aan Curaçao doorliep.³

b Den Helder 26/01/1938 - 28/01/1938

In de loop van 1937 had Vening Meinesz gemerkt, dat zijn inspanningen bij het zwaartekrachtsonderzoek ter zee wel wat teveel van zijn krachten gingen eisen. Hij had met het oog op een toekomstige assistering daarom de aanstelling per 1 oktober 1937 van Dr.W.Nieuwenkamp (1903 - 1979) tot ingenieur bij de Commissie voor Geodesie kunnen realiseren. Om laatstgenoemde met het werk aan boord vertrouwd te maken ondernamen Vening Meinesz en Nieuwenkamp tezamen een korte vaart met de O 12 op de Noordzee, waarbij dezelfde uitrusting als eerder op de boot gebruikt werd meegenomen. Na afloop kon op het K.N.M.I. met de vervaardiging van de definitieve versie van het toestel met horizontaal slingers worden begonnen.⁴

³ TAG 2 55 (1938) 508 e.v.

⁴ RCG 1938, 4.

De O 13 expeditie (Den Helder 03/05/1938 - 10/05/1938)

Tenzij anders vermeld is de nu volgende informatie ontleend aan F.A. Vening Meinesz, *Gravity expeditions at sea 1934 – 1939 Vol III* (Delft 1941) 19 – 21; 44 – 48.

Doelstellingen

Onderzoek naar de praktische bruikbaarheid van het nieuw geconstrueerde, in het cardanisch opgehangen slingertoestel geïncorporeerde lang-periodische horizontaal slingerapparaat was het primaire doel van de expeditie. Van dat laatste toestel was de ophanging met veren, zoals gebruikt op de O 12, op advies van B.C.Browne door de K.N.M.I. instrumentmaker D.van Lunteren naar een ondersteuning met messen gemodificeerd. Voorts zouden gegevens omtrent de aard van de woelingen onderwater bij ruwe zee in respectievelijk ondiep en diep water moeten worden verkregen. Een en ander speciaal met het oog op te maken correcties van archief gegevens.

Route

Op het vaartraject van Den Helder naar de “gronden” aan het eind van het Kanaal en de Atlantische Oceaan en weer terug werd op een zevental punten de zwaartekracht gemeten op diepten van twintig en - waar mogelijk - veertig meter. Daarbij maakte de ondergedoken duikboot langzaam varende rond het meetpunt een volle cirkel om onder verschillende hoeken de invloed van de lange deining op de lang-periodische horizontaal slingers te kunnen analyseren.

Personeel en Uitvoering

Met Ltz1 G.B.M.van Erkel als commandant van de O 13 – een zusterschip van de O 12 - voerden Vening Meinesz en Nieuwenkamp de voorgenomen instrumentproeven uit. Gedurende de hele expeditie hield de zee zich kalm. Mede daardoor kon een zevental uitgebreide metingen worden verricht, waarvan twee in waterdiepten van omstreeks veertig meter. Het bleek, dat de horizontale slingers en de registratie van hun bewegingen – fotografisch geprojecteerd tesamen met die van de verticale slingers - aan de verwachtingen voldeden.

Maar de tijdmeting met twee chronometers bleek minder succesvol, waardoor toch weer een aanzienlijke foutmarge kon binnensluipen. Daardoor konden de verschillen tussen de zwaartekracht als gemeten op 20 respectievelijk 40 meter ten gevolge van de hogere orde versnellingen door scheepsbewegingen niet nauwkeurig genoeg worden bepaald.

Wetenschappelijke Resultaten

De resultaten stelden Vening Meinesz wel in staat om met behulp van de scheepsjournalen ook eerder verzamelde zwaartekracht gegevens te corrigeren voor

verstoringen ten gevolge van scheeps-bewegingen van langere duur. De berekeningen en daaruit voortvloeiende tabellen, waarmede toekomstige waarnemingen ter plaatse zouden kunnen worden gecorrigeerd, werden door personeel van het K.N.M.I. gemaakt.

Onder het voorbehoud van de marginale chronometrage was Vening Meinesz van oordeel, dat in diepwater golfbewegingen vanaf het oppervlak naar grotere diepten werden gedempt, zoals door Stokes berekend, terwijl voor ondiep water de relatie leek te gelden, zoals door Laplace voorspeld. Bestaande ruwe gegevens zouden dus ook dienovereenkomstig voor de invloed van de deining kunnen worden gecorrigeerd.

De O 19 expeditie (Den Helder 10/07/1939 - 13/07/1939)

Tenzij anders vermeld is de nu volgende informatie ontleend aan F.A. Vening Meinesz, *Gravity expeditions at sea 1934 – 1939 Vol III* (Delft 1941) 21; 46 – 48.

Inleiding en doelstelling

De ervaringen met de afleiding van de invloed van de grootte van de hogere orde versnellingen op de fout in de zwaartekrachtmeting hadden aangetoond, dat de gebruikte tijdmeters de zwakste schakel in de procedure waren, maar dat het registratie mechanisme op zich goed werkte. Laatstgenoemd aspect was dan ook reden voor het verzoek van de Universiteit van Cambridge het complete slingertoestel in de zomer van 1938 te mogen gebruiken aan boord van een door de Royal Navy beschikbaar gestelde duikboot. Helaas moest al enkele dagen na vertrek in september 1938 die expeditie worden afgeblazen vanwege de mobilisatie van de Britse vloot. Bij de teruggave van het toestel in november 1938 kreeg de Commissie voor Geodesie van Bell Telephone Laboratories een “crystalchronometer” in leen voor gebruik in combinatie met het door Ewing en Browne geconstrueerde adapter-mechanisme tijdens een reeds door de marine voor maart 1939 toegezegde expeditie met de O 16 naar Indië via Kaapstad. Maar toen Nieuwenkamp met al zijn instrumenten was ingescheept, maakte de voor-mobilisatie van de marine ten gevolge van de Duitse bezetting van Tsjechië (maart 1939) een voortijdig einde aan de plannen voor die expeditie.¹ De gelegenheid tot onderzoek tijdens de korte proeftocht van de gloednieuwe, 1561 tons duikboot O 19 was voor Nieuwenkamp een schrale troost. Maar die tocht moest hem in staat kunnen stellen metingen van de scheepsbewegingen in ondiep water te doen, die de theorie van Laplace aangaande de met de diepte onder zeeniveau toenemende demping van de deining proefondervindelijk met een grotere precisie zou kunnen verifiëren, dan tot dat moment mogelijk was gebleken.

Uitvoering en resultaten

In het licht van toenemende politieke spanningen werd van de commandant van de O 19, Ltz1 K.van Dongen, verwacht in drie dagen zich ervan te overtuigen, dat zijn juist in dienst gestelde duikboot zonder mankeren ongeconvoyeerd de reis naar Oost-Indië kon volbrengen. Zodoende werd aan Nieuwenkamp maar weinig tijd geboden tot onderzoek met de gecompliceerde uitrusting. Hij kon dan ook op slechts een meetpunt in de Noordzee in een waterdiepte van 90 m metingen doen; respectievelijk op diepten van 20 en 40 m. Maar dankzij het precies werkende tijdmechanisme kon met een grotere zekerheid de geldigheid van de dempingstheorieën - speciaal die voor ondiep water - worden bevestigd en derhalve bestaande ruwe gegevens dienovereenkomstig worden gecorrigeerd.

¹ RCG 1939, 4.

Afloop

Hoewel in overeenstemming met de Koninklijke Marine nog verdere plannen werden gemaakt om met een der nieuwe duikboten in de loop van 1939 nog een expeditie rond Kaap Hoorn over hogere breedten in de Stille Zuidzee naar Oost-Indië uit te voeren, verhinderden de ontwikkelingen in de internationale toestand de realisatie van dit zwaartekrachtsonderzoek. Hoewel de in bruikleen gegeven "crystal-chronometer" voorlopig nog in Nederland kon blijven, zou Nieuwenkamp zich gaan bezighouden met de mogelijke toepassing van een in Groningen door professor Zernike (een oud-schoolgenoot van Vening Meinesz) te ontwerpen stemvork-tijdmeter en - na de Duitse inval in Nederland - met gravimetrisch onderzoek hier te lande.²

² *RCG 1939*, 5.

De eerste O 24 expeditie (Rotterdam 15/9/1948 - Curaçao 9/10/1948)

Tenzij anders vermeld is de nu volgende informatie ontleend aan G.J. Bruins (red.), *Gravity expeditions 1948 – 1958 Vol V* (Delft 1960) 7 - 18.

Doelstellingen

Verwerving van bathymetrische en gravimetrische gegevens langs nog ononderzochte trajecten in de Atlantische Oceaan tussen Europa, Suriname en de Antillen ten behoeve van verbeteringen in de Internationale Zwaartekrachtsformule en de nadere bepaling van de vorm van de geoïde.

Vaarroute

Rotterdam - Ponte Delgada (Azoren) - Curaçao. Vanaf Ponte Delgada was de te varen route geheel door “de eisen van de wetenschap” bepaald.

Personeel

De Ltz2 R.van Wely voerde het commando over de bemanning van vier officieren en 32 manschappen. Voor de zwaartekrachtmetingen fungeerden de geodeet Ir. G.J.Bruins en de fysicus Drs H.J.A.Vesseur als waarnemers. Zij zouden na aankomst in Curaçao met de fotoregistraties ter ontwikkeling naar Nederland terugkeren om voorjaar 1949 de reis van de O 24 in omgekeerde richting te maken. (Zie tweede O 24 expeditie 1949, Bijlage 17)

Middelen

Duikboot O 24 had een waterverplaatsing van 1205 ton en - na op 13 mei 1940 in dienst gesteld te zijn - was op haar “maidentrip” al duikend aan de bezetter naar Engeland ontkomen. Zij had gedurende de oorlog o.a onder commando van de latere regeringsleider P.J.S. de Jong een uitstekende staat van dienst verworven in “de Oost”. Na in 1946 naar Rotterdam te zijn teruggekeerd en een dokbeurt te hebben ondergaan, werd de O 24 eind 1947 weer in dienst gesteld als oefenboot voor de onderzeebootbestrijding alvorens voor zwaartekrachtonderzoek op langdurige patrouille naar de Antillen te gaan, tezamen met Hr.Ms. “Zeehond”. Voor dit onderzoek was naast het slingerapparaat een “kristal chronometer” geïnstalleerd, waarmee men hoopte een grote verbetering in de chronometrage te kunnen bereiken. Omdat zo’n “klok” nog niet in de handel verkrijgbaar was, was deze “klok” met het vereiste vertragsmechanisme door Drs H.J.A.Vesseur op het K.N.M.I. met medewerking van P.T.T. en Philips geconstrueerd.

Uitvoering en resultaten

Vanaf Ponte Delgada werd elke honderd mijl gedoken en een zwaartekrachtmeting gedaan, terwijl elke tien minuten het echolood werd geactiveerd. Zo verkreeg men

ook nog een beter inzicht in de ontwikkeling van het zeebodemreliëf. Maar vanwege fluctuaties in het voltage van de aan boord gegenereerde stroom bleek de stabiliteit van de kristal chronometer veel problemen op te leveren. In principe zou het geproduceerde signaal van 125 kHz in drie vertragingstappen van een factor vijf via een synchrone klokmotor in een oscillatie van een contact-sluiting per seconde moeten resulteren, maar daaraan viel nog wel eens wat af te dingen gedurende het onderzoek. Teleurstellender was bovendien, dat na ontwikkeling in Nederland de observaties op film onderbelicht bleken en naar het einde van de reis in toenemende mate waardeloos, zodat in feite geen nieuwe informatie aan de database kon worden toegevoegd.

De tweede O 24 expeditie (Curaçao 1/3/1949 - Rotterdam 7/4/1949)

Tenzij anders vermeld is de nu volgende informatie ontleend aan G.J. Bruins (red.), *Gravity expeditions 1948 – 1958 Vol V* (Delft 1960) 7 - 18.

Doelstellingen

Verwerving van bathymetrische en gravimetrische gegevens langs nog ononderzochte trajecten in de Atlantische Oceaan tussen Europa, Suriname en de Antillen ten behoeve van verbeteringen in de Internationale Zwaartekrachts Formule en de nadere bepaling van de vorm van de geoïde.

Gedurende de overtocht werd duikboot O 24 begeleid door onderzeeboot Hr.Ms. "Zeehond", die de oversteek grotendeels al "snuiverend" onderwater zou maken.

Vaarroute

Curaçao - Paramaribo - Casablanca - Rotterdam. Zowel in Paramaribo als in Casablanca kon de bemanning enkele dagen passagieren.

Personeel

De Ltz2 R.van Wely voerde wederom het commando over de bemanning van vier officieren en 32 manschappen. Voor de zwaartekrachtmetingen waren de geodeet Ir.G.J.Bruins en de fysicus Drs H.J.A.Vesseur vanuit Nederland weer overgekomen, ditmaal in gezelschap van Vening Meinesz, die inspectie van het slingerapparaat kon combineren met een missie vanwege het Ministerie van Verkeer en Waterstaat tot onderzoek naar de vestiging van een meteorologisch observatorium ten behoeve van de (civiele) luchtvaart op Curaçao en nabij Paramaribo. Het lag in de bedoeling, dat Vening Meinesz van Paramaribo weer naar Nederland terug zou vliegen.

Middelen

Toen het – zoals in Bijlage 16 vermeld - onbruikbaar bevonden slingerapparaat door Vening Meinesz op de marinebasis van Curaçao totaal was gedemonteerd, bleek, dat de onderbelichting van de registraties door neerslag van een zoutfilm op de optiek van het apparaat was veroorzaakt. Na reiniging en revisie maakte Vening Meinesz en route van Curaçao tot Paramaribo nog vijftien zwaartekrachtmetingen op een duikdiepte van veertig meter in de tropisch warme wateren, en dat op een leeftijd, die dubbel die van een gemiddeld bemanningslid was ! Na ontwikkeling van de registraties in Paramaribo bleek het apparaat weer juist te werken. Maar evenals op de heenreis van de O 24 bleef het kristalklok-mechanisme zorgen baren, waardoor bij tijd en wijle een afwijking in de isochronie optrad.

Regelmatig gebruik van het echolood zou wederom nuttige informatie over het bodemreliëf verschaffen.

Uitvoering en resultaten

Van de op de terugreis van Paramaribo naar Rotterdam met een interval van zo'n honderd mijl gemaakte zestig registraties bleken na ontwikkeling slechts de eerste twintig bruikbaar, terwijl de overige wederom in toenemende mate onderbelicht en dus onbruikbaar waren. Wederom bleek zich een zout-film op de prisma's en spiegels van het slingerapparaat te hebben afgezet. Bij nader onderzoek naar de oorsprong van die zout-neerslag bleek, dat - anders dan op eerdere expedities - bij een duikoperatie een duiktank binnensboord werd ontluicht met een nauwelijks waarneembare neerslag van zeezout tot gevolg. Door de optiek van het slingerapparaat beter hiertegen af te schermen kon bij latere expedities zo'n zoutaanslag worden voorkomen.

Uiteindelijk resulteerden de beide O 24 expedities in 35 nieuwe meetpunten, genummerd 845 - 879.

De conversie van slingertijd tot ruwe zwaartekracht werden deels door rekenaars van het K.N.M.I. deels door Bruins in Delft gedaan. Maar de berekeningen van de topografische reductie en de isostatische compensatie werden door respectievelijk het personeel van de Bataafsche Petroleum Maatschappij en dat van het Internationaal Isostatisch Instituut te Helsinki verricht.¹

¹ RCG 1950, 7.

De “Tijgerhaai”- expeditie (Rotterdam – Curaçao vv 23/1/1951 - 22/4/1951)

Tenzij anders vermeld is de nu volgende informatie ontleend aan G.J. Bruins (red.), *Gravity expeditions 1948 – 1958 Vol V* (Delft 1960) 7 – 18; 35.

Doelstellingen

Verwerving van bathymetrische en gravimetrische gegevens langs nog ononderzochte trajecten in de Atlantische Oceaan tussen Europa, de Antillen, Cuba en de Azoren ten behoeve van verbeteringen in de Internationale Zwaartekrachts Formule en de nadere bepaling van de vorm van de geoïde.

Een cluster van observaties ter plaatse van het Midatlantische Ruggebied op 30 ° NBr suggereert, dat Vening Meinesz speciale aandacht had voor het zwaartekrachtsveld in dit gebied.

Vaarroute

Rotterdam - Lissabon - Curaçao - Key West - Ponte Delgada. Zowel te Curaçao als te Key West en Ponte Delgada werd de expeditie voor enige tijd onderbroken.

Personeel

Gedurende de expeditie voerde Ltz1 J. van Nieuwenhuizen het commando. Voor de zwaartekrachtmetingen fungeerden de geodeet Ir.G.J.Bruins (TH Delft) en de fysicus Dr. R. Dorrestein (K.N.M.I. afd. Oceanografie) als waarnemers, terwijl Vening Meinesz tot Lissabon aan boord was om zich van de juiste werking en staat van onderhoud van het slingerapparaat te vergewissen.

Middelen

Met een waterverplaatsing van 1557 ton en een accommodatie voor 65 bemanningsleden was de van de Britse marine overgenomen onderzeeboot Hr.Ms.”Tijgerhaai” aanzienlijk groter dan duikboten van de O- en K-klasse, hoewel in prestatie verder tot op zekere hoogte vergelijkbaar.

Aan de kwartsklok waren - na de vele problemen gedurende de O 24 expedities - door Vesseur bij het K.N.M.I. verbeteringen aangebracht, die vooral de reductie tot een lagere frequentie van 200 Hz van de uitgaande signaalstroom betroffen. Die stroom dreef een synchroonmotortje aan van een kleiner formaat dan voorheen, zodat de “massakrachten bij scheepsbewegingen werden teruggebracht”. Voorts was het instrument zodanig aangepast, dat grote spanningswisselingen konden worden opgevangen.¹ De behuizing van het slingerapparaat was zodanig aangepast, dat een betere bescherming tegen indringend zout kon worden geboden.

¹ RCG 1950 – 1951, 8.

Hoewel in deze tijd het continue registrerend echolood voor bodemprofielering bij de marine werd geïntroduceerd, lijkt men aan boord van de "Tijgerhaai" nog niet de beschikking te hebben gehad over die apparatuur.

Resultaten

Na vertrek werden tot Lissabon een drietal zwaartekrachtregistraties gedaan, waaruit bleek, dat het slingerapparaat voldeed. Minder tevreden was men alsnog over de schokbestendigheid en de precisie van de kwartsklok. Bij calibraties met het tijdsein van Rugby (GB) bleek de klok de eerste dag ruim acht seconden per vijf minuten achter te lopen. Hoewel dit euvel grotendeels kon worden verholpen, bleef frequente calibratie aan radiotijdsignalen noodzakelijk om een precisie van 0,05 sec. te garanderen. Maar bij enkele waarnemingen gaf de kwartsklok er geheel de brui aan en moest men op beproefde chronometers terugvallen.

Nadat Vening Meinesz en - wegens ziekte - Bruins in Lissabon van boord waren gegaan, moest Dorrestein het programma van gemiddeld een zwaartekrachtmeting per honderd mijl alleen afwerken. Maar hij slaagde daarin en keerde naar Rotterdam terug met ruim zeventig nieuwe metingen.

Ook ditmaal werden de metingen door Bruins in Delft tot ruwe zwaartekrachtwaarden verwerkt, waarna door de Bataafsche Petroleum Maatschappij respectievelijk het Internationaal Isostatisch Instituut de topografische reducties en de isostatische compensaties werden berekend, waarbij verschillende modellen van regionaliteit werden gehanteerd.²

Uiteindelijk bleek - evenals al eerder bij de Azoren was geconstateerd - dat het gebied van de Midatlantische Rug rond 30° noorderbreedte min of meer in isostatisch evenwicht verkeerde.

Over de terugvlucht van Lissabon via Genève naar Amsterdam memoreerde Bruins later, hoe Vening Meinesz met de van hem bekende dwingende overtuigingskracht klaarblijkelijk de piloot bij het aanvliegen van Genève zover had gekregen, dat laatstgenoemde een kleine koerswijziging zou hebben gemaakt over het Berner Oberland, waaraan Vening Meinesz kennelijk nog gedetailleerde herinneringen uit vroeger tijd had. (pers. comm. Bruins)

² RCG 1952 – 1955, 12 e.v.

De "Zeeleeuw"- expeditie (Noordzee 10/9/1956 - 23/9/1956)

Tenzij anders vermeld is de nu volgende informatie ontleend aan B.J.Collette, "The gravity field of the Northsea", in: G.J.Bruins (red.) *Gravity expeditions at sea 1948 – 1958 Vol V* (Delft 1960) 55 – 57; 60 - 77.

Inleiding

De overstromingsramp van 1 februari 1953 zou volgens Vening Meinesz, die zich baseerde op een door hem in 1937 gedane studie, door de bodemdaling van Nederland en een deel van de Noordzee veroorzaakt kunnen zijn. Een daling mogelijk gemaakt door een subcrustale massaverplaatsing samenhangend met een herstel tot isostatisch evenwicht van een sinds de snelle smelt van de glaciële bedekking oprijzend Scandinavië. Die massaverplaatsing zou volgens Vening Meinesz de expressie van een dalende golfbeweging hebben, die omstreeks het jaar 2000 tot staan zou komen en in een rijzing overgaan: een postglaciële depressie zich verbredend en vervolgens opvullend. Zo'n configuratie zou in het zwaartekrachtsveld van de Noordzee tot uitdrukking kunnen komen. Om die reden - en om ten behoeve van geodetische vraagstukken bestaande leemten in zwaartekrachtmetingen in het Noordzee gebied op te vullen - zocht Vening Meinesz de medewerking van de marine. Terwijl in 1954 en 1955 het slingerapparaat nog aan de Universiteit van Californië was uitgeleend, kon met behulp van een bij de Bataafsche Petroleum Maatschappij pas in dienst gestelde, op afstand bedienbare en op de zeebodem rustende zee-gravimeter in ondiepere delen van de Noordzee onderzoek worden gedaan vanaf oppervlakte schepen als Hr.Ms.Fregat "Vos" (1955) en "Fret" (1957). Maar metingen in het diepere deel van de Noordzee tussen 58° en 61° noorderbreedte konden toen nog alleen met inzet van een onderzeeboot en slingerapparaat worden gerealiseerd.

Personeel en Middelen

Onder commando van Lt2 J.W.Oosterbaan met als waarnemer voor de zwaartekrachtmetingen Dr.B.J.Collette (Universiteit van Utrecht) voltooide Hr.Ms. "Zeeleeuw" in veertien dagen het onderzoek met 34 waarnemingen, waarvan een locatie met een door de zee-gravimeter gemaakte observatie samenviel.

R.D.Schuiling assisteerde bij de tijdsignaalregistratie, waarbij van een "De Haas Time Signal Oscillograph" gebruik werd gemaakt..

Voor plaatsbepaling werd voor deze expeditie en de latere in de Noordzee tussen 1955 en 1957 uitgevoerde onderzoeken het nieuw ingevoerde Decca systeem gebruikt.

Met haar waterverplaatsing van 2425 ton was Hr.Ms."Zeeleeuw" een grote, sinds 1953 van de Verenigde Staten geleende onderzeeboot van de "Guppy"-klasse (Greater Underwater Propulsion Power). Zij zou in 1962 van die "Power" getuigen door - op oefenreis naar West-Indië, maar vanwege het conflict met Indonesië naar Nieuw-Guinea gedirigeerd -, eenmaal aldaar afgelost via de Kaap naar Nederland

terug te keren: aldus de langste reis om de wereld van enige boot van de Nederlandse Onderzeedienst op haar naam schrijvend.¹

Resultaten

Hoewel het Decca systeem een verbetering in de voorheen toegepaste methodiek van plaatsbepaling was, bleek naderhand, dat niettemin een positioneringsfout van omstreeks een kilometer niet ongewoon was.

De efficiëntie van dit, met onderzeeboot en slingerapparaat uitgevoerde onderzoek lijkt vergelijkbaar met het in het zuidelijker gelegen deel van de Noordzee in 1955 door het met een stationnaire zee-gravimeter uitgeruste oppervlakteschip Hr.Ms."Vos" uitgevoerde onderzoek. Beide onderzoeken maakten met een vergelijkbare tussenruimte gemiddeld zo'n 2 - 3 observaties per dag.

De geobserveerde waarden van de zwaartekracht werden naderhand bewerkt voor topografische reductie en isostatische compensatie en vervolgens op de kaart gezet.

De door Collette gepresenteerde kaart van zijn interpretatie van de geologische configuratie van de diepe ondergrond onder de Noordzee - een der eerste van dit gebied - geeft geen aanwijzingen over het bestaan van een met het Scandinavië samenhangende structurering buiten het marginale diep, gevormd door Skagerrak en Norwegian Channel. De kaart van isostatische anomalieën, die de configuratie van de sedimentaire invulling van de ondergrond zou kunnen representeren, geeft ruwweg het bestaan aan van later door boringen aangetoond reliëf als het Mid-Noordzee Hoog en de (olierijke) Viking Graben (in 1960 nog niet als zodanig onderkend !).

Op grond van de uitkomst van een der waarnemingen werd al in 1957 een door de Utrechtse universiteit gesponsord onderzoek met Hr.Ms."Fret" ge-entameerd in de Moray Firth, welk gebied naderhand eveneens door boringen als olierijk kon worden aangemerkt. De efficiëntie van het door Hr.Ms."Fret" daar uitgevoerde onderzoek lag wel met gemiddeld negen observaties per dag veel hoger dan het door Hr.Ms. "Zeeleeuw" uitgevoerde onderzoek, maar de onderlinge afstand tussen de metingen was dan ook veel kleiner.

¹ P.C.Jalhay, *Nederlandse Onderzeedienst 75 jaar* (Bussum 1982) 126.

De "Walrus"- expeditie (Curaçao e.o. 18/11/1957 - 21/12/1957)

Tenzij anders vermeld is de nu volgende informatie ontleend aan G.J. Bruins (red.), *Gravity expeditions 1948 – 1958 Vol V* (Delft 1960) 18 - 34.

Doelstellingen

Op basis van het door Vening Meinesz omstreeks 1940 verkregen inzicht in de opbouw en ontwikkeling van de aardkorst in Oost- en West-Indië stelde hij in 1941 voor het 28^e Nederlandsch Natuur- en Geneeskundig Congres een wensenlijst voor verder onderzoek samen. En hoewel hij in het *Amersfoortsch Dagblad* van 24 oktober 1946 nog de verwachting had uitgesproken, dat hij binnen enkele jaren weer marien onderzoek in de Stille en de Indische Oceaan zou kunnen uitvoeren, werd hij door de politieke ontwikkelingen naderhand in zijn wensen voor onderzoek in die contreien gefrustreerd.

Maar vasthoudend als altijd wist hij zijn oude verlangens naar onderzoek van het zwaartekrachtsveld en de configuratie van de aardkorst in de zeeën aan weerszijden van de isthmus van Panama uiteindelijk in 1957 toch gerealiseerd te krijgen.

Het onderhavig onderzoeksprogramma in de Caribische Zee werd samengesteld in nauw overleg met Ewing en staf van het Lamont Geological Observatory, die al vaker in die zee zwaartekrachtonderzoek hadden uitgevoerd.

Het programma in de Stille Oceaan werd gebaseerd op de toenmalig bekende trends in het zeebodemreliëf aldaar.

Personeel en Middelen

Evenals Hr.Ms. "Zeeleeuw" behoorde Hr.Ms. "Walrus" tot de grotere, "Guppy" (Greater Underwater Propulsion Power)-klasse onderzeeboten, die door de Verenigde Staten aan de marine ter beschikking waren gesteld. Ltz1 F.B. Hamilton voerde gedurende de expeditie het commando over onderzeeboot en bemanning, terwijl door Ir.G. Bakker en Ir.L. Otto de zwaartekrachtmetingen werden uitgevoerd.

Het Vening Meinesz slingerapparaat was al in Nederland aan boord gebracht, maar werd pas in Curaçao op zijn functionele plaats geïnstalleerd.

Voor de chronometrage was een kwartsklok type Airmec 761 aangeschaft, waarvan de nauwkeurigheid 10^{-6} sec per twee uur was. Het tot 50 Hz gereduceerde uitgangssignaal reguleerde een synchroonmotor zo, dat deze ten behoeve van de tijdmarkeringen een wiel met 25 lichtstraalonderbrekingen per seconde deed roteren. Deze instrumenten werden gevoed via een Airmec Spanningsregulator type P 881. Als alternatief kon op precisie-urwerken worden teruggevallen.

Resultaten

Ten westen van de isthmus van Panama werden langs zeven profielen met een gecombineerde lengte van omstreeks 3500 mijl in totaal 62 metingen gedaan. Een gemiddelde van een meting per 56 mijl (100 km). Hierbij werd routinematig tot veertig meter diepte gedoken, in zwevende toestand stationnair een meting uitgevoerd,

opgedoken en doorgevaren tot het volgende meetpunt. "Maar gelukkig kon deze dagenlange routine afgewisseld worden met wat "passagieren" aan de wal tijdens een druk vacantieseizoen".

Op het traject langs de noordkust van Venezuela vanuit Curaçao nam men vijftien metingen in twee profielen op, wat neerkomt op een meting per 33 mijl (60 km). Het echolood registreerde elke tien minuten de waterdiepte: continue registratie was kennelijk nog geen optie.

Zowel de lagering van het cardanisch opgehangen frame, waarin het slingerapparaat was geborgd als de zetting van een van de gedempte slingers, lieten gedurende de expeditie te wensen over. Het eerstgenoemde euvel, dat ook bij Ewing's kopie van het slingerapparaat was opgetreden, werd door hem geweten aan een te lichte uitvoering der lagers.¹

Het klokwerk functioneerde zeer accuraat en betrouwbaar gedurende de gehele expeditie. Mede daardoor kon - ondanks de genoemde beperkingen - de nauwkeurigheid van de waarnemingen binnen de gestelde marge van twee mgal blijven. Dat werd mede bevestigd door de uitkomsten van de tussen Colon en Curaçao met een zee-gravimeter door Dr. Gilbert (Dominion Observatory te Ottawa) gedane metingen.

De gecorrigeerde observaties werden door het Internationale Isostatisch Bureau voor topografie gereduceerd en voor isostasie gecompenseerd.

Interpretatie van de door de expeditie verkregen informatie over het zwaartekrachtsveld ten westen van de isthmus van Panama in samenhang met de door Ewing en anderen al verkregen resultaten terzake van het zwaartekrachtsveld in de Caribische Zee deed Vening Meinesz - mede op grond van zijn interpretatie van het zeebodembodemreliëf - concluderen, dat de structurele configuratie van het gebied werd veroorzaakt door compressie vanuit een noordnoordoostelijke richting ten gevolge van verschuiving van het Zuidamerikaans continent in die richting ten opzichte van het Caribisch gebied. Daarentegen leek de aanwezigheid van breuken met een zijwaartse verschuivingscomponent in westelijke richting langs de oostkust van Venezuela in combinatie met de aanwezigheid van diepzeetroggen en negatieve zwaartekrachts anomalieën ten westen van de Andesketen te wijzen op sleuring van de korst in die richting. Het gehele spectrum van verkregen inzichten versterkte bij Vening Meinesz de perceptie, dat een onder het Zuidamerikaans continent vanuit de mantel opwellende convectieve cel voor deze verschijnselen verantwoordelijk kon worden gesteld.

¹ M.Ewing et al., "Gravity observations at sea in US submarines Barracuda, Fisk, Conger, Argonaut and Madregal", in: A.van Weelden (ed.) *Gedenkboek F.A.Vening Meinesz*. Verschenen als Deel XVIII van de Geologische Serie van de Verhandelingen van het Koninklijk Nederlandsch Geologisch-Mijnbouwkundig Genootschap (Den Haag 1957) 68.

