
Boeken

Modeling orbital induced variations in circum-Mediterranean climate

door Erik Tuenter

Proefschrift Universiteit Utrecht, Utrecht, 2004, pbk, 148 pag, ISBN 90-6464-855-7.

Sapropelen («Faulschlamm», in het Duits) zijn modders met veel organisch materiaal, die we op de bodem van meren, zeeën en oceanen kunnen vinden. Ze ontstaan onder anaërobe omstandigheden, dus meestal in de diepzee, en komen zoals gemeld meestal onder water voor, doch door tektoniek zijn ze ook boven de zeespiegel te bewonderen, bijvoorbeeld in de heuvels van Zuid-Italië of in Griekenland.

De modderafzettingen komen tot stand door veranderingen in het Mediterrane klimaat. De laatste sapropeel ontstond circa achtduizend jaar geleden. De sapropelen konden worden gevormd omdat er onder invloed van veranderingen 'in de stand van de zon' (lees: *de aarde*) met tussenpozen van 20.000 jaar sprake is geweest van een zeer nat klimaat in het Middellandse Zeegebied. Gevolg daarvan was dat er relatief veel zoet water en voedingsstoffen in zee terecht kwamen, wat de algengroei stimuleerde. De toename van de zoetwaterinflux veroorzaakte daarnaast veranderingen in de circulatie van de Middellandse Zee, waardoor anaërobe omstandigheden werden gesti-

muleerd. Het afsterven van de algenmassa zorgde vervolgens voor de vorming van de sapropelen, zo luidt de theorie. De grote hoeveelheden pyriet en sporenmatalen van onder meer cadmium, nikkel en molybdeen laten soms zien dat bijna al het water met zwavelwaterstof was vergiftigd. Deze stoffen slaan namelijk neer door een chemische reactie met H_2S . Vijf jaar geleden stond er een artikel in *Nature* dat meldde dat de Middellandse Zee tussen twee en drie miljoen jaar geleden zelfs regelmatig vergiftigd is geweest.

Sapropelen vinden we veelal in een opeenvolging met mergels, waarbij de afwisseling een afspiegeling is van omstandigheden die wel of niet gunstig waren voor het ontstaan van de sapropelen. Stilstand water is gunstig. Er wordt hierbij veelal een verband met het klimaat verondersteld, want een verandering in klimaat geeft een verandering in de hoeveelheden afstromend water, zoals we inmiddels weten. Meer zoet water leidt tot een grotere influx van organisch materiaal, maar ook tot relatief lichter zeewater, waardoor er minder zuurstofrijk water naar grotere diepten gaat. Beide zijn gunstig voor de vorming van sapropelen.

Koude klimaatsomstandigheden zorgen voor een neerwaartse waterstroming, hetgeen ongunstig is voor de vorming van sapropelen. Verder wordt ervan uitgegaan dat er een astronomische oorzaak is voor de veranderingen in het Afrikaanse klimaat, die op hun beurt weer zorgen voor veranderingen in de afvoer van de Nijl, hetwelk weer leidt tot een veranderde aanvoer van zoet water in de Middellandse Zee, als gevolg waarvan er wel of geen sapropelen worden gevormd. In het kort luidt de vraag: hangt de stand van de aardas samen met de opeenvolging van donkere en lichte lagen in de pliocene en pleistocene afzettingen zoals we deze in Zuid-Italië kunnen aantreffen, en, zo ja, hoe?

Het aardige is dat voor de beantwoording

van deze vraag diverse vakgebieden door elkaar lopen: geologie, paleoklimatologie, oceanografie en hydrologie.

Erik Tuenter heeft dit onderzocht, maar begint zijn proefschrift ongeveer aan de andere kant, namelijk bij de bewegingen die binnen de Wetten van Kepler en Newton zorgen voor het heen- en weerflieberen van de Kreefts- en de Steenbokkeerkring. Met een klimaatmodel is het effect van precessie en obliquiteit op de moesson in Afrika onderzocht. Even ter herinnering: precessie is de draaiing van de aardas en obliquiteit is de hoek van de aardas. We spreken van een precessieminimum als de aarde het dichtst bij de zon is. Denkt u aan een tol en het draait u voor de ogen. Welnu, uit het model komt dat tijdens een precessieminimum én tijdens een obliquiteitsmaximum de moesson sterker en noordelijker is dan tijdens de respectievelijke maxima en minima. Tuenter verklaart dit uitgebreid aan de hand van instraling, luchtstromen en vochttransporten vanaf de Atlantische Oceaan en uit Europa.

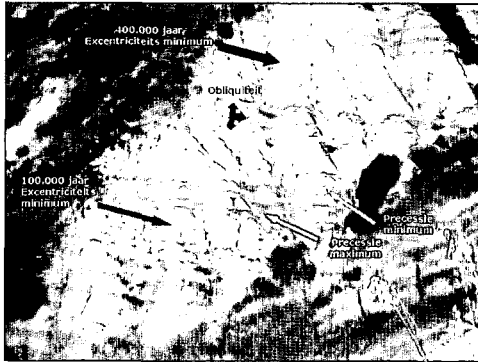
Nu wil het geval dat de laatste bestudeerde sapropeel vrij nauwkeurig op een ouderdom van 7.000–10.000 jaar kon worden geschat. (Het meest recente deel van de sapropeel is 7.000 jaar oud.) Dit is gemiddeld zo'n 3000 jaar na het precessieminimum. Ergo, het systeem lijkt achter te lopen. De vraag is of dit in het algemeen zo is, of dat dit alleen voor de laatste sapropeel geldt. De oplossing wordt wederom gezocht in een klimaatmodel, waaruit volgt dat er geen faseverschillen in de afvoer (neerslag) worden gevonden, noch door precessie, noch door verandering in obliquiteit. Wel wordt er een faseverschil van 1000–5000 jaar gevonden voor de wintertemperatuur boven Amerika: deze loopt achter, wat van invloed zou kunnen zijn op de circulatie van het Atlantische oceaanoewater. Kouder water is namelijk meestal zwaarder en zinkt. Tuenter oppert dat een zelfde mechanisme voor

de Middellandse Zee actief zou kunnen zijn geweest.

Vervolgens zijn de astronomisch gestuurde klimaatveranderingen in Europa bestudeerd. De verandering van de neerslag is in het najaar het sterkst, met een sterke neerslag tijdens een precessieminimum en een obliquiteitsmaximum.

Pollen in meerafzettingen in Griekenland vormen het volgende onderwerp van studie. Aan de hand van aantallen en soorten pollen kan iets worden gezegd over de hoeveelheid neerslag. Ook hier zien we een sterkere neerslag in het najaar en de winter tijdens een precessieminimum. De pollengegevens zijn helaas van een te korte periode om iets zinnigs te kunnen zeggen over een effect van obliquiteit.

De laatste vraag die nu beantwoord wil worden, is het effect van astronomisch gestuurde signalen op de circulatie van de Middellandse Zee. Zowel de Golf van Lyon als de Adriatische Zee zijn hierbij van belang, omdat daar diep water wordt gevormd, wat wil zeggen dat er daar een neerwaartse stroming is. Voor de vorming van sapropelen is van belang dat er geen verversing van water is, dus geen diepwatervorming. Twee situaties kunnen hiervoor zorgen: toename van Nijlafvoer (uit het zuiden) en toename van de najaarsneerslag boven de Middellandse Zee ('het noorden'). In beide gevallen wordt meer zoet water aangevoerd. Zoet water is lichter, en dus is er minder neerwaartse stroming, neemt de circulatie af en rot de zeebodem weg. Tuenters onderzoek levert op dat de Nijl slechts het oosten van de Middellandse Zee verzoet; maar dat is niet interessant, want daar is geen neerwaartse stroming. Blijft over het water uit het noorden, dat alleen voor verzoeting bij de mondingen zorgt. Dit is evenwel dicht in de buurt van de locaties waar het water neerwaarts stroomt, en kan wellicht zorgen voor het stoppen van de neerwaartse stroming.



Ruim 9 miljoen jaar oude sapropelen op Sicilië.
(Foto uit het proefschrift.)

Samenvattend is er volgens Tuenter geen afdoende verklaring voor het faseverschil tussen het laatste precessieminimum en de meest recente sapropeel. Het is niet duidelijk of de andere sapropelen ook uit fase lopen. Simulaties van riverafvoeren laten zien dat niet de Nijl maar het water uit het noorden van invloed is op de vorming van sapropelen. Dit is in tegenstelling tot de meest geaccepteerde hypothese, zo sluit het proefschrift af.

Michael van der Valk

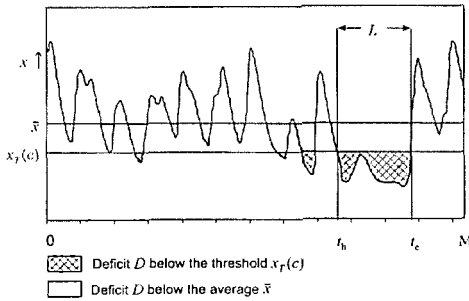
Propagation of Droughts Through Groundwater Systems, illustrated in the Pang (UK) and Upper-Gudiana (ES) catchments

door Elisabeth Peters, 2002, proefschrift Wageningen Universiteit, Wageningen.

Je staat er niet vaak bij stil, maar in economische zin is droogte één van de kostbaarste catastrofes ter wereld. Aan de VS, bijvoorbeeld, brengt droogte meer schade toe dan overstromingen of hurricanes. Het zou me niet verbazen als ook bij ons droogteschade – over een wat langere termijn beschouwd – de kosten van overstromingen overtreft. Maar droogte is niet mediageniek. Het komt sluipend. Het is een fenomeen dat ook niet zo gemakkelijk te definiëren is.

Voor een wandelaar die zich afvraagt of hij zijn paraplu thuis kan laten is droogte heel iets anders dan, zeg, voor een tuinder. Iemand die voor zijn drinkwater van een gegraven put afhankelijk is ervaart droogte als de grondwaterspiegel beneden de putbodem zakt. Voor aquatisch leven is droogte een ramp als een rivier opdroogt. Een beheerder van een waterreservoir maakt zich pas zorgen als zijn reservoir dreigt leeg te raken. Maar ook al komt droogte in soorten en maten, hij is altijd terug te voeren op de statistiek van de meteorologische tijdreeksen. Net zoals regenbuien te volgen zijn op hun weg door het hydrologische systeem, zo is ook een droogte te volgen.

Het is alweer een poosje geleden, maar op 2 december 2003 promoveerde Elisabeth Peters in Wageningen bij professor Reinder Feddes op het proefschrift 'Propagation of Drought Through Groundwater Systems'. Dr. Henny van Lanen was haar copromotor. Zoals de titel van haar proefschrift aangeeft heeft Lies Peters vooral gekeken naar de voortplanting van droogten in grondwatersystemen; een aspect dat in het wetenschappelijke droogteonderzoek tot nu toe onderbelicht is gebleven. Tijdens de reis van het maaiveld naar het uitstroompunt van een afwateringsgebied veranderen de statische kenmerken van een droogte. Die veranderingen worden bepaald door de hydrologische eigenschappen van het systeem, en ze kunnen dus vanuit die optiek bestudeerd worden. Zo'n studie begint met een criterium voor droogte. Het moet een criterium zijn dat op zowel neerslag (m/d) als grondwater (m) als beekafvoer (m³/d) van toepassing is, want dat is de transformatie die een droogte ondergaat als hij zich door een grondwatersysteem voortplant. Het criterium dat Peters introduceert is niet moeilijk, maar het is haast ondoenlijk om het uit te leggen zonder een plaatje, dus tegen het gebruik in neem ik in deze boekbespreking een grafiek op (figuur 1).



Figuur 1.

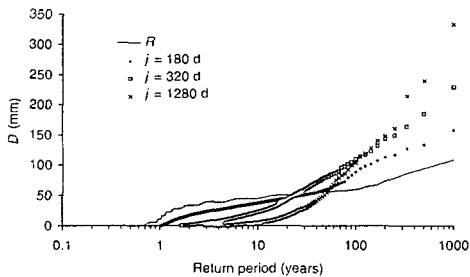
Voor een willekeurige tijdreeks (hij mag van alles voorstellen) wordt een drempelwaarde gedefinieerd. De oppervlakte van de grafiek onder de drempelwaarde (kruislings gearceerd) wordt door droogteonderzoekers het droogtetekort beneden de drempel genoemd. Wel een aparte naam, vind ik; er is immers eerder sprake van een overschot aan droogte. De verhouding tussen de kruislings gearceerde oppervlakte en de grijs gearceerde oppervlakte definieert Peters als het droogtecriterium, aangeduid met de letter c . Het is wel duidelijk dat c altijd tussen 0 en 1 ligt, en dat het criterium strenger is naarmate c kleiner is. De drempelwaarde hangt dus af van c , en zal in het algemeen voor verschillende reeksen een verschillend getal zijn. Dat doet recht aan de intuïtieve eis dat droogte een betrekkelijk begrip moet zijn. Het mag niet te vaak voorkomen. Het zorgt er ook voor dat het droogtetekort groter is als de amplitude van de reeks groter is. Aan de andere kant is het een abstract criterium, in die zin dat er geen directe koppeling is met schade of hinder.

Een droogte is een aaneengesloten periode waarin de tijdreekswaarden onder de drempel vertoeven. In figuur 1 zijn dus vier droogten te onderscheiden. Een droogte heeft ook een duur, L . Het droogtetekort en de duur zijn wispelturige parameters: als in figuur 1 de drempel een fractie lager gekozen wordt, valt de grootste droogte uiteen in twee kortere droogten die ieder hun eigen droogtetekort hebben.

Als vingeroefening verkent Peters eerst hoe een droogte in een synthetische aanvullingsreeks tot uiting komt in de afvoer van een denkbeeldig lineair grondwaterreservoir van de eerste orde. Een bloempot, zeg maar. De aanvullingsreeks is een gekwadraterde sinus, waarvan één jaar een verkleind amplitude meekrijgt. Dit is dus de droogte. Eén droogte. De manier waarop de afvoer reageert blijkt af te hangen van de ernst van de droogte in de aanvullingsreeks en van de keuze van het droogtecriterium, maar het komt er kort samengevat op neer dat het droogtetekort in de afvoer het grootst is voor reservoirs met een reservoirfactor van circa 200 dagen. Laat ik eens een poging doen om dit te vertalen naar Nederlandse omstandigheden. De reservoirfactor is ruwweg gelijk aan de drainageweerstand. De drainageweerstand (in dagen) is ruwweg gelijk aan de slootafstand (in meter). Tweehonderd meter, dat is in Nederland een heel gangbare perceelsbreedte. Verdorie, zou de grondwaterafvoer in Nederland maximaal droogtegevoelig zijn? En wat zegt dat dan? In hoog Nederland, waar geen wateraanvoer mogelijk is, leidt dit tot een maximale kans op droogvallende sloten. Maar dat is juist gunstig uit een oogpunt van verdroging, want daarna wordt er haast geen grondwater meer afgevoerd. In west-Nederland, waar wel wateraanvoer mogelijk is, leidt het in droge tijden tot een minimale kwel. In brakke gebieden is dat een voordeel, want het scheelt doorspoelwater. Een lastig begrip, droogte. De definitie van Peters is helder, maar hoe zit het met de gevoelswaarde?

De volgende stap is een onderzoek naar het gedrag van niet één, maar een hele reeks van droogten. Hiervoor genereert Peters tien duizendjarige tijdreeksen van de grondwateraanvulling, gebaseerd op de statistiek van een 37-jarige waarnemingsreeks van het neerslagoverschot in het

stroomgebied van de Pang in Engeland. Het grondwatersysteem is nog steeds het denkbeeldige lineaire reservoir. Peters bestudeert met name hoe vaak een droogte met een bepaald droogtetekort of een bepaalde duur voorkomt in de afvoer, in vergelijking met de aanvulling. Ook hier denk ik dat een plaatje meer zegt dan woorden.



Figuur 2.

Figuur 2 geeft de cumulatieve frequentie van optreden van droogten in reservoirs van verschillende omvang (verschillende j 's) als functie van het droogtetekort D . De getrokken lijn slaat op de aanvulling. Het blijkt dat droogten kleiner dan circa 50 mm minder vaak voorkomen in de afvoer dan in de aanvulling. Die tendens is des te sterker naarmate het grondwatersysteem trager is. Grote droogten komen juist vaker voor, en wel het vaakst in de trage systemen. Dit komt doordat in grotere systemen afzonderlijke droogten de neiging hebben om in elkaar op te gaan om grotere droogten te vormen. Het aantal kleine droogten neemt daardoor af, terwijl het aantal grote droogten toeneemt. Ik heb het gevoel dat dit effect erg veel te maken heeft met de manier waarop in dit proefschrift droogte gedefinieerd is. Het opgaan van kleinere droogten in een grotere heeft immers alles te maken met de keus voor een drempel-methode (figuur 1). Ik kan me moeilijk voorstellen dat het tamelijk dramatische samenvloeien van twee kleine droogten in één grotere ook een opmerkelijke verandering oplevert in de manier waarop droogte

door mensen beleefd wordt.

Welk systeem is nu droogtebestendiger? Dat hangt van het droogtetekort af. Om voor een oordeel niet afhankelijk te zijn van tamelijk ingewikkelde plaatjes als figuur 2 introduceert Peters een prestatie criterium dat de prestatie van een stroomgebied ten aanzien van droogte samenvat in één getal. Bij de berekening wordt aan verschillende frequenties van voorkomen een verschillend gewicht toegekend. Het komt erop neer dat de totale prestatie weer het laagst is voor middelgrote grondwatersystemen.

De derde stap is een onderzoek naar de ruimtelijke verdeling van droogten. Daarvoor is het stroomgebied van de Pang gemodelleerd in MODFLOW. Nu komt dus eindelijk ook – en zelfs voornamelijk – de grondwaterstand in beeld. Aangezien er maar één systeem bestudeerd wordt, vervalt de traagheid van het systeem als vergelijkingsparameter. Daar staat tegenover dat nu het verloop van de grondwaterstand in verschillende punten vergeleken kan worden. Twee historische droogten, die van 1991–92 en die van 1976, worden nader geanalyseerd. Het ruimtelijke patroon van het droogtetekort blijkt zo sterk te correleren met de grondwaterstand dat andere invloeden, zoals ruimtelijke variaties in de grondwateraanvulling, volledig gemaskeerd worden. Daarom normaliseert Peters de tijdreeksen door de grondwaterstanden te delen door hun standaardafwijking. Zo vervalt een intuïtief aantrekkelijke eigenschap van het begrip droogtetekort. Ik zou althans niet meer kunnen zeggen of een plek waar het genormaliseerde droogtetekort groter is er ook werkelijk ernstiger aan toe is. Hoe dan ook, het normaliseren heeft geen invloed op het opgaan van kleinere droogten in grotere. Het blijkt dan ook dat plekken dicht langs een rivier gevoeliger zijn voor korte droogten, terwijl plekken die ver van de systeemgrenzen af liggen gevoeliger zijn voor langdurige droogten in de

grondwateraanvulling. De vondst dat de droogte in een grondwatersysteem van plek tot plek verschilt, lijkt voor de gemeenschap van droogteonderzoekers als een verrassing te komen.

Hiermee zijn, denk ik, de kernthema's van het promotieonderzoek besproken. Zoals u uit de titel van het proefschrift heeft kunnen afleiden is er ook onderzoek gedaan aan een grondwatersysteem in Spanje. In het semi-aride klimaat zijn de seizoenen veel minder geprononceerd aanwezig in de grondwateraanvulling. Er treden dan ook veel gemakkelijker meerjarige droogten op. Verder is er gekeken naar de invloed van niet-lineariteit.

Uit al mijn commentaar mag u niet afleiden dat ik de studie matig vond. Omdat het om echt pionierswerk gaat, komen er nu eenmaal veel vragen op. De promovenda plaatst zelf ook kanttekeningen bij haar werk. Ze eindigt met de constatering dat grondwaterdroogte een dermate dynamisch begrip is dat het waarschijnlijk beter is om het niet onder één noemer te willen vangen. Bij een praktische definitie zou beter gesproken kunnen worden van droogte in grondwateraanvulling, -stand of -afvoer. Wat mij betreft zou er ook een sterkere relatie gezocht kunnen worden met de gevoelsmatige ernst van een droogte.

Ondanks dit enigszins open einde kan gesteld worden dat Lies Peters een belangrijke bijdrage heeft geleverd om orde in de chaos te scheppen, door een systematisch overzicht te geven van de verandering van droogten als gevolg van voortplanting door een reeks grondwatersystemen. Haar proefschrift werd met een heel mooi cijfer beloond.

Kees Maas

Urban Groundwater Pollution

door David N. Lerner; International Contributions to Hydrogeology 24, International Association of Hydrogeologists, A.A. Balkema, Lisse, 2004, 277 pag, gebonden, ISBN 90-5809-629-7, € 94,34.

Soms kost het wat moeite om een boek wat ter bespreking is aangeboden een plaats te geven in mijn referentiekader. Dat is zeker ook het geval bij 'Urban Groundwater Pollution'. Het is geschreven door David N. Lerner die op het schutblad slechts 'editor' blijkt te zijn. Het is uitgegeven door de International Association of Hydrogeologists. De voorkant is blauw met zwart en er staat een nummer 24 op. Het is best wel dik. Voorzichtig sla ik het open, en dan moet ik mijzelf al gelijk verbeteren: de uitgever is A.A. Balkema, maar UNESCO schijnt er ook achter te zitten.

Het voorwoord scheidt duidelijkheid. UNESCO heeft op een gegeven moment geconstateerd dat het de moeite waard was om de stedelijke grondwaterproblematiek afzonderlijk te bestuderen. En dus werd er een werkgroep geformeerd onder UNESCO IHP-V project 3.4, om een state-of-the-art rapport op te stellen. In september 1997 vond in Nottingham de inaugurale ontmoeting plaats (ik vertaal maar even letterlijk), waar overeenstemming werd bereikt over de opzet van het boek. In Kaapstad werd drie jaar later een tweede bijeenkomst gehouden, waarna het boek tot stand kwam.

Het voorwoord wijst op de tweedeling in het boek: hoofdstukken 1 t/m 3 geven een overzicht, waarna in hoofdstuk 4 t/m 9 de case studies aan bod komen. Men hoopt dat het boek waardevol zal zijn voor drie groepen:

- 1 hydrologen, die kunnen zien hoe andere hydrologen stedelijke hydrologie hebben beschouwd;
- 2 stedebouwkundigen en drinkwateringe-

nieurs, vanwege het 'nieuwe perspectief' wat het boek zou bieden op de vaak schadelijke effecten van steden op grondwater;

- 3 studenten van diverse studierichtingen, die een bron van begrip en case-studies vinden ten aanzien van de complexe interacties in stedelijk gebied.

Het boek blijkt uiteindelijk door een twintigtal auteurs bij elkaar te zijn geschreven. Hoofdstuk 1 kent een voornamelijk Nederlandse inbreng van onder meer Willem Jan Zaadnoordijk, Cors van den Brink en Kees van den Akker. Onder de titel 'Values and functions of groundwater under cities' wordt een overzicht gegeven van de functies van een stad, en de gevolgen voor het grondwater. Woningbouw, landbouw, industrie, recreatie, transport, commerciële en sociale faciliteiten worden onderscheiden, en vervolgens wordt de vraag gesteld wat er gebeurt als "the relationship gets out of balance". Het antwoord luidt: verontreiniging. Er volgen drie voorbeelden van de problematiek in respectievelijk Hat Yai (Thailand), Santa Cruz en Barcelona, waarna men over gaat tot de basisbeginzelen van de grondwaterstroming. Daarna komen er opnieuw drie voorbeelden aan de orde, ditmaal van: Rotterdam (het krakemikkige kaartje is blijkbaar niet door een landgenoot gemaakt: de stad wordt het ergens ter hoogte van Goeree aangeduid), Cebu (Filipijnen) en Merida (Mexico). Hoe met deze problematiek om te gaan? De volgende paragraaf heet 'Management', maar gezien het feit dat de daarop volgende paragraaf 'Management in practice' heet, hoeven we daar niet al te lang bij stil te staan. Hoofdstuk 1 sluit af met een korte samenvatting, waarin het belang van goed grondwater nog eens wordt onderstreept, waarbij goed onderzoek niet voldoende is: er moeten ook goede maatregelen worden genomen.

In hoofdstuk 2 beschrijft Mike H. Barrett de karakteristieken van stedelijk grondwater. Hij maakt daarbij onderscheid naar de fase van ontwikkeling van steden. Volgroeide industriële steden hebben een andere problematiek dan mega-steden als Jakarta, of een snel groeiende stad als Nairobi. In de loop van het beschreven ontwikkelingsproces veranderen de watervoorziening, het menselijk afval, regenwaterafvoer en vervolgens ook industriële lozingen en verontreinigingen. Deze veranderingen beïnvloeden de hoeveelheid (regen)water die in de bodem infiltreert, alsmede de kwaliteit van het grondwater. De bijdrage is op zich zeer lezenswaardig, maar het is jammer dat het zo karig geïllustreerd is. Het is nu wel een beetje een brei van woorden, met welgeteld één foto van een huis in Oost-Afrika.

In hoofdstuk 3 komen dan de soorten verontreiniging aan bod. Zes auteurs hebben zich aan dit hoofdstuk geweid, en dat is te merken. Voor mijn gevoel ligt hier de kern van het boek, wat zich onder meer uit in de omvang van het hoofdstuk: met ruim 50 pagina's beslaat het ongeveer een kwart van de gehele omvang.

De verontreinigingen worden eerst geordend naar herkomst: afvalwater, vast afval, industriële lozingen en stedelijk 'stormwater'. Alle afvalstromen worden nauwkeurig beschreven. Zo leer ik dat de wasmachine de voornaamste bron van nitraat in het afvalwater is. Ook bacteriële en virale verontreinigingen worden in het boek genoemd. Vanaf paragraaf 3.6 doorbreekt men de structuur van ordening naar herkomst, en heeft men het opeens over soorten verontreiniging: koolwaterstoffen (verbreiding en afbraak komt hierbij aan de orde), nutriënten, pesticiden en wegeenzout worden behandeld. Paragraaf 3.10 beschrijft hoe een verontreiniging onderzocht moet worden, waarna in paragraaf 3.11 specifiek op het onderzoek naar NAPL's wordt ingegaan.

Urban Groundwater Pollution

- 1 Values and Functions of Groundwater under Cities
 - 2 Characteristics of Urban Groundwater
 - 3 Sources, Types, Characteristics and Investigation of Urban Groundwater Pollutants
 - 4 Mature Industrial Cities
 - 5 Rapidly-Urbanising Arid-Zone Cities
 - 6 Urban Areas of Sub-Saharan Africa: Weathered Crystalline Aquifer Systems
 - 7 Cities Overlying Karst and Karst-like Aquifers
 - 8 Groundwater Management in Urban Alluvial Aquifer Systems: case studies from three continents: Agadir, Lima, and Los Angeles
 - 9 Shallow Porous Aquifers in Mediterranean Climates
-

De hoofdstukken 4 t/m 9 zijn vervolgens case-studies, verdeeld over de hoofdstukken:

- volgroeide industriële steden;
- snel ontwikkelende steden in aride gebieden;
- stedelijke gebieden in Afrika ten zuiden van de Sahara;
- steden in karst-gebieden;
- stedelijk grondwatermanagement in alluviale gebieden;
- ondiepe aquifers in mediterraan klimaat.

Er worden legio voorbeelden aangedragen, van Nottingham tot Sana'a in Yemen of van Agadir in Marokko tot Lima. Ik moet zeggen dat het gehop over de wereldbol mij lichtelijk doet duizelen.

Toen ik het boek ontving, stond het me tegen. De aanleiding om het te maken lijkt me nogal dun: een groepje deskundigen nemen een initiatief, en zijn vrij summier over hun bedoeling. Dat men denkt dat het boek waardevol kan zijn, rechtvaardigt mijns inziens niet per definitie een dergelijke investering. Het boek leidt ook niet echt ergens naar toe, en het is voor een recensent niet leuk als er geen overall samenvatting bij zit (het liefst in het

Nederlands, zoals bij te bespreken proefschriften het geval is).

Gaandeweg begon ik er echter wel lol in te krijgen. Met name het overzicht zoals dat in hoofdstuk 3 wordt geschetst, oogt behoorlijk grondig. Voor iemand die snel een beeld van de problematiek wil hebben, geeft dit boek zeker handvaten. Alleen is het jammer dat het daar bij blijft. Het boek beschrijft het probleem, en niet de oplossingsrichting of hoe het probleem te voorkomen. De gezochte wereldwijde spreiding van voorbeelden leidt voor mij meer af dan dat het een doel, een boodschap dient.

Getoetst aan de in het voorwoord gestelde doelen, geloof ik niet dat collega-hydrologen veel zullen leren van dit boek: het werk van collega's wordt te oppervlakkig besproken om er inspiratie uit te putten. Voor stedenbouwkundigen biedt het boek geen nieuw perspectief, omdat het teveel in de probleembeschrijving blijft hangen en te weinig de boodschap van de preventie predikt. Voor studenten zie ik wel de waarde van dit boek, omdat het een effectief overzicht geeft van de problematiek, met in de case-studies ruim voldoende illustratie ervan. Maar ik twijfel nog steeds of dat allemaal de gepleegde inspanning in tijd en geld rechtvaardigt.

Harry Boukes

Geheim van het Getij

door R.G.W. Hisgen en R.W.P.M. Laane;
paperback, 2004, 904 blz, € 19,90, SDU
Uitgevers, Den Haag, ISBN 90 1210 637 0.

Al eeuwen houden de getijden ons in Nederland bezig. Rijkswaterstaat heeft het boekje 'Geheim van het Getij' uitgebracht, waarin alle geheimen van de getijdebeweging worden verklapt.

Het getij en de mens

Wie in West-Europa aan de kust zijn beroep of hobby uitoefent, houdt rekening met het getij. Garnalenvissers wachten op hoogwater voordat ze in actie komen, terwijl wadlopers juist tijdens laagwater hun oversteek plannen. Bij het aanlopen van diepgeladen zeeschepen houden loodsen het getij nauwlettend in de gaten en ook sluismeesters, oesterkwekers en waterschappen maken dagelijks gebruik van de voorspellingen van het getij.

In de Bello Gallico beschrijft Julius Caesar hoe hij in 55 voor Christus na een landing op de Britse kust bij Dover, zijn oorlogsbodems op het strand liet slijpen en de vrachtschepen voor de kust liet ankeren. Omdat de Middellandse Zee geen getijdebeweging heeft, kende hij als Romein het fenomeen nauwelijks en werd hij onaangenaam verrast door een combinatie van hoogwater en storm. Nog voor ook maar een slag te hebben geleverd verspeelde hij daardoor een belangrijk deel van zijn vloot.

Het samenzwerven van hoogwater en storm heeft ook in ons land voor heel wat ellende gezorgd, bijvoorbeeld de Sint Elizabeth-vloeden in 1404, 1421 en 1224, de Sint Felix-vloed uit de zestiende eeuw of de watersnoodramp in 1953. Op 1 februari van dat jaar zou een normaal hoogwater bij Hoek van Holland 80 cm hebben bedragen, terwijl het water door de wind en het getij toen tot bijna 4 meter NAP omhoog kwam.

In de onderstaande tabel staan enkele maximale getijverschillen. Het staat niet vermeld in het boekje, maar in de Bay of Fundy wordt door het getij tweemaal per dag meer water verplaatst dan alle rivieren ter wereld samen dagelijks naar zee afvoeren. Door het Marsdiep gaat per getij 1 miljard kubieke meter water met een gemiddelde snelheid van ongeveer 1 m/s. Daarbij dringt het water uit de Noordzee met één getij ruim 20 kilometer de Waddenzee binnen.

land	plaats	maximaal getijverschil (m)
Canada	Bay of Fundy	16,2
Frankrijk	Port de Ganville	14,7
Engeland	Severn Estuary	14,5
Frankrijk	La Ranche	13,5
Rusland	Penzhinskaya Guba (Zee van Ochotsk)	13,4
Argentinië	Puerto Rio Gallegos	13,3
Rusland	Bay of Mezen (Witte Zee)	10,0

Uit een Grieks gedicht blijkt dat al in 85 voor Christus gebruik werd gemaakt van stromend water om energie op te wekken voor het malen van graan met een watermolen. De oudst bekende getijdemolens bevonden zich in Engeland; ten zuiden van de Severn en de Trent stonden in de twaalfde eeuw meer dan vijfduizend van dergelijke exemplaren. In Hamburg werden tot de negentiende eeuw grote getijraderen gebruikt om rioolwater weg te malen. En van de zestiende eeuw tot de negentiende eeuw gebruikte men in de Engelse hoofdstad de getijderaderen onder de London Bridge om pompen aan te drijven voor de zoetwatervoorziening van de stad. In Bretagne, bijvoorbeeld bij St. Malo, zijn moderne getijdencentrales te vinden.

Het getij, een historisch overzicht

Sinds mensenheugenis zijn er allerlei theorieën bedacht om het getij te verklaren. In India vermoedde men in de vierde eeuw voor Christus dat het water in de zee werd opgewarmd door de zon en de maan en daardoor uitzette. Andere bronnen dachten aan het ademen of de hartslag van een zeegod. De Griekse filosofen hielden zich indirect bezig met het getij, door reizen van onder andere Alexander de Grote naar

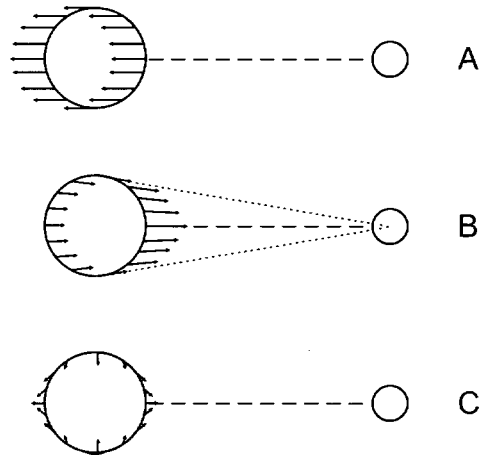
verre kusten waar wel getij was. Toen al wist men een verband te leggen met de cyclus van de maan. In zijn *Naturalis Historica* voegde Plinius de Oude daar als eerste aan toe dat de getijgolf op diepe zee vrij spel heeft, terwijl ondiepe kusten de golf doen vertragen, zodat op verschillende plaatsen langs de kust het getij daardoor een andere vorm heeft. Tijdens de Renaissance hebben Copernicus, Federico Grogone van Zara, William Gilbert, Bacon, Galilei en Kepler over het getij gepubliceerd. Tenslotte heeft Newton in 1687 in slechts een paar pagina's van zijn *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* het verschijnsel volledig verklaard met behulp van zijn theorie over de zwaartekracht en de basiswetten van de mechanica. De Fransman Pierre Simon, Marquis de Laplace bedacht vervolgens een wiskundige methode om het getij te beschrijven.

Het getij verklaard

In het derde hoofdstuk van het boekje wordt, aan de hand van duidelijke tekeningen, stapsgewijs uitgelegd hoe het zit met het getij. Het blijkt een samenspel te zijn van de zwaartekracht op aarde, de centrifugale kracht van de draaiing van de aarde en de maan om hun gemeenschappelijk zwaartepunt, de aantrekkingskracht van de maan (figuur 1) en de aantrekkingskracht van de zon.

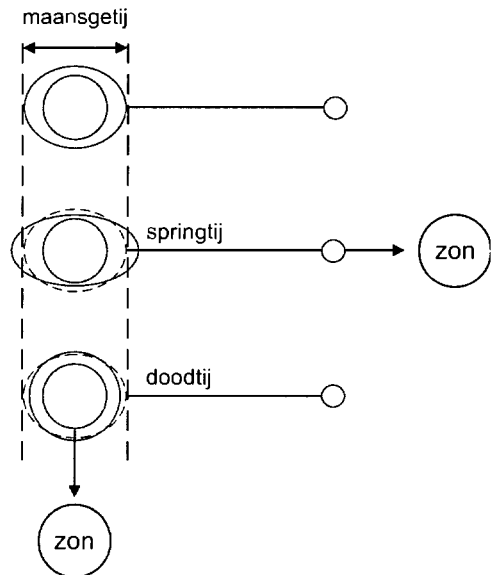
De invloed van de zon is vergelijkbaar met die van de maan. De beide invloeden versterken en verzwakken elkaar bij respectievelijk springtij en doottij (figuur 2).

Omdat de baan die de maan om de aarde beschrijft geen perfecte cirkel, maar een ellips is, staat de maan niet altijd even ver weg van ons. In het perigeum, dat is het moment dat de maan het dichtst bij de aarde staat, is de aantrekkingskracht 20% groter dan in het apogeum, als de maan het verste van de aarde is verwijderd.



Figuur 1: Krachtenschema van de aarde en de maan, met:

- A: centrifugale kracht;
- B: zwaartekracht van de maan en
- C: de resultante van A en B.

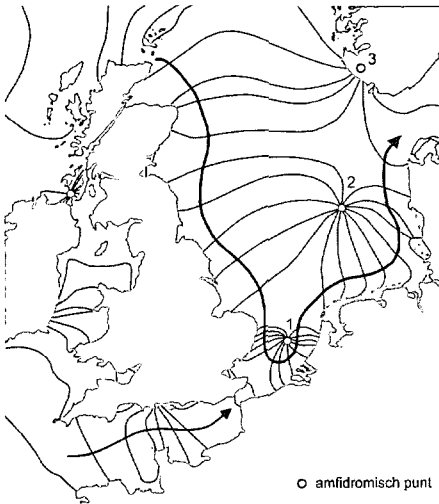


Figuur 2: Krachtenschema van de zon en de maan op de aarde.

Hetzelfde geldt voor de baan van de aarde om de zon. Al deze verschijnselen bij elkaar opgeteld zorgen ervoor dat het getij weliswaar regelmatig verloopt, maar er ook verschillen in amplitudes van het getij voorkomen.

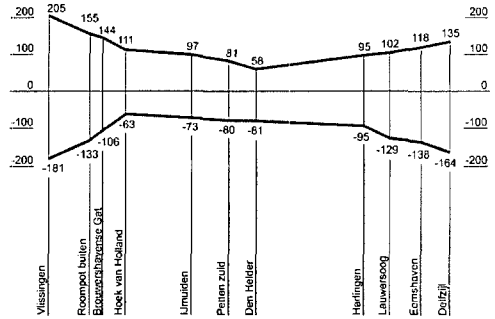
Voor eenvoudige hydrologen zoals ondergetekende, wordt het bijkans nog ingewikkelder als de begrippen precessie, schrikkeljaar, declinaties van de maan en de zon, het eclipticavlak, draconitische en anomalistische maanden, verbindingslijn tussen het lente- en herfstpunt en de jaarlijkse variatie en de 8,85 jarige cyclus worden uitgelegd...

In de praktijk hebben ook de ligging van de continenten en de vorm van de kusten invloed op de getijdebeweging op aarde. Hetzelfde geldt voor de diepte en de vorm van de oceanen. De getijgolf ontwikkelt zich op het zuidelijk halfrond, omdat zich daar minder continenten bevinden en de oceanen voor een deel niet door land worden onderbroken, de zogenaamde hindernisvrije band. De golf verplaatst zich naar het noorden, waarbij hij wordt afgeremd als de diepte van de oceaan minder wordt. Bij Schotland aangekomen buigt de golf door de Corioliskracht naar de Engelse kust en maakt in het Noordzeebekken een rondje tegen de klok in (figuur 3).

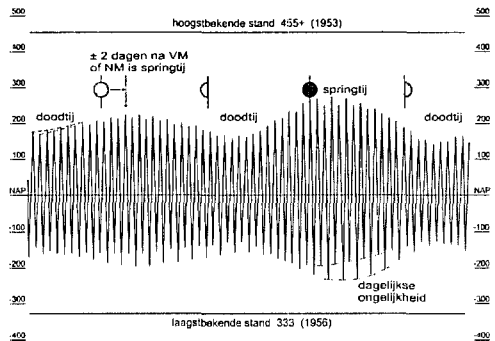


Figuur 3: Voortplanting van het getij in de Noordzee.

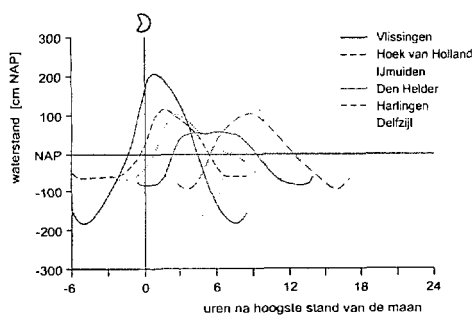
Bij Nederland is de leeftijd van de golf dan al zo'n twee à drie dagen. In figuur drie zijn vanuit de amfidromische punten, dit zijn punten waar geen verticale getijdebeweging merkbaar is, de lijnen getekend waar het hoogtepunt van het getij op hetzelfde moment plaatsvindt. De duur en hoogtes van het hoog- en laagwater op de verschillende plaatsen langs de Nederlandse kust verschillen sterk van elkaar (figuur 4, 5 en 6).



Figuur 4: Gemiddeld hoog- en laagwater langs de Nederlandse kust (cm t.o.v. NAP).



Figuur 5: Voorbeeld van het verloop van de getijdenbeweging bij Vlissingen gedurende een maand (cm t.o.v. NAP).



Figuur 6: Verloop van de gemiddelde getijkromme langs de Nederlandse kust.

Vanuit aardwetenschappelijk oogpunt bezien vond ik het meest opmerkelijke feit dat in het boek genoemd wordt, dat de bodem van de Noordzee ten gevolge van de verschillen in waterhoogten door de beweging van het getij ongeveer 17 centimeter op en neer beweegt.

Het getij meten

De Nederlandse historie van het bijhouden van de waterstanden begon op Nieuwjaarsdag 1700 in het IJ bij Amsterdam, bedoeld voor peilhandhaving in het grachtenstelsel van Amsterdam. Het streefpeil was gelijk aan het gemiddeld hoogwater op het IJ, de oorsprong van het huidige NAP. Van 1737 tot 1741 en in 1766 en 1767 zijn waterstandsmetingen verricht bij Katwijk aan Zee. Dit werd gedaan in het kader van het plan om de monding van de Oude Rijn te herstellen, hetgeen in 1807 ook daadwerkelijk werd gerealiseerd.

Rond 1800 ontstond het idee van een vlotter in een put die met een pijpje in open verbinding met het te bemeten water stond. In de eerste helft van de negentiende eeuw werd hieruit de peilschrijver ontwikkeld, waarbij met een stiftje over een papier op een ronddraaiende trommel wordt bewogen. De eerste peilschrijver werd in 1850 bij Den Helder in gebruik genomen.

Tegenwoordig wordt in het kader van het

Monitoring Systeem Water door Rijkswaterstaat op 173 locaties de waterstand gemeten.

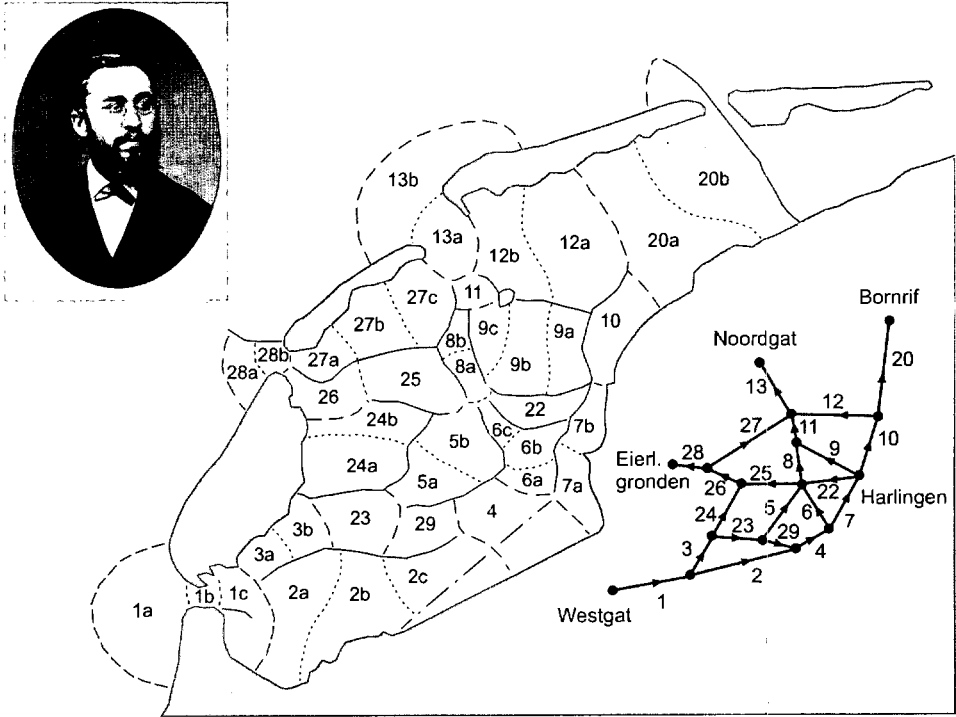
Het getij voorspellen

Sinds de elfde eeuw na Christus worden getijtafels opgesteld om de beweging van het getij te voorspellen. Voor zeelui werd deze informatie opgenomen in een handzaam boekje, de almanak. In het Rijksmuseum wordt een deel van een almanak uit 1596 bewaard, dat is gevonden in het Behouden Huys op Nova Zembla. Men vermoedt dat het om de tweede jaargang van de Enkhuizer Almanak gaat.

In het Geheim van het Getij worden twee methoden om het astronomisch getij te voorspellen uitgelegd, de culminatiemethode die eerst in Nederland werd toegepast, en de harmonische analyse, die hier sinds 1985 wordt gebruikt.

Naar aanleiding van de stormvloed in 1916 besloot de Nederlandse regering om de Zuiderzee af te sluiten. Om de gevolgen op de omgeving in beeld te brengen werd er een commissie geïnstalleerd onder leiding van de Nobelprijswinnaar voor Natuurkunde, Hendrik Antoon Lorentz (1853–1928). Deze commissie schematiseerde de Waddenzee in een één-dimensionaal stelsel van geulen (figuur 7) en op basis van de vergelijkingen van Saint-Venant konden de waterstanden handmatig worden berekend.

Elke berekening kostte een goede rekenaar minimaal twee maanden en alle sommen werden, om mogelijke rekenfouten te voorkomen, minstens dubbel uitgevoerd. Het verschil tussen de modellering van Lorentz cum suis en de huidige modellen laat slechts een afwijking zien van 20 centimeter. Voor het gestelde doel was de berekening voldoende nauwkeurig. Aardig detail is dat de sluisen in de Afsluitdijk bij het Kornwerderzand naar Lorentz zijn vernoemd.



Figuur 7: Lorentz en zijn schematisatie van de westelijke Waddenzee.

Rijkswaterstaat ging verder met het werk van Lorentz. Voor de plannen die vooruitliepen op de Deltawerken werden zo'n 300.000 uren aan rekenen besteed. In 1947 is op schaal een model gebouwd van het Noordelijk Deltabekken, met echt stromend water. In 1954 rekende men voor het eerst met een elektrisch analagon, een netwerk van weerstanden en condensatoren, waarop het getij als randvoorwaarde werd gezet door wisselstroom. Dit model werd opgevolgd door een snellere analoge computer, de DELTAR, die tot 1983 in gebruik bleef. Vanaf dat moment wordt alleen nog maar gebruik gemaakt van digitale computers. Omdat het werkelijk optredend getij ook afhangt van het weer wordt ook de weersverwachting in de modellen meegenomen.

Conclusies

Het Geheim van het Getij vind ik zonder meer een geslaagd boekje. Er worden op een prettige manier heel veel feitjes en weetjes gepresenteerd, over een mij fascinerend onderwerp, terwijl er ook een duidelijke verhaallijn te onderscheiden blijft. De teksten worden verduidelijkt door tekeningen en mooie kleurenfoto's. Een paar van de foto's zijn echter wazig gemaakt met de computer en dat is naar mijn mening toch een beetje zonde. De opbouw van het boek is logisch en het kan daardoor ook goed gebruikt worden als naslagwerk.

Terwijl ik het boek las raakte ik onwillekeurig onder de indruk van het getij, met name van de historische zoektocht naar de verklaring en de ongelooflijke hoeveelheid energie die er voor nodig is om al dat water in beweging te zetten, elke halve dag weer

opnieuw. Ik vraag me af waarom we in Nederland niet gebruik gaan maken van getijde-energie. Er zijn plannen om windmolenparken in zee te bouwen, terwijl het getij een veel meer constante en voorspelbare beweging kent dan de wind. Door de veel grotere dichtheid van water heeft het getij ook een belangrijk energetisch voordeel ten opzichte van wind. Waarom niet een paar pontons vastprikken in het Marsdiep of gewoon voor de kust, plek genoeg lijkt me, en wat flinke turbines eronder hangen? Dat zou bijvoorbeeld ook kunnen in de Stormvloedkering in de Oosterschelde of in de opening die Rijkswaterstaat van plan is te maken bij het Volkerak-Zoommeer. Gedempt getij, prachtig ambtelijk mode-woord, maar waarom niet dempen met een getijdencentrale...?

*Frank Smits**
