



DIEPTE

Op het einde van de duik waarin ik de aantrekkelijke dieptes van de Spaanse noordkust bewonderd heb, maak ik me klaar om te stijgen. Een glimp op mijn duikcomputer vertelt me dat ik een trap van 6 minuten op een diepte van 5 meter moet uitvoeren. Wat betekent 'een diepte van 5 meter'?

Zoals in het artikel 'Wat is tijd?' (dat gepubliceerd werd in Hippo 237), stel ik voor om ook deze grote brok aan informatie beetje bij beetje te analyseren en om onze benadering van diepte op te delen in het probleem 'lengte van de afstandseenheid' en het probleem 'referentiepunt'.

De diepte van het oppervlaktewater wordt vaak aangeduid met de term waterdiepte. Vroeger was dit gemeten in de vadem (in het Engels 'fathom'). Dit was de spanwijdte van de armen van een niet te kleine volwassen man. Hierdoor konden zeelui gemakkelijk de diepte meten door het touw tussen de handen aan de gestrekte armen binnen te halen. Nu wordt de diepte voor

redenen van standaardisatie uitgedrukt in een veelvoud van meters, en als het de diepzee betreft ook nog wel in kilometers.

de meter

De meter (symbool m) is één van de 7 basiseenheden binnen het 'Système International' (SI). Als eenheid voor lengte staat hij aan de basis van het metrieke stelsel



Duikers bewonderen de koralen van de drop-off.

Foto: Roland Wantens.



Boven: Het Normaal Amsterdams Peil (NAP). De referentie vind je in het stadhuis van Amsterdam.

Onder: De diepte meten we niet met een lintmeter.

in 1675 in het boek van de Italiaan Tito Livio Burattini. Hij legde de meter vast op de lengte van een slinger die beweegt met een halve periode van 1 seconde. Hoewel dit in de 17e eeuw een bewonderenswaardige prestatie was, is de zo gedefinieerde meter niet echt universeel. De precisie hangt immers af van die van een andere eenheid, de seconde. De slingertijd op zich hangt dan weer af van de plaatselijke valversnelling (dus van de plaats op aarde en van de hoogte boven de zeespiegel) en de uitslag van de slinger zelf.

Op zoek naar een universeel geldende meter definieerde de Franse Academie van Wetenschappen in 1791 de meter als het tienmiljoenste deel van de afstand op zeeniveau van de Noordpool tot de evenaar, gemeten langs de meridiaan van Parijs (en dus niet de nulmeridiaan door Greenwich!). Pas in 1799, nadat de wetenschappers de juiste afstand gemeten hadden, werd die nieuwe standaard vastgelegd. Deze meter, genaamd de 'mètre des Archives', werd dan gemaakt van platina. Later bleek deze platina meter 0,2 mm te kort vanwege een rekenfout in de afplatting van de aarde. Toch werd de standaard niet gewijzigd. Ook niet als in 1889, op de eerste 'Conférence Générale des Poids et Mesures' de meter scherper gedefinieerd werd als de afstand tussen twee inkepingen op een staaf van 90% platina en 10% iridium, de zogenaamde X-meter.

Omdat het vertrekken vanuit een fysische meter moeilijk is om al het meetapparaat ter wereld te ijken, werd gedurende de eennia gezocht naar een andere definitie. Dankzij een veel nauwkeuriger tijdmeting door het gebruik van atoomklokken, werd de huidige definitie in 1983 vastgelegd. De lichtsnelheid in vacuüm is nu per definitie precies 299 792 458 m/s, waardoor de meter de afstand is die licht in vacuüm aflegt in één 299 792 458e van een seconde. We zijn dus terug bij een definitie waarbij tijd afstand bepaalt, maar nu kan de meter in ieder laboratorium ter wereld exact bepaald worden.

Mount Everest

Nu we de maateenheid goed bepaald hebben, moeten we nog bepalen wat 'diepte' juist betekent. Het lijkt misschien simpel,

maar zoals bijna alles in het leven is dat niet zo. Nog steeds is er bijv. een discussie over wat nu de hoogste berg is: Mount Everest of K2? Je hoeft toch maar de afstand tussen de voet en de top te meten? Het probleem is echter, waar is de voet?

Om op die laatste vraag te antwoorden moet je dus meten vanaf het punt op het aardoppervlak onder de top van de berg. Omdat we niet kunnen graven door de bergwand naar de voet – dat zou trouwens geen oplossing zijn – moeten we dus een wiskundig model van de aarde maken. Dit model heet de geoïde. Deze naam komt van geodesie dat staat voor de wetenschap van het meten van de omvang en de vorm van de aarde.

De meest simpele geoïde is een bol. Maar zoals we weten is dit niet correct, want de aarde is vanwege de middelpuntvliedende kracht afgeplat aan de polen. Een belangrijke eigenschap van de geoïde is dat de zwaartekracht er loodrecht op staat. Nu wil het dat de zwaartekrachtsvector niet altijd naar het middelpunt van de aarde wijst, want ze wordt beïnvloed door grote massa's, zoals bergen. En dus, de voet van de berg wordt beïnvloed door de berg zelf. De discussies gaan dus niet over de 'hoogte' van de top, maar wel over de invloed van de berg op de hoogte van de voet.

diepte

Maar hoe zit het met de diepte? In de zee zijn er geen bergen (in de diepzee zijn er wel bergen en dalen zijn), dus geen invloed van grote massa's. En de 'top' is het wateroppervlak. Lekker vlak en zichtbaar. Maar er zijn wel golven. Wachten op een windstille dag? Maar wat met eb en vloed? De bepaling van het referentievlak hangt af van het 'waarom' je het nodig hebt. Voor de scheepsvaart wil je een kaart maken die er voor zorgt dat schepen niet aan de grond lopen. Je zal er dus voor zorgen dat vergissingen die leiden tot het te ondiep inschatten van de werkelijke diepte zo gering mogelijk zijn. Anders gezegd, zal je het referentievlak zo laag mogelijk leggen.

Voor zoetwatergangen wordt de waterstand weergegeven ten opzichte van bijv. het Normaal Amsterdams Peil (NAP). Op kaarten staat wat de diepte van de bodem ten opzichte van het NAP is en kan dus de juiste waterdiepte op dat moment berekend worden. Voor het gemak wordt het



Foto: Jean Scheijen - www.vierdrie.nl.

of metrische systeem. De definitie van een 'meter' is in de loop van de geschiedenis een aantal keren veranderd – telkens nauwkeuriger en stabiel bepaald – omdat door de ontwikkeling van de wetenschap de beschikbare meetmethodes nauwkeuriger werden.

De eerste definitie van de meter verscheen



Foto: Toersade de Pointes.

Getijhaventje van Lillo bij hoogwater, 3 april 2008 (5 dagen na laatste kwartier, gemiddeld tij).

NAP vaak gelijkgesteld aan het gemiddeld zeeniveau. Historisch ligt het NAP echter dicht bij het gemiddelde hoogwaterniveau in het IJ, voor de afsluiting (de IJ was voorheen een zeearm). Van oorsprong kwam het NAP overeen met de geöïde, maar tegenwoordig komt dit niet meer geheel overeen. Het ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) is nu het officiële driedimensionale coördinatenstelsel.

De Tweede Algemene Waterpassing (TAW) is de referentiehoogte waartegenover hoogtemetingen in België worden uitgedrukt. Een TAW-hoogte van 0 meter is gelijk aan het gemiddeld zeeniveau bij laagwater te Oostende. Het NAP ligt 2,33 meter hoger dan TAW.

Op Engelse zeekaarten vind je soms de LAT (Lowest Astronomical Tide) of het laagste

getijdenniveau dat voorspeld kan worden onder gemiddelde meteorologische omstandigheden en onder elke combinatie van astronomische omstandigheden. Dit zeer veilig referentievlak voor de scheepvaart is nogal pessimistisch om een zee diepte aan te geven. We hebben dus een andere referentie nodig.

Het zeeniveau is de gemiddelde hoogte van de zeespiegel (het vlak van de zee), als alle variaties die het gevolg zijn van de getijden worden weggemiddeld. Ons referentievlak, het zeeniveau (MSL of 'Mean Sea Level'), bepalen zal dus niet van een leien dakje lopen. Het zeeniveau is het resultaat van het volume vloeibaar water op aarde en van de gemiddelde temperatuur die de gemiddelde dichtheid van het water beïnvloedt. Veranderingen in het absolute zeeniveau (zogenoemde eustatische veranderingen) zijn in de loop van de geologische tijdschaal en

zelfs in de geschreven geschiedenis voorgekomen.

De veranderingen van het absolute zeeniveau wordt bepaald door de grootte van de ijskappen en de temperatuur van het zeewater. Beide hangen af van het gemiddelde klimaat op aarde. Als er klimaatverandering in de vorm van temperatuurstijging optreedt, zullen de ijskappen smelten en zal het zeewater warmer worden. In beide gevallen stijgt het absolute zeeniveau. Bij temperatuurdaling daalt ook het zeeniveau.

Het relatieve zeeniveau hangt behalve van de eustasie ook af van de beweging van de aardkorst en de aanvoer van sediment naar de zeebodem. Als er veel sediment op de bodem blijft liggen, zal de zeebodem hoger komen te liggen en het relatieve zeeniveau

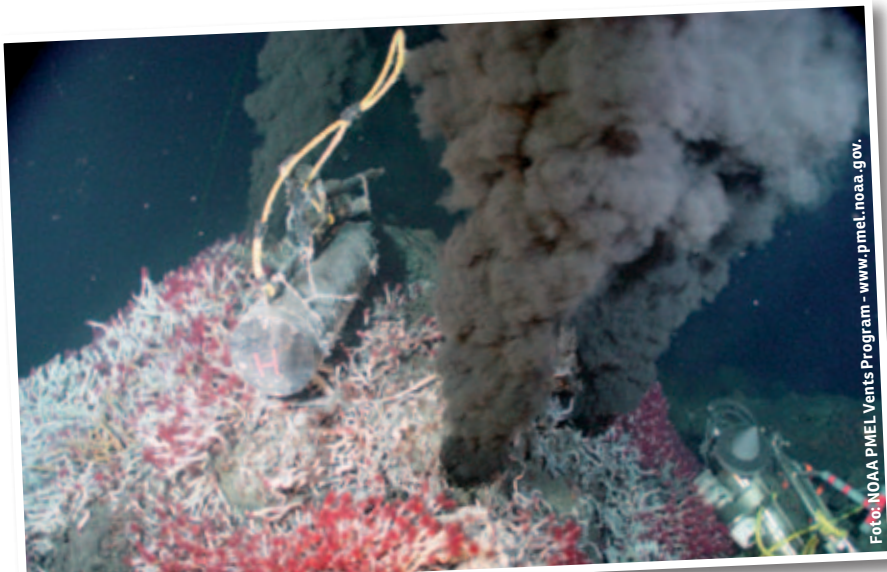


Foto: NOAA PMEL Vents Program - www.pmel.noaa.gov

Boven: De diepte van de diepzee wordt uitgedrukt in kilometers.
Onder: Getijhaventje van Lillo bij laagwater, 8 augustus 2008 (tijdens eerste kwartier, bijna doottij).

aardverschuivingen, tsunami's, enz. Het verschil tussen MSL en de geoïde ligt rond de 2 m.

Nu we de problemen van het referentievlak kennen en opgelost hebben, kunnen we de diepte gaan bepalen. De waterdiepte wordt deels berekend aan de hand van meetgegevens die door sonar, peilstokken en (recent) satellieten gemeten worden. De diepte hangt echter af van de bodemsamenstelling. Hierdoor zijn de meetgegevens niet altijd eensluidend omdat de samenstelling van de bodem vaak geen duidelijke grens tussen water en bodem laat zien. Bij een zachte bodem is door waterbeweging het moeilijker een onderscheid tussen water en bodem te maken. Gelukkig zijn er richtlijnen vastgesteld. Bij een bepaalde dichtheid van het water telt het als bodem zodat er toch een duidelijke grens is.

We kennen dus het referentievlak en weten waar de bodem begint. Door de definitie van de meter kunnen we nu perfect de diepte bepalen en noteren. Maar wat met duikdiepte?

duikdiepte

In feite zijn we als duikers alleen geïnteresseerd in de lokale, actuele diepte van de plaats waar we willen duiken. Zo lang we deze goed kunnen benaderen zijn we tevreden. Op het moment zelf hebben we onze dieptemeter of duikcomputer die ons vertelt hoe diep we zitten. Hoewel uitgedrukt in meters, lezen we in feite de druk die op onze pols heerst. Deze druk is het gevolg van het gewicht van de waterkolom die er boven staat. En deze druk hangt af van de gemiddelde golfhoogte, temperatuur van de bovenliggende waterlagen, saliniteit (zoutgehalte) van het water, ... Mijn diepte is dus niet die van jou (maar dat kunnen we moeilijk aflezen).

Als je de volgende keer de vraag "Hoe diep duiken we?" hoort, weet dan dat het antwoord hierop veel moeilijker is dan je voorheen dacht. Maar zo'n ingewikkeld antwoord verwacht je buddy zeker niet. ■

PATRICK VAN HOESERLANDE

dalen. Als de aardkorst naar beneden beweegt, zal het relatieve zeeniveau juist toenemen. Het zeeniveau kan daardoor lokaal veranderen terwijl het absolute zeeniveau gelijk blijft.

De zeespiegelstijging is actueel geworden door het broeikaseffect en klimaatsverandering. Metingen van het absolute zeeniveau over de afgelopen 130 jaar laten een geleidelijke stijging zien van in totaal ongeveer 20 cm. Wetenschappers voorspellen dat de zeespiegel in 2100 tot 1 m gestegen zal zijn en daarna in het zelfde tempo zal doorgaan. Dat betekent dat bepaalde delen van de wereld ondergelopen zullen zijn. Veel menselijke activiteiten spelen zich af aan de kust en op land dat op of zelfs onder zeeniveau ligt. Laag gelegen eilandgroepen als Tuvalu kunnen dan onder de zeespiegel verdwijnen.

Maar terug naar het gemiddeld zeeniveau. Dit is het gemeten niveau van een kalme zee, dus één waaruit alle bewegingen zoals wind en getij uitgefilterd zijn. Dit gebeurt door het gemiddelde te berekenen van de resultaten van metingen om het uur over een periode van 19 jaar. De meting van het zeeniveau gebeurt t.o.v. het land. Dus een verandering in MSL kan het resultaat zijn van een echte verandering in zeeniveau of een verandering van de hoogte van het stuk land.

Dat het zeeniveau geen constante kan zijn, blijkt duidelijk uit de factoren die er invloed op hebben. Denken we hierbij aan regenval en watertoevloed uit grote rivieren, dichtheitsverschillen door veranderende watertemperaturen, 'el niño', het wobbleffect en variatie in de rotatiesnelheid van de aarde,