

---

### 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 sjoorren 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

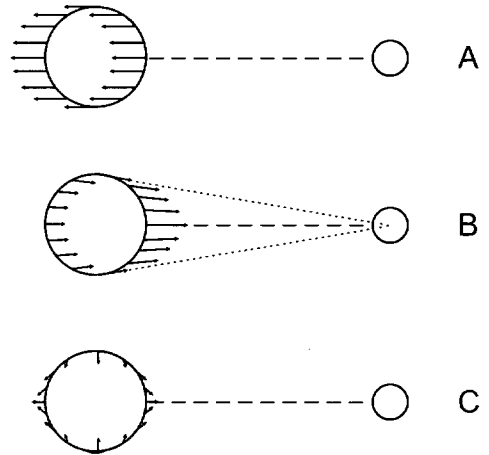
verre kusten waar wel getij was. Toen al wist men een verband te leggen met de cyclus van de maan. In zijn *Naturalis Historica* voegde Plinius de Oude daar als eerste aan toe dat de getijgolf op diepe zee vrij spel heeft, terwijl ondiepe kusten de golf doen vertragen, zodat op verschillende plaatsen 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.

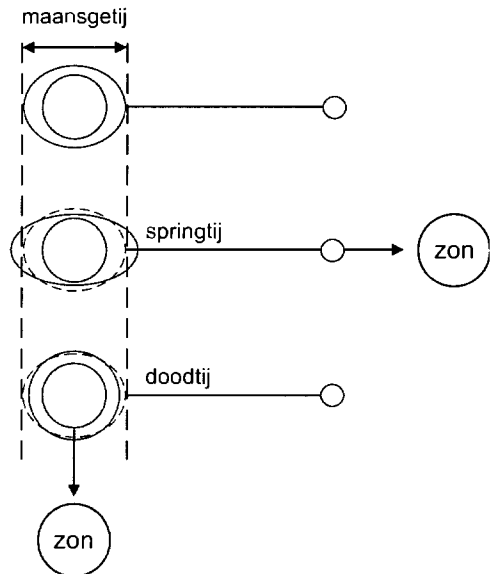
De invloed van de zon is vergelijkbaar met die van de maan. De beide invloeden versterken en verzwakken elkaar bij respectievelijk springtij en doottij (figuur 2).

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.

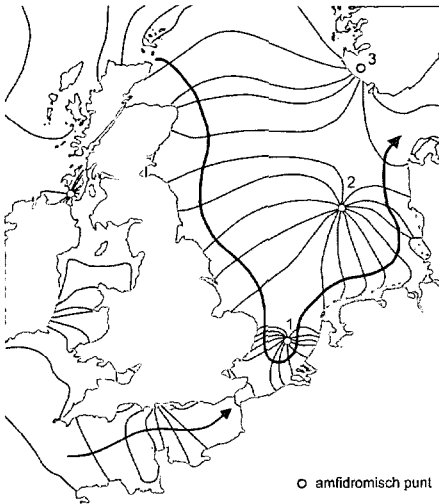


**Figuur 2:** Krachtenschema van de zon en de maan op de aarde.

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.

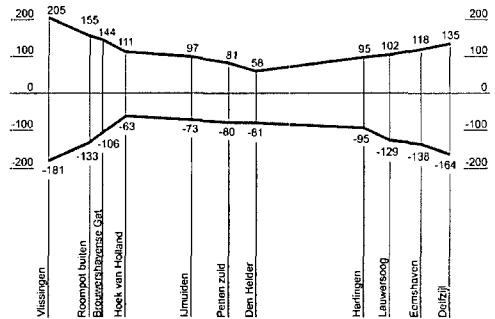
Voor eenvoudige hydrologen zoals ondergetekende, wordt het bijkans nog ingewikkelder als de begrippen precessie, schrikkeljaar, declinaties van de maan en de zon, het eclipticavlak, draconitische en anomalistische maanden, verbindingslijn tussen het lente- en herfstpunt en de jaarlijkse variatie en de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

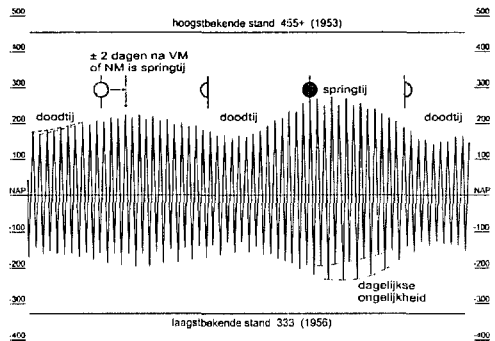


**Figuur 3:** Voortplanting van het getij in de Noordzee.

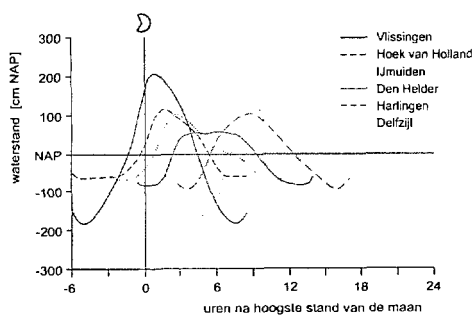
Bij Nederland is de leeftijd van de golf dan al zo'n twee à drie dagen. In figuur drie zijn vanuit de amfidromische punten, dit zijn punten waar geen verticale getijdebeweging merkbaar is, de lijnen getekend waar het hoogtepunt van het getij op hetzelfde moment plaatsvindt. De duur en hoogtes van het 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.

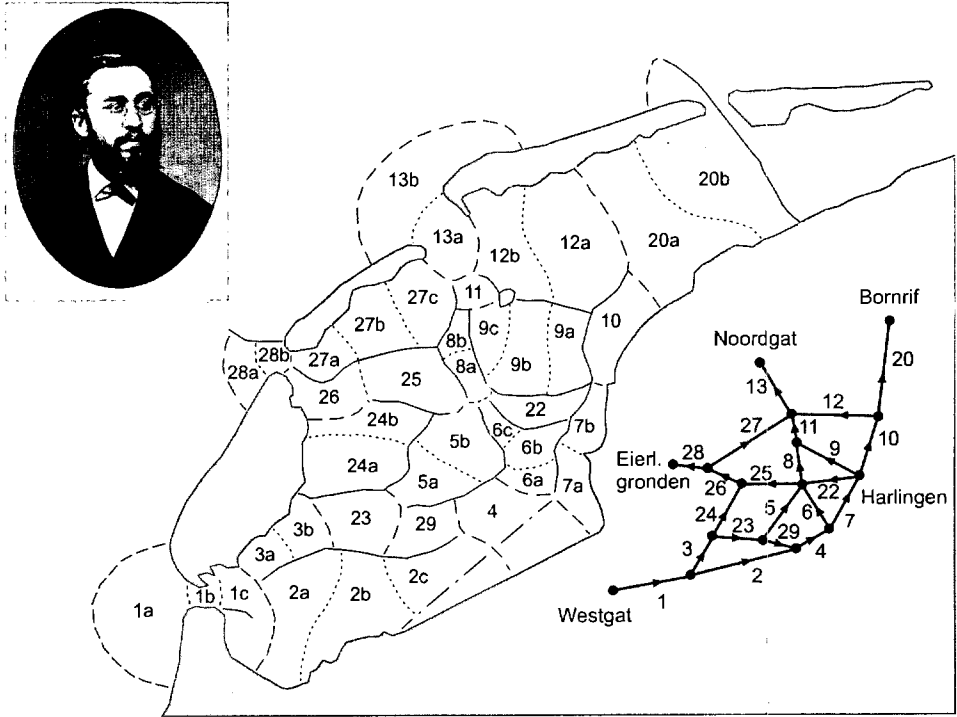
### *Het getij voorspellen*

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. Gedompt getij, prachtig ambtelijk mode-woord, maar waarom niet dempen met een getijdencentrale...?

*Frank Smits\**

---