

# De mathematische simulatie met 1-D modellen van de waterbeweging in rivieren en kanalen: een terugblik op de ontwikkeling in Nederland

## Inleiding

Bij de analyse van veel fysische processen, zowel in de natuur als in de constructieve sector, wordt gebruik gemaakt van simulaties met wiskundige modellen. Meestal wordt een simulatiemodel gebouwd op basis van wat elders is uitgevonden. Bij de simulatie van de waterbeweging in zeeën, estuaria, rivieren en kanalen ligt dit voor Nederland anders. In de volgende bijdrage wordt de Nederlandse inbreng beschreven die uiteindelijk heeft geleid tot het DU(tch) FLOW-pakket.



A. LANGERAK  
Rijkswaterstaat, DGW



N. PRAAGMAN  
SEPPRA BV

DUFLOW is een 1-dimensionaal waterbewegingspakket dat op een eenvoudige PC door ieder die iets van de achtergronden van de waterbeweging weet, gebruikt kan worden om de stroming in een geulen- of kanalenstelsel te simuleren.

## Vergelijkingen

De basisprincipes voor de mathematisch-fysische beschrijving van de waterbeweging zijn al in 1666 geformuleerd door Newton. Zijn tweede wet, kracht is massa maal versnelling, vormt samen met de wet van behoud van massa de basis voor die beschrijving. In praktische zin gaat de beschrijving van de waterbeweging terug naar 1871 als de Fransman De St. Venant beide wetten vertaalt in een bruikbare vorm voor de waterbeweging. De wiskundige vergelijkingen die hij afleidt zijn relatief eenvoudig. De oplossing is dat echter niet waardoor een brede toepassing uitblijft.

## Vereenvoudigingen

De eerste praktische toepassing waarbij deze vergelijkingen, zij het in vereenvoudigde vorm, worden opgelost, is een Nederlandse. Als de Nederlandse regering naar aanleiding van de stormramp van 1916 besluit om de Zuiderzee af te sluiten wordt een commissie onder voorzitterschap van Nobelprijswinnaar Lorentz geïnstalleerd die 'moet onderzoeken in hoeverre, als gevolg van de afsluiting van de Zuiderzee, ingevolge de wet van 14 juni 1918 [staatsblad No. 354], te

## Samenvatting

Voor het analyseren van de waterbeweging in oppervlaktewateren bij veranderende omstandigheden, wordt tegenwoordig veel gebruik gemaakt van mathematische simulatiemodellen. In het artikel wordt de ontwikkeling van dergelijke modellen, in Nederland, vanaf het begin van deze eeuw tot nu geschetst. Ook worden enkele recente praktische toepassingen genoemd.

verwachten is, dat tijdens storm hogere waterstanden (en een grotere golfoploop), dan thans het geval is, zullen voorkomen voor de kust van het vaste land van Noord-Holland, Friesland en Groningen, alsmede voor de daarvoor gelegen Noordzee-eilanden'.

Eén van de methoden die bij het onderzoek gebruikt worden, wordt in het verslag van de commissie als volgt beschreven: 'De derde methode tracht iets dieper in het mechanisme der verschijnselen door te dringen; zij gaat uit van de wiskundige vergelijkingen die de beweging van het water bepalen. Om het terrein te verkennen en de methode op de proef te stellen heeft men haar in de eerste plaats op de normale getijbeweging, zoals die thans is, toegepast'.

Om de methode toe te kunnen passen werd een rigoreuze vereenvoudiging uitgevoerd die tot vandaag de basis voor de 1-dimensionale waterbewegingsmodellen vormt. Door het hele gebied in een stelsel van geulen te verdelen (zie afb. 1) wordt het vraagstuk tot dat van de waterbeweging in een net van kanalen teruggebracht. Ook werd de vergelijking

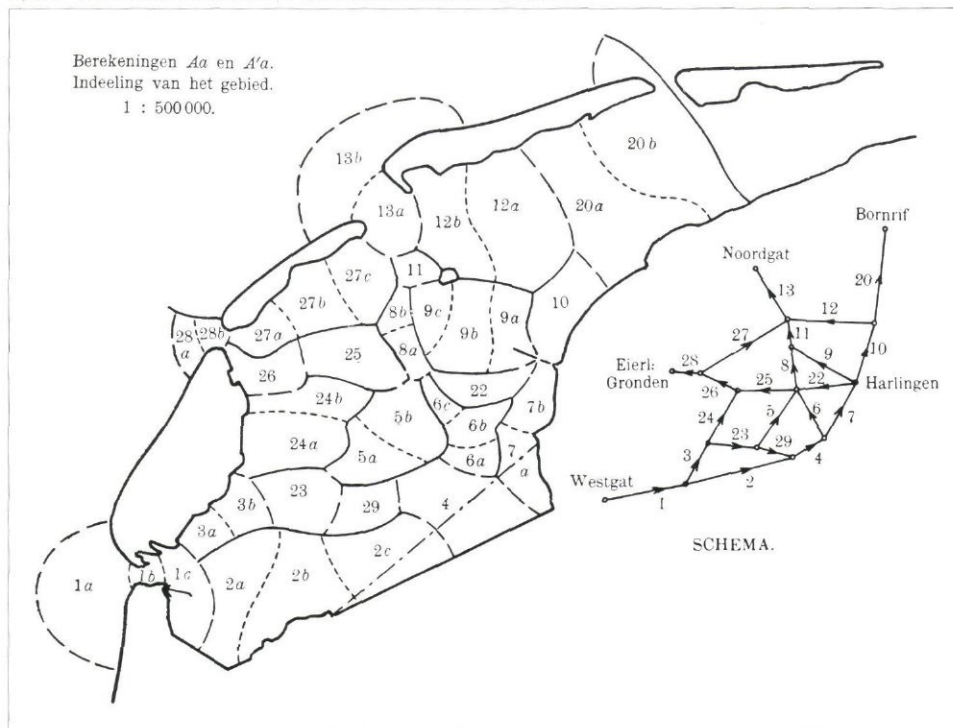
van De St. Venant vereenvoudigd door de term die de verandering van de snelheidshoogte beschrijft te verwaarlozen en de bodemweerstandsterm te lineariseren. Ondanks deze vereenvoudigingen is het rekenwerk enorm. Een volledige berekening kost een goede rekenaar minimaal twee maanden en alles moet in verband met mogelijke rekenfouten dubbel worden uitgevoerd.

Achteraf is gebleken dat de vereenvoudigingen van Lorentz toegestaan zijn: als in 1936 een storm plaatsgrijpt onder omstandigheden die sterk lijken op de storm waarvoor Lorentz de verhoging heeft voorspeld dan wijken de voorspelde waarden maar circa 20 cm af (zie afb. 2).

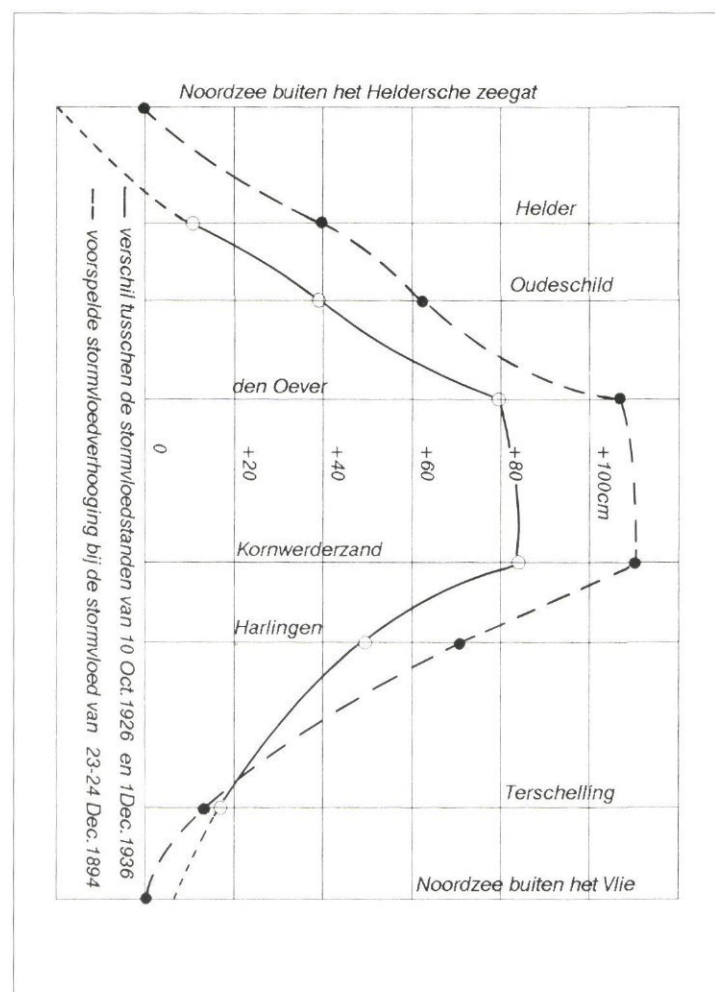
## Alternatieven

De Rijkswaterstaat ziet de kracht van de methode en zet de door Lorentz gestarte ontwikkelingen voort. De in 1939 opgerichte studiedienst Benedenrivieren breidt de toepassingen uit. De hoeveelheid rekenwerk blijft echter een struikelblok: aan het doorrekenen van diverse plannen die vooruitlopen op het Deltaplan worden circa 300.000 rekenuren

Afb. 1 - Schematisatie westelijke Waddenzee met takken en gebieden.







Afb. 2 - Voorspelling en werkelijkheid stormvloedverhoging door afsluitdijk.

bergende deel, bodemruwheid ter plaatse worden voorzien.

Informatie over eventuele kunstwerken, de wijze waarop de verschillende secties met elkaar gekoppeld zijn en de randvoorwaarden op die plaatsen waar het model gekoppeld wordt aan buitengebieden completeren het simulatiemodel.

### Oosterscheldewerken

De totale inspanning levert wel een model op met voorspelkracht. Als voorbeeld kan het simulatiemodel dienen dat gebruikt is bij de bouw van de Stormvloedkering in de Oosterschelde. Aan de bouw van de kering werden hoge kwaliteitseisen gesteld. In open zee werd met grote elementen met maattoleranties gewerkt die normaal in een droge bouwput worden gehanteerd. De feitelijke plaatsing van de elementen met de speciaal gebouwde werkschepen was onder andere door de gestelde nauwkeurigheidseisen beperkt tot een korte periode (het 'kenteringsvenster') rond de laagwaterkentering omdat alleen dan de golven voldoende laag waren om nauwkeurig te kunnen plaatsen. In totaal moesten in elk van de 63 openingen van de kering tenminste 7 elementen geplaatst worden. De meeste werkzaamheden pasten maar net binnen het venster zodat actuele voorspellingen van de juiste begintijd nodig waren. Voor het bepalen van de vensters op de werklokatie zijn in het model van de Oosterschelde 63 kunstwerken ingebouwd om de plaatsingen te simuleren. Een speciale afdeling verzorgde de actualisering van de voorspellingen.

Het zelfde model wordt overigens nog steeds gebruikt, nu om de sluitingsstrategie van de kering bij een storm door te rekenen.

### Het DUFLOW-pakket

In 1989 is door samenwerking van het International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering (IHE) in Delft en de Faculteit van de Civiele Techniek van de TU Delft met de Dienst Getijdewateren van Rijkswaterstaat het PC-pakket DUFLOW op de markt gebracht. De reden om zo'n pakket uit te brengen was de behoefte om een algemeen erkend pakket binnen Nederland ter beschikking te hebben dat als standaard zou kunnen fungeren. Het rekendeel van DUFLOW is gebaseerd op het programma van de waterstaat dat bekend stond onder de naam IMPLIC, maar is uitgebreid met een aantal extra modelleermogelijkheden voor kunstwerken zoals duikers, gemalen en overlaten. Daarnaast is het programma

besteed. Er wordt daarom door de Rijkswaterstaat naar alternatieven gezocht. In 1947 wordt een schaalmodel van het Noordelijk Delta Bekken gebouwd, een soort Madurodam met stromend water. In 1954 wordt een eerste analoge computer waarin de elektrische netwerken vergelijkbare eigenschappen hebben als het stuk estuarium dat ze representeren, gebouwd. Een tweede analoge computer de DELTAR – de rekentijd is dan in uren in plaats van maanden – die in 1960 de eerste opvolgt, blijft tot 1983 dienst doen. 1983 markeert voor de Rijkswaterstaat een overgang naar een andere tijd: het natte schaalmodel en de analoge computer zijn achterhaald door de universeelere en vooral snellere digitale computer.

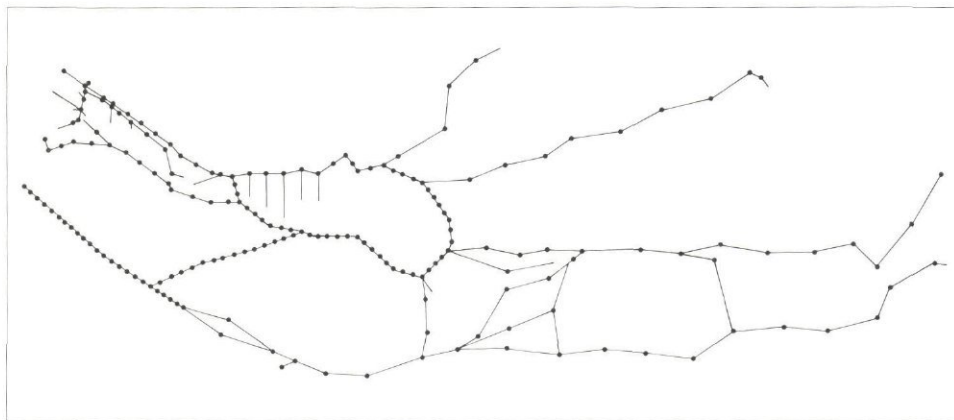
### Digitale computers

In 1983 duurt de berekening van een getijcyclus in het gebied van afb. 1 met een digitale computer inmiddels ongeveer 5 minuten. Op de DELTAR is dat 18 minuten. De nauwkeurigheid is hoog: het computermodel reproduceert de extreme waterstanden in een gebied als de Oosterschelde met een nauwkeurigheid van circa 6 cm (4%) en de maximale

stromingen met een fout van circa 15 cm/sec (15%). De procentueel grotere afwijkingen in de stromingen zeggen meer over de nauwkeurigheid waarmee de bodemligging in de natuur vertaald kan worden naar modelparameters en waarmee de debieten bepaald kunnen worden uit een relatief gering aantal meetpunten in de dwarsdoorsnede, dan over de potentiële nauwkeurigheid van het model.

Een nadeel is dat de voorbereidingen voor de bouw van een model als geschetst in afb. 1 relatief eenvoudig maar arbeidsintensief zijn. Vooral de grote hoeveelheden lodingsgegevens, die op de juiste manier bewerkt moeten worden voor het model, zijn hiervan de oorzaak. Het gaat daarbij om een beperkt aantal stappen. De modelleur tekent de geulassen in het gebied en deelt de geulen in secties in die voldoende kort zijn om de variatie van het dwarsprofiel te kunnen beschrijven. Daarna begint het arbeidsintensieve deel: iedere sectie moet van nauwkeurige gegevens, zoals doorsnedes bij verschillende waterstanden, breedte van het stroomvoerende deel, lengte van het stroomvoerende deel, oppervlakte van het





Afb. 3 - Schematisatie Benedenrivierengebied.

van een handige preprocessor voorzien zodat een gebruiker op interactieve wijze zijn model op kan bouwen en kan wijzigen.

Tenslotte is het met DUFLOW mogelijk een aantal plaatjes op het beeldscherm weer te geven: eventuele fouten in de invoer die aanleiding geven tot vreemde resultaten zijn zo snel te lokaliseren en enig gevoel voor de invloed van variatie van randvoorwaarden en coëfficiënten is al achter het scherm te verkrijgen.

Het pakket kan door de korte inwerkperiode dankzij de interactieve invoer en de mogelijkheid van grafische scherm-uitvoer van nut zijn voor verschillende klassen van gebruikers. DUFLOW kan gebruikt worden

- door beheerders van waterschappen en rivieren bij het dagelijks beheer van watersystemen;
- door ontwerpers bij het ontwerp van hydraulische kunstwerken en de analyse van de invloed daarvan bij speciale toepassingen;
- door docenten voor educatieve doeleinden.

### Benedenrivieren

Een tweede illustratief voorbeeld van de toepassing van een 1-D waterbewegingspakket is de dimensionering van de dijkhoogte. De dijkhoogte werd vroeger in hoofdzaak bepaald door de statistiek van de waterhoogten die gebaseerd was op waarnemingen over een groot aantal jaren. Het ingrijpen van de mens in een watersysteem introduceert echter nieuwe elementen, waardoor alle zaken die de waterhoogten beïnvloeden opnieuw gewogen moeten worden.

De benodigde dijkhoogten in het benedenrivierengebied (zie voor de schematisatie afb. 3) hangen van veel factoren af, zoals:

- sluitingsstrategie van de (nieuwe) kering in de Nieuwe Waterweg;
- de getijden;

- de waterafvoeren naar en in het gebied;
- het optreden van stormen;
- de kans op fouten bij het sluiten van kunstwerken.

Al deze factoren moeten herleid worden tot een voldoende lage kans op bezwijken van de dijken onder de laagst mogelijke kosten. Deze kans kan dankzij de beschikbaarheid van een simulatiemodel berekend worden door een periode van een aantal jaren te karakteriseren en alle mogelijke omstandigheden door te rekenen. De maatgevende waterstanden zijn in dit geval berekend met het pakket ZWENDL (Rijkswaterstaat, RIZA, Dordrecht). In het pakket ZWENDL wordt ook rekening gehouden met de zoutbeweging. Dit is in het benedenrivierengebied van belang omdat de invloed op de waterstand door het verschil in dichtheid tussen zout en zoet water niet te verwaarlozen is.

### Historie

In het bovenstaande is kort geschetst hoe in Nederland al een jaar of zeventig simulaties van waterbewegingen worden uitgevoerd. Alhoewel inmiddels aanzienlijk zwaardere methoden beschikbaar zijn voor die problemen waarbij de 1-D benadering te grof is, is voor een groot aantal praktische zaken de methode Lorentz nog steeds zeer bruikbaar. De rekenkracht van een hele zaal menselijke rekenaars is nu echter vervangen door de rekenkracht van een eenvoudige PC.

### Literatuur

1. Ven te Chow, P. D. (1983). *Open channel Hydraulics*. Mc. Graw-Hill.
2. Dronkers, J. J. (1964). *Tidal computations in rivers and coastal waters*. John Wiley, New York.

Informatie over het DUFLOW pakket is verkrijgbaar bij het bureau SAMWAT, Postbus 6067, 2600 JA Delft, tel 015-697412.



## GS Zeeland: 'Zoutindringing tegenhouden'

De zoutindringing die kan ontstaan door een gewijzigd beheer van de Haringvliet-sluizen, mag zich onder geen beding tot aan de Volkeraksluizen uitstrekken.

Mocht het toch komen tot een verandering in het beheer, dan zou ook overeenstemming moeten worden bereikt met de Delta Nutsbedrijven in Zeeland. Gedeputeerde Staten van Zeeland hebben medio november het Bestuurlijk Overleg Haringvliet/Hollandsch Diep/Biesbosch hierop gewezen. GS deden dit met het oog op de functie van het Volkerak/Zoommeer voor de landbouw en het Haringvliet voor de drinkwatervoorziening. Het overleg buigt zich 13 december over de verdere voortgang van het Integrale Beleidsplan Haringvliet/Hollandsch Diep/Biesbosch.

De invloeden van herstel van de getidebeweging op de Biesbosch, zou de natuurwaarden moeten herstellen. Gewijzigd beheer van de Haringvlietssluis zou echter ook gevolgen hebben voor Zeeland, hoewel deze provincie niet direct grenst aan de wateren waarop het plan betrekking heeft.

Na beperking van zoutindringing moet volgens het dagelijks bestuur van Zeeland de inlaadcapaciteit voor de peilhandhaving en doorspoeling van het Volkerak/Zoommeer gewaarborgd worden. Gezien de schaarste aan zoet drinkwater in de provincie moet ook de aanvoer hiervan gewaarborgd blijven, vinden GS.

De Delta Nutsbedrijven infiltreren zoet oppervlaktewater uit het Haringvliet in de Schouwse duinen. Bij een gewijzigd beheer van de Haringvlietssluis zou om die reden overeenstemming moeten worden bereikt met de nutsbedrijven over de eventuele verplaatsing van het innamepunt. De extra kosten die dit met zich meebrengt, zouden gecompenseerd moeten worden, aldus GS. (ANP)

## Wasser Berlin '93

Tijdens Wasser Berlin '93 zal aandacht worden besteed aan 'Water management using selected river basins as examples'. Wasser Berlin '93 wordt gehouden van 26 april tot 1 mei 1993 in Berlijn.

De problemen van de rivieren Elbe, Donau, Oder en Rijn zullen als voorbeeld dienen bij het geven van mogelijke oplossingen. Nadere informatie: Wasser Berlin '93 Kongress und Ausstellung, Messedamm 22, D-1000 Berlin 19, telefoon (49) 030-3038-2288.