

Zeeniveau Waarnemingen door School at Sea a/b Regina Maris

Versie 1.0b d.d. 24 October 2011

Hans van der Marel, TU Delft (h.vandermarel@tudelft.nl), ++31 15 2784907

Inleiding

Het bepalen van de actuele hoogte van het zeeoppervlak is een van de waarnemingen die School at Sea a/b van de Regina Maris uitvoert. Dit gebeurt met behulp van een zeer nauwkeurig GPS systeem van Fugro Survey BV dat behalve de GPS signalen een extra correctiesignaal ontvangt van een geostationaire satelliet, waardoor de hoogte van het zeeniveau met decimeter nauwkeurigheid kan worden gemeten.

Een van de belangrijkste en meest invloedrijkste gevolgen van klimaat verandering is de stijging van het zeeniveau. Afsmelting van land ijs (Groenland, Antarctica, Gletsjers) en uitzetting van zeewater door stijgende gemiddelde temperatuur van de Aarde resulteert in een stijging van het absolute zeeniveau. Deze stijging is afhankelijk van de locatie op Aarde. Het afsmelten van ijskappen heeft namelijk ook invloed op het zwaartekracht van de aarde en door isostatische processen in de Aardmantel. Een voorbeeld hiervan is de nog steeds voortdurende “land-uplift” in Scandinavië na de laatste ijstijd. Een ander voorbeeld; zou de ijskap op groenland helemaal smelten, dan resulteert dat in de directe omgeving van Groenland juist in een zeespiegel daling t.g.v. het wegvallen van de aantrekkingskracht van het ijs zelf en isostatische processen.

De wetenschap probeert verandering in het zeeniveau te voorspellen aan de hand van model berekeningen. Deze modellen worden getoetst en gevoed met waarnemingen van het actuele zeeniveau. Meting van het zeeniveau is zeer complexe en ingewikkelde aangelegenheid. Waarnemingen van peilmeetstations langs kusten en platforms op het continentale plat worden vaak beïnvloed door lokale effecten. Denk daarbij voor Nederland aan de invloed van aanleg van de 2^e Maasvlakte, afsluitdijk en diverse havenuitbreidingen op metingen van peilmeetstations. Op de Oceanen is men afhankelijk van metingen vanuit satellieten. Twee soorten satellietmetingen zijn daarvoor van belang: satelliet altimeters (bv TOPEX/POSEIDON) en zwaartekrachtmetingen (bv GOCE).

De in-situ metingen van het zeeniveau door School at Sea vormen een belangrijke onafhankelijke verificatie van bestaande modellen en satelliet metingen.

Een uitvoerige beschrijving van soortgelijke metingen in 2010 in de Indische Ocean aan boord van de Clipper Stad Amsterdam (VPRO's Beagle II campaign) is te vinden in [1]. Voor de technische details van de metingen verwijzen we naar [2] en [3].

Wat is hoogte, wat meten we eigenlijk?

De hoogte van een object (bv zeeoppervlak) is de afstand van dat object en tot een **referentieoppervlak**, gemeten langs de locale vertikaal. De vraag is dus eigenlijk welk referentieoppervlak gebruiken we. Het antwoord hierop is niet eenduidig, maar er zijn twee principieel verschillende keuzes mogelijk: een **equipotentiaal vlak (geoïde)** of een **omwentelings ellipsoïde**.

De omwentelings ellipsoïde is de keuze met minst mogelijke aannamen en het minst afhankelijk van waarnemingen. De GRS80 ellipsoïde is een internationaal erkende standaard ellipsoïde, die ook bv voor GPS wordt gebruikt.

De geoïde is een equipotentiaal vlak; deze is best te vergelijken met een hypothetisch gemiddeld zeeniveau van een Aarde zonder oceaan stromingen, luchtdruk verschillen, getijden, dat zich ook onder continenten uitstrekt. De geoïde kan alleen door middel van zwaartekrachtmetingen worden bepaald, bv door metingen op de grond, vanuit vliegtuigen, schepen of onderzeeboten (zoals door de Nederlander Vening Meinesz in 1934-1935), of door middel van speciale satellieten zoals ESA's GOCE satelliet. Omdat de geoïde dus zelf afhangt van metingen is dat geen goed referentie oppervlak voor onze GPS metingen. De hoogte van de geoïde, ofwel Mean Sea Level (MSL), t.o.v. de GRS80 ellipsoïde is weergegeven in Fig. 1.

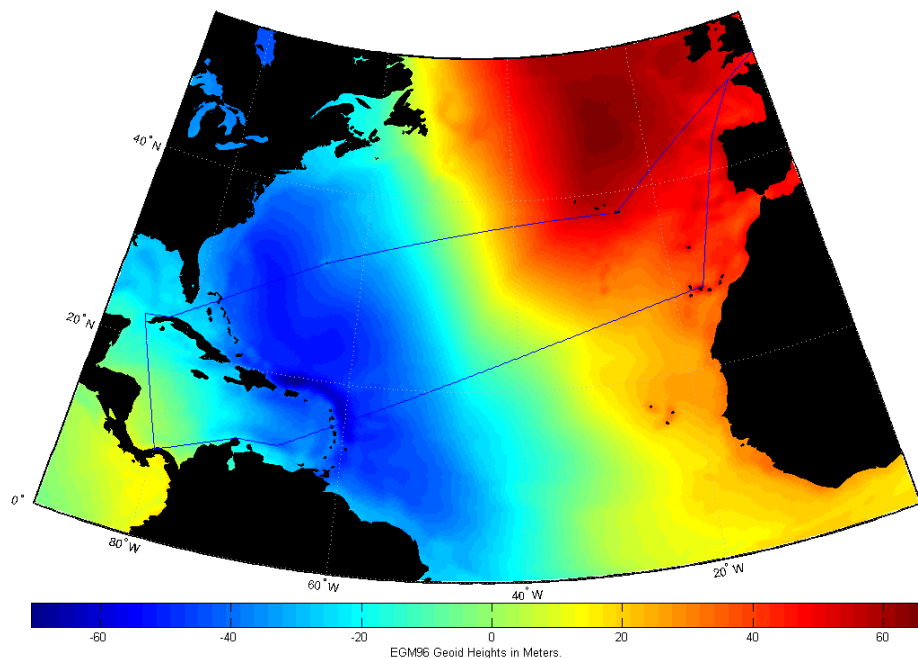


Fig. 1: Hoogte van de geoïde (MSL) t.o.v. GRS80 referentie ellipsoïde.

De lijn in Fig. 1 geeft de kortste route van de Regina Maris weer. De uiteindelijke route van de Regina Maris zal hier enigszins van afwijken, bijvoorbeeld valt te verwachten dat de Regina Maris op de 1^e oversteek een meer zuidelijke koers zal kiezen om gebruik te

maken van de gunstige passaat winden. In Fig. 2 is de geoïde hoogte (MSL) langs de route uit Fig. 1 weergegeven. Zoals in Fig. 2 te zien valt zakt de hoogte over het 1^e deel van het traject van +44 meter in de Noordzee tot -60 meter bij de bovenwindse eilanden.

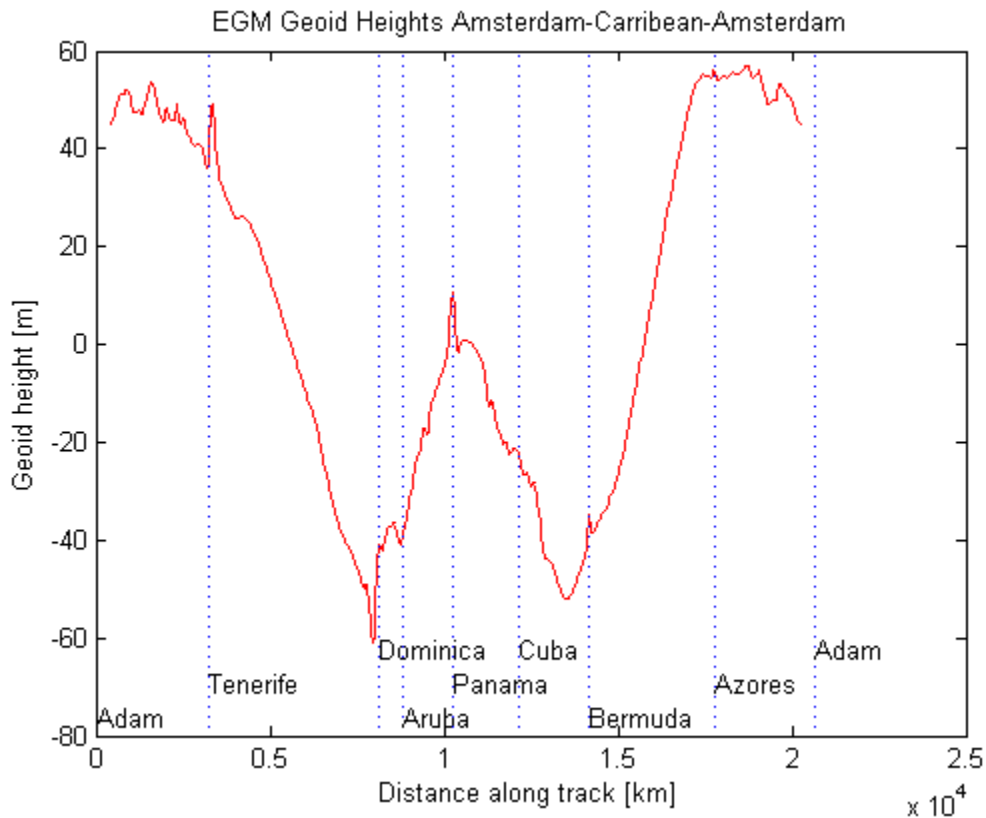


Fig. 2: Hoogte van de geoïde (MSL) t.o.v. GRS80 referentie ellipsoïde, langs de route van de Regina Maris

Het GPS systeem corrigeert overigens zelf voor de geoïde hoogte. Bijvoorbeeld, op de Dam in Amsterdam, het hoogtenulpunt voor Nederland en heel Europa, geeft GPS on gecorrigeerd een hoogte van meer dan 40 meter. Na correctie is de zogenoemde MSL hoogte ongeveer 0 meter, wat we dus intuïtief ook zouden verwachten. Echter, het model dat GPS intern gebruikt heeft een beperkte precisie (enkele meters, en aanzienlijk slechter dan het model dat voor Fig. 1 en 2 is gebruikt) en wij willen juist de hoogte met decimeter nauwkeurigheid. Dit is de reden waarom voor dit experiment de on gecorrigeerde **ellipsoïdische hoogte** wordt gebruikt.

Als de gemeten ellipsoïdische hoogte van het zeeniveau uit de GPS metingen van de Regina Maris in Fig. 2 geplot zouden worden, dan zullen deze niet geheel samenvallen met de getrokken lijn. Dit komt niet alleen door kleine meetfouten, maar wordt ook veroorzaakt door model fouten in de geoïde (MSL), invloed van stromingen, en getijden. Omdat de metingen met de Regina Maris nog moeten plaatsvinden wordt in Fig. 3 als voorbeeld de metingen a/b Clipper Stad Amsterdam gegeven [1].

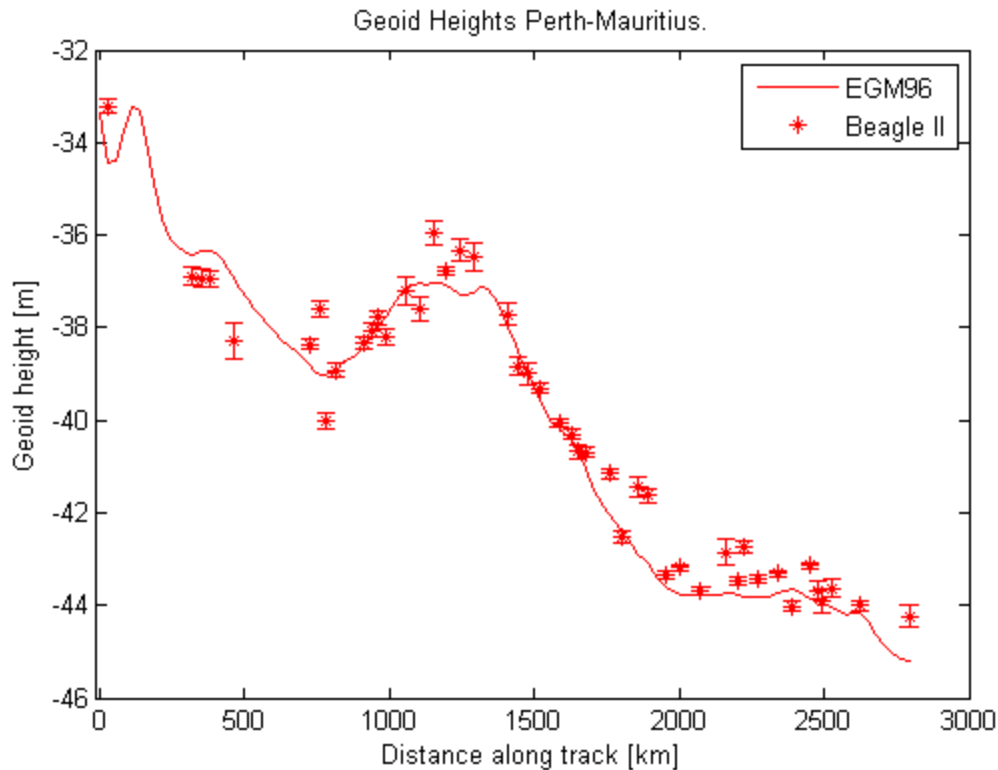


Fig.3: GPS ellipsoidische hoogte, inclusief error bars, verkregen iot GPS metingen a/b Clipper Stad Amsterdam, vergeleken met de EGM96 geoide model [1].

Waarom is de geoïde hoogte (MSL) zo variabel?

De variaties in Fig. 1 en Fig. 2 hebben te maken met de massaverdeling binnen de Aarde. Continentaal gesteente is bijvoorbeeld lichter dan de onderliggende Aard mantel, maar aan de andere kant, continenten zijn veel dikker dan de oceaan bodem, waardoor er op de oceanen toch harder getrokken wordt aan het zeeoppervlak met een daling tot gevolg.

Dit is ook goed te zien door Fig. 1 en 2 te vergelijken met Fig. 4 en 5, die de diepte van de Atlantische oceaan weergeeft. Echter, ook duidelijk zichtbaar is een trend die niets van doen heeft met de diepte.

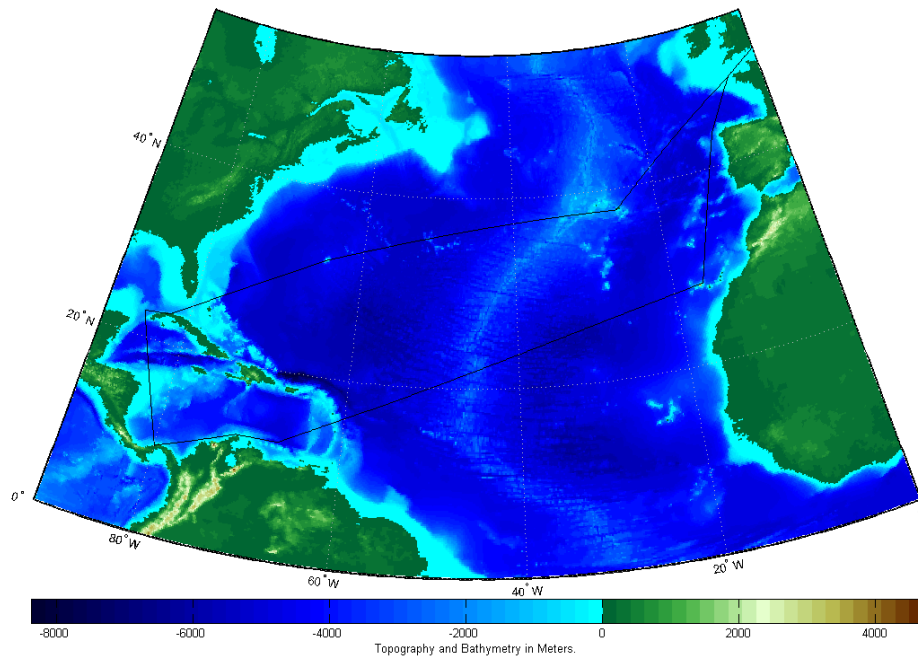


Fig. 4: Land topografie en ocean bathymetry.

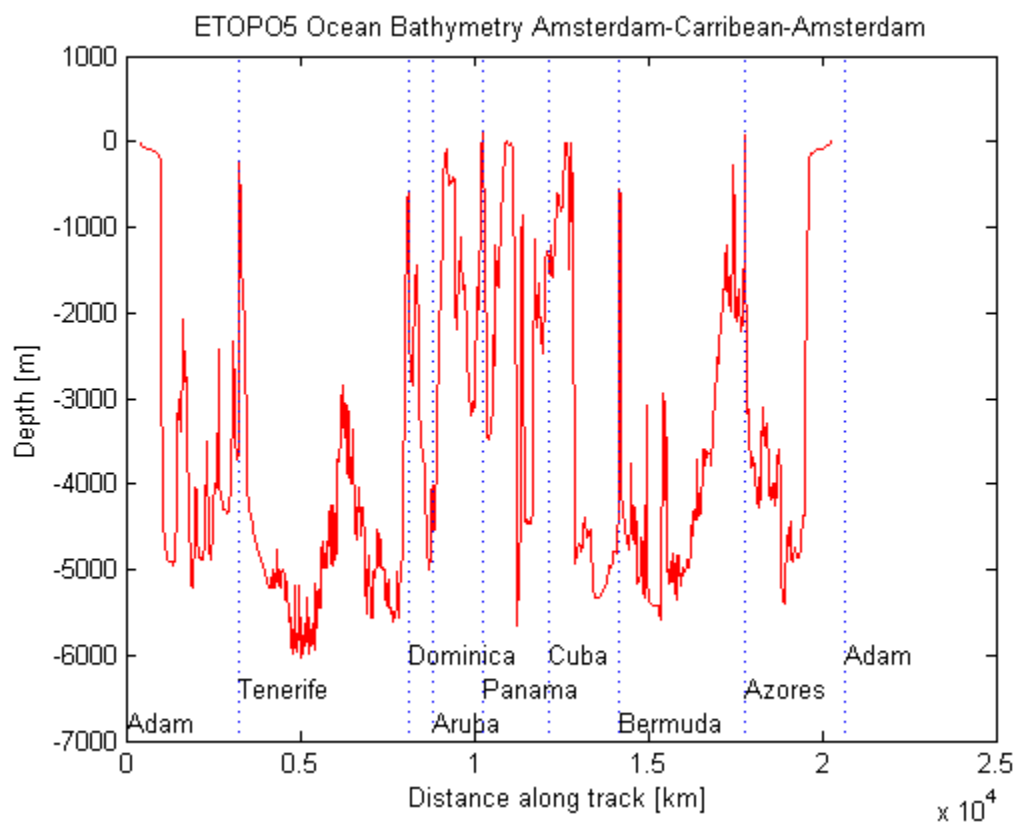


Fig. 5: Bathymetrie langs de route van de Regina Maris

Referenties

- [1] Bert Vermeersen, Hans van der Marel (2010), VPRO's Beagle II Ocean Clipper and GPS, Measuring Sea Level Topography by means of GPS onboard the Clipper Stad Amsterdam in the Indian Ocean, Leonardo Times, June 2010.
- [2] Hans van der Marel (2011), Gebruikers Handleiding GPS XP en Motion Sensor a/b Regina Maris. TU Delft, intern document, versie 1.1 d.d. 24 October 2011.
- [3] Hans van der Marel (2011), Calibratie Hoogteverschil GPS Antenne en Zeeniveau. TU Delft, intern document, versie 1.0 d.d. 24 October 2011.

Colofon

Auteur: Hans van der Marel

E-mail: h.vandermarel@tudelft.nl

Adres: Delft University of Technology, Aerospace Engineering, Kluyverweg 1, 2629 HS Delft, Netherlands

Phone: ++31 15 2784907 / ++31 6 30302536