

201270

# De verwachte stormvloedstanden zijn ....

## Inhoud

Betrouwbare voorspellingen zijn essentieel 2

Hoe komen de voorspellingen tot stand 4

Het waterloopkundig model 6

Data-assimilatie 8

Hoe trefzeker is de methode? 10



Ministerie van Verkeer en waterstaat  
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Ministerie van Verkeer en waterstaat

Dienst Getijdewateren  
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ



# DE VERWACHTE STORMVLOEDSTANDEN ZIJN.....

....."De weersverwachting van het KNMI, geldend tot  
morgenavond: zware tot zeer zware storm uit het noord-westen,  
windkracht 10 tot 11 Beaufort.....

*De verwachte afwijkingen van de waterstanden: bij hoogwater  
vanavond in Vlissingen en Hoek van Holland omstreeks anderhalve  
meter verhoging en bij hoogwater vannacht in Den Helder,  
Harlingen en Delfzijl omstreeks twee meter verhoging. Op grond  
van deze verwachtingen adviseert Rijkswaterstaat dijkbewaking in  
de volgende sectoren: Schelde, West Holland, Den Helder,  
Harlingen en Delfzijl ".....*

Voor de meeste Nederlanders is dit geen ongewoon radiobericht.  
Sommigen verwachten zo'n soort bericht al wanneer buiten de  
wind giert. We maken ons niet zo gauw ongerust: er zijn toch  
instanties die waken over de veiligheid van Nederland tegen  
overstromingen? Deze brochure gaat over de organisatie van de  
waakzaamheid, hoe de afwijkingen van de waterstanden worden  
voorspeld en hoe het advies van Rijkswaterstaat voor dijkbewaking  
tot stand komt.

# Betrouwbare voorspellingen zijn essentieel

Nauwkeurige stormvloedvoorspellingen zijn voor Nederland van vitaal belang. De veiligheid van ons land dat voor een groot deel beneden de zeespiegel ligt, is in het geding. De stormvloedramp van 1 februari 1953 leeft nog sterk voort in de herinnering van veel mensen. In één nacht werd 135.000 hectare land overspoeld en verloren 1835 mensen het leven. Tienduizenden stuks vee kwamen om en aan de infrastructuur werd enorme, deels onherstelbare, schade toegebracht.



*De stormvloedramp van 1953 heeft enorme, deels onherstelbare schade toegebracht.*

Inmiddels zijn de waterkeringen langs de Nederlandse kust voor een groot gedeelte op sterkte gebracht. Door uitvoering van het Delta Plan zijn dammen gebouwd en is de Oosterschelde beveiligd met een stormvloedkering. Tijdige stormvloedvoorspellingen moeten zorgen dat dijkbewaking ingesteld kan worden om doorbraken te voorkomen. Voorspellingen van de verwachte hoogwaters zijn ook noodzakelijk om te kunnen beslissen of de stormvloedkering in de Oosterschelde of straks in de Nieuwe Waterweg gesloten moet worden. Indien sluiting noodzakelijk lijkt, zal dit op het juiste moment, meestal vrij kort na het laagwater, gebeuren. Het is de taak van de Stormvloedwaarschuwingsdienst, SVSD, van de Rijkswaterstaat, om deze voorspellingen te maken. Dit doet zij in nauwe samenwerking met het KNMI.

Onnauwkeurige voorspellingen kunnen zeer vervelende gevolgen hebben. Als de dijkwacht tijdens een extreem hoge stormvloed niet op tijd ter plaatse is, kan er schade aan de



*Een noordwester storm beukt op de Nederlandse kust (Scheveningen)*



### Intermezzo: GETIJBEWEGING IN DE NOORDZEE

De voornaamste getijgolf komt de Noordzee binnen langs de Schotse kust en loopt verder langs de Engelse kust naar het zuiden. Een minder sterke golf komt door het Kanaal. Deze golven vervolgen samen hun weg in noordelijke richting langs de kust van Nederland, Duitsland en Noorwegen. Het hoogteverschil tussen hoogwater en laagwater is niet overal gelijk. Elke plaats heeft zijn eigen "tijverschil". In Vlissingen bedraagt het gemiddelde tijverschil 3,80 m. Het tijverschil neemt noordwaarts langs de kust af tot gemiddeld 1,40 m bij Den Helder. Vervolgens loopt het weer op: bij Delfzijl is het gemiddeld 3 meter. Twee keer per etmaal hebben we op de

Noordzee hoogwater. Dit wordt bepaald door de stand van de aarde ten opzichte van de maan en de zon. Dit "astronomisch" getij is voor iedere plaats nauwkeurig te voorspellen.

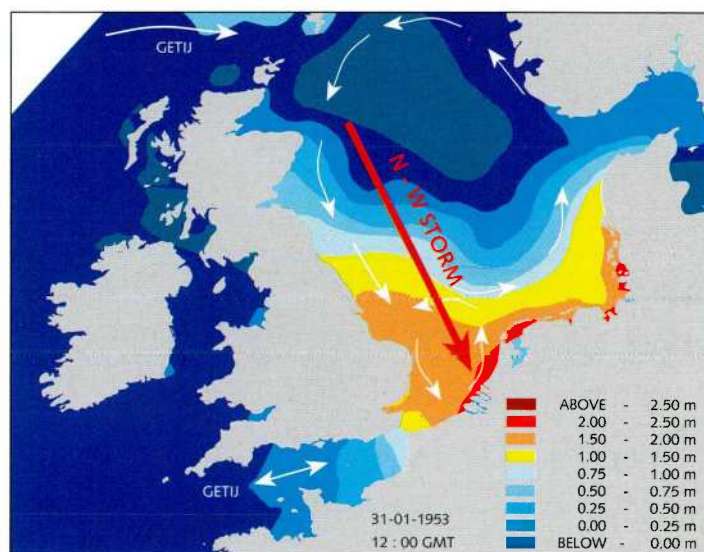
Het getij dat in werkelijkheid op zal treden hangt zeer sterk af van de weersomstandigheden en met name van de wind. In het bijzonder de beruchte noordwester storm, die een vrije waterbaan heeft ter lengte van de Noordzee stuwt het water hoog op tegen de Nederlandse kust. Deze opstuwing tegen de kust die bovenop het astronomische getij komt wordt de opzet genoemd.

dijken ontstaan of, nog erger, een dijk kan doorbreken. Het onnodig oproepen van de dijkbewaking mag echter ook niet te vaak gebeuren. Bij de stormvloedkeringen is de situatie ongeveer hetzelfde. Een kering mag bij zeer hoge waterstanden niet open blijven staan. Aan de andere kant betekent iedere sluiting van de kering in de Nieuwe Waterweg een stremming van de afvoer van het Rijn- en Maaswater én van de scheepvaart. Sluiting van de Oosterscheldekering kan kwalijke gevolgen hebben voor het kwetsbare milieu in de Oosterschelde. Daarom moet worden voorkomen dat een stormvloedkering onnodig wordt gesloten.



..... "De Oosterscheldekering is vanmorgen gesloten door Rijkswaterstaat. Als gevolg van de zware storm dient het verkeer in het hele land rekening te houden met zware windstoten".

Het water speelt ook een belangrijke rol bij het transport van goederen. Voor een goede begeleiding van de scheepvaart zijn nauwkeurige waterstandsvoorspellingen eveneens onontbeerlijk. Dit geldt in het bijzonder voor de geulen die de toegang tot de havens van Rotterdam vormen. Schepen met een grote diepgang kunnen hier tijdens laagwater niet doorheen varen. Duidelijk is dat nauwkeurig bekend moet zijn wanneer, en vooral hoe laag het eerstkomende laagwater zal zijn om te voorkomen dat deze schepen in problemen komen.



De voornaamste getijgolf komt de Noordzee binnen langs de Schotse kust en loopt en draait verder volgens de aangegeven witte pijlen. Tijdens een noordwester storm wordt het water hoog opgestuwd tegen de Nederlandse kust. Vooral bij het samenvallen van het maximum van de storm met het tijdstip van (spring)hoogwater worden hoge waterstanden bereikt.



## Hoe komen de voorspellingen tot stand

Voor een waterstandsvoorspelling is naast het getij een weersverwachting nodig. Deze weersverwachting en vooral de windverwachting maakt het KNMI met een atmosfeermodel dat vier keer per dag een verwachting maakt van dertig uur vooruit. Vervolgens kan de waterbeweging in de Noordzee ook 30 uur vooruit voorspeld worden aan de hand van de voorspelde wind- en drukvelden. Dit gebeurt door deze weersvoorspellingen in te voeren in het waterbewegingsmodel Continental Shelf Model (CSM) van Rijkswaterstaat. Tussentijdse bijstelling van de verwachtingen kan plaatsvinden aan de hand van inmiddels gemeten waterstanden. Hierdoor worden de fouten als gevolg van een verkeerde weersverwachting verkleind.

*Coupure Delfzijl. Op een aantal plekken in Nederland bevinden zich nog openingen in de dijk, de zogenaamde coupures. Bij verwachte hoge waterstanden moeten de coupures tijdig gesloten worden met vloeddeuren of vloedbalken. Op de foto is links onder de gesloten coupure te zien.*





Medewerkers van het KNMI in het Hydro Meteo Centrum Rijnmond in Hoek van Holland (HMR) volgen continu de computervoorspellingen. In geval van een mogelijke stormvloed, waarschuwt het HMR de Stormvloed-waarschuwingsdienst (SVSD) van het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) van Rijkswaterstaat. Dit gebeurt minimaal zes uur voor het eigenlijke lijdstip van het hoogwater. De SVSD houdt dan de situatie langs de Nederlandse kust zorgvuldig in de gaten en maakt regelmatig nieuwe voorspellingen van de te verwachten hoogwaterstanden. Indien nodig waarschuwt de SVSD de beheerders van waterkeringen en stormvloedkeringen.



*Coupure Delfzijl in geopende positie. De haven terreinen zijn nu makkelijk toegankelijk.*

#### *Intermezzo: WANNEER WAARSCHUWT DE SVSD*

*Twee peilen zijn van belang bij het uitvaardigen van waarschuwingen: het waarschuwingspeil en het alarmeringspeil. Het waarschuwingspeil is het peil dat gemiddeld twee keer per jaar overschreden wordt. Als de SVSD verwacht dat dit peil bereikt wordt, worden de beheerders minimaal 6 uur voor hoogwater telefonisch gewaarschuwd om bijvoorbeeld coupures te sluiten. Op een aantal plekken in Nederland bevinden zich openingen in de dijk, de zogenaamde coupures. Deze zijn nog nodig om bijvoorbeeld haven terreinen toegankelijk te maken voor verkeer en spoor. Bij verwachte hoge waterstanden moeten de coupures tijdig gesloten worden met vloeddeuren of vloedbalken.*

*Het alarmpeil is het peil dat gemiddeld eens per 5 jaar tot eens per 10 jaar bereikt of overschreden wordt. Als de SVSD verwacht dat het hoger dan het alarmeringspeil wordt geeft de SVSD het advies tot dijkhewaking aan de dijkbeheerders. Medewerkers van de beheerder houden dan zwakke dijksecties in de gaten.*

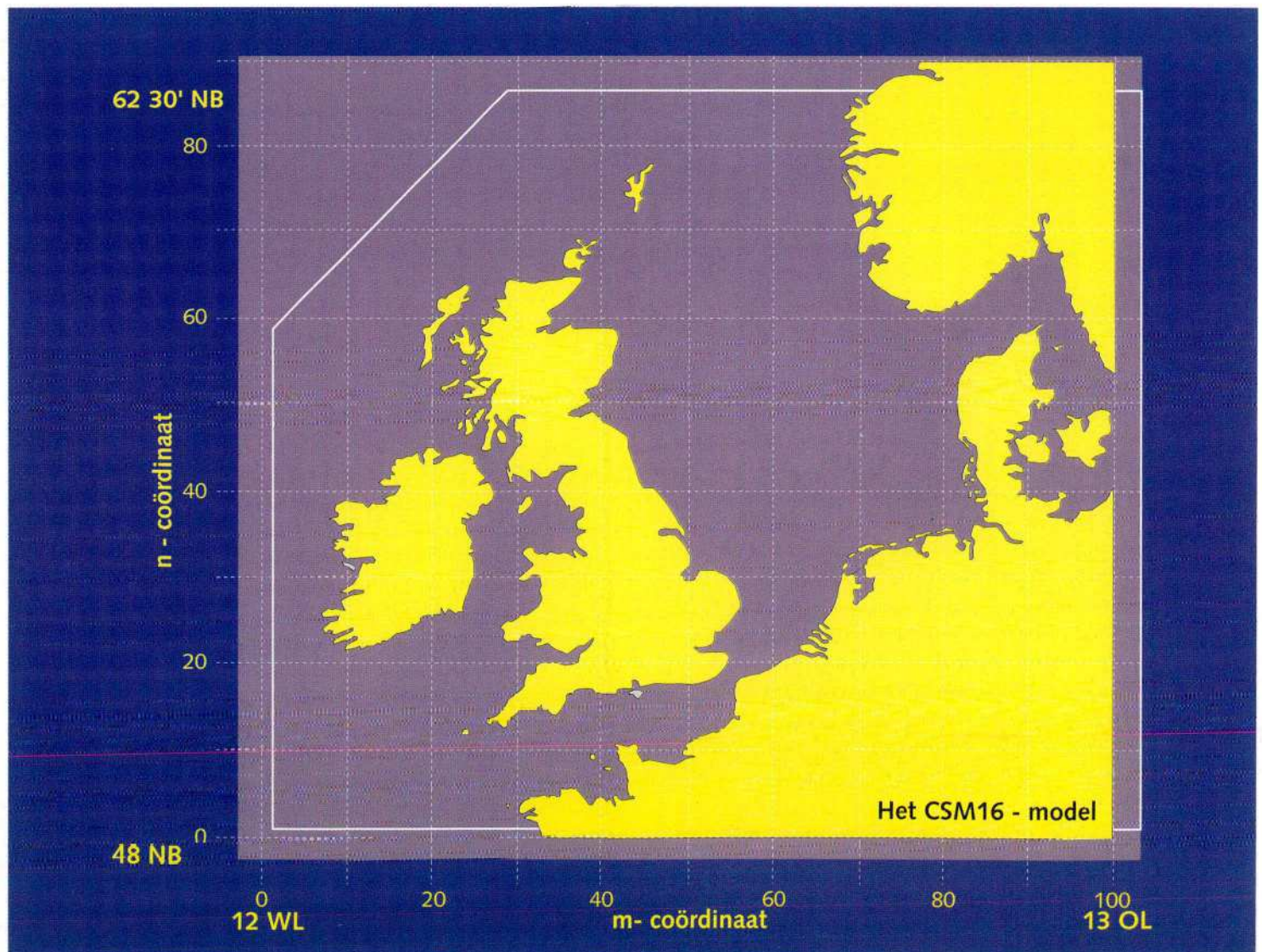
*Omdat de tijdstippen van hoogwater per plaats verschillen en een storm zelden langs de hele kust even zwaar is, is de kuststreek verdeeld in sectoren. Waarschuwingen en alarmeringen worden per sector afgekondigd.*



## Het waterloopkundig model

Het Rijksinstituut voor Kust en Zee van de Rijkswaterstaat heeft samen met het Waterloopkundig Laboratorium het Continental Shelf Model (CSM) ontwikkeld. Het model omvat de gehele Noordzee plus een gedeelte van de Atlantische Oceaan. Dit computermodel is gebaseerd op het twee-dimensionale waterbewegingspakket WAQUA. Voor de operationele voorspellingen wordt gebruik gemaakt van dit model met een gemiddelde roosterafstand van 16 km (CSM16). Dit betekent dat per rooster van 16 bij 16 km de waterhoogte en de watersnelheid uitgerekend wordt. De programmatuur is zodanig aangepast dat optimaal gebruik gemaakt wordt van supercomputers. Binnenkort wordt er een verfijnd model gebruikt met een roosterafstand van gemiddeld 8 km.

*Het rekenrooster van het Continental Shelf Model (CSM). In alle vakken (van 16 bij 16 km) worden voor iedere tijdstap (10 minuten) de waterstanden en de stromingen berekend.*

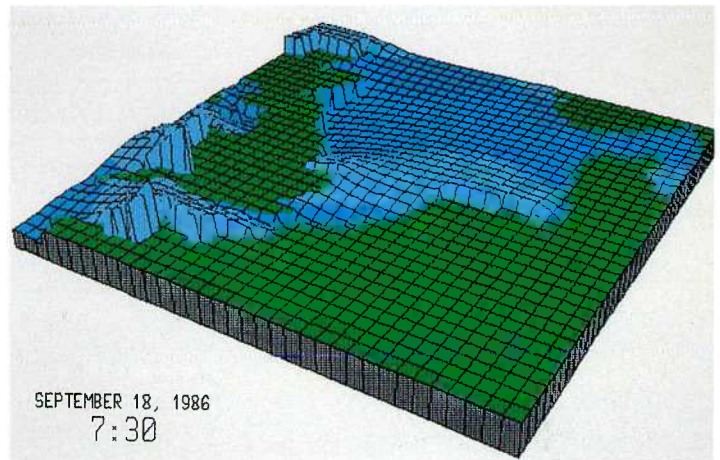




In het Continental Shelf Model worden de volgende fysische verschijnselen beschreven:

- het transport van water;
- de getijbeweging;
- de wrijving aan de bodem;
- de krachten op het water ten gevolge van de draaiing van de aarde;
- het droogvallen en onderlopen van platen;
- de effecten van de variaties in atmosferische druk;
- de schuifspanningskracht die de wind op het water uitoefent.

Met name de laatste twee verschijnselen bepalen naast het getij de hoogte van de stormvloed.



*Met het Continentaal Shelf Model berekend aanzicht van de getijgolf in de Noordzee. In het Waddengebied en in Normandië is het hoogwater. Het valt duidelijk op dat het tijverschil in Normandië veel groter is dan dat in het Waddengebied.*



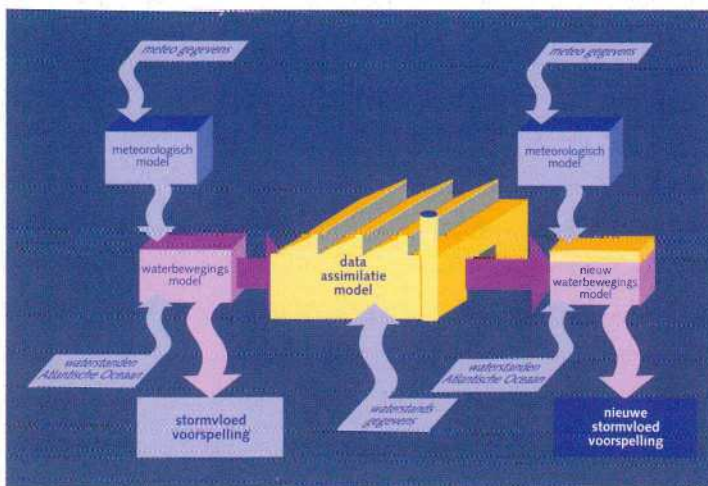
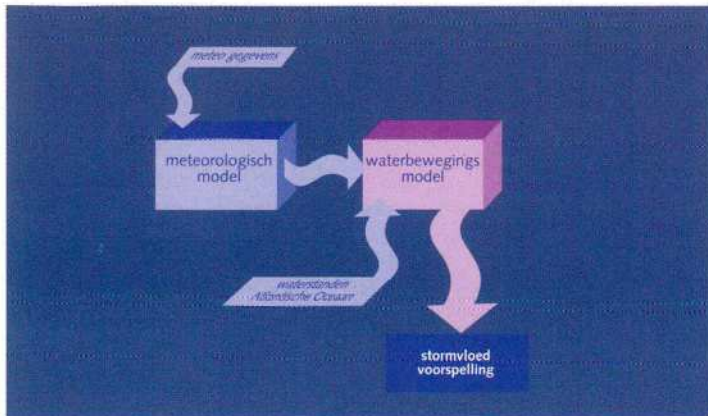
*De wind oefent een schuifspanningskracht uit op het water, waardoor het water opgestuwd wordt.*



# Data-assimilatie

Waterstanden kunnen worden voorspeld met numerieke waterbewegingsmodellen. Een andere methode werkt met technieken uit de statistiek. Hierbij worden systematische verbanden die binnen één of meerdere waterstandsreeksen bestaan opgespoord en gemodelleerd. Deze beide technieken kunnen ook gezamenlijk toegepast worden, waarbij tevens gebruik gemaakt wordt van de laatste metingen van de peilmeetstations. Actuele meetinformatie wordt gebruikt om het model of de voorspellingen aan te passen. Dit heet data-assimilatie.

Het atmosfeermodel van het KNMI wordt om de 6 uur gedraaid. Gedurende deze 6 uur komen er nog nieuwe waterstanden binnen. Met data-assimilatietechnieken worden met behulp van deze nieuwe meetgegevens de voorspellingen bijgesteld.



De peilmeetslaten geven hun gegevens direct door aan een centrale computer, zodat ze gelijk beschikbaar zijn ten behoeve van de data-assimilatie.



Het "Data-Assimilatiemodel" gebruikt de meest recente waterstandsgegevens van Nederlandse en Engelse peilmeetstations en vergelijkt deze met de door het waterbewegingsmodel berekende waterstanden. In het algemeen zullen deze niet gelijk zijn. Het data-assimilatiemodel past dan het waterbewegingsmodel aan de gewijzigde omstandigheden aan. Met dit aangepaste model kan vervolgens een nieuwe en betere voorspelling gemaakt worden van de waterstanden.



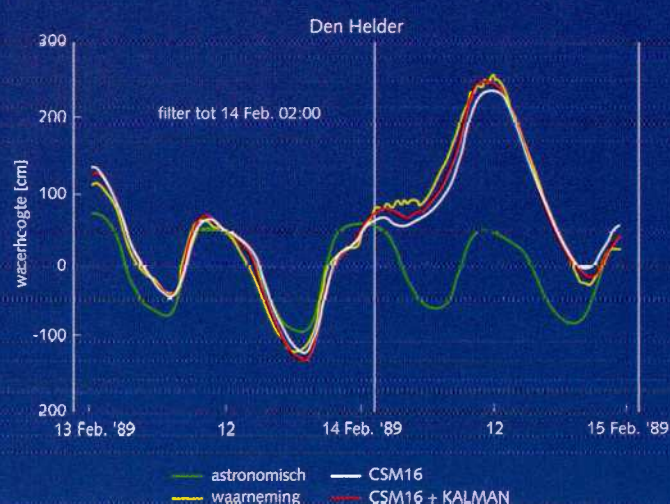
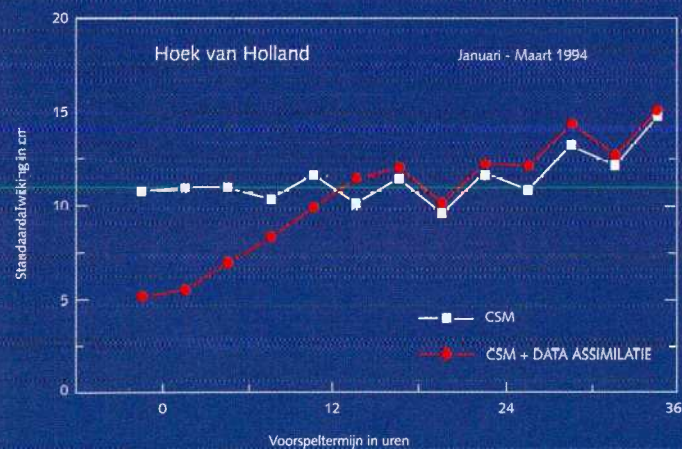
Intermezzo:

## DATA-ASSIMILATIE

Al in het begin van de jaren zestig werden wiskundige technieken ontwikkeld voor een betere navigatie van ruimteschepen. Bij het schatten van de positie van een ruimteschip was er behalve meetinformatie ook kennis beschikbaar van de berekende baan van het ruimteschip. Data-assimilatie bleek bij uitstek geschikt om alle beschikbare waarnemingen te combineren met de informatie die het oplossen van de bewegingsvergelijkingen omtrent de positie van het ruimteschip gaf. Met behulp van data-assimilatie zijn modelresultaten en parameters in het model zelf voortdurend te verbeteren en aan te passen aan de zich wijzigende omstandigheden.

Voor het oplossen van een realistisch probleem is veel rekentijd nodig. De steeds groter wordende reken capaciteit van computers en het gebruik van supercomputers heeft, in combinatie met de ontwikkeling van steeds efficiëntere algoritmen voor het oplossen van de data-assimilatievergelijkingen, nieuwe toepassingen mogelijk gemaakt.

Dat de data-assimilatie goed werkt blijkt uit de onderstaande grafiek. Het geeft de resultaten weer van het operationele gebruik van het systeem door het KNMI over de periode januari t/m maart 1994. Bij een voorspelling vooruit van 6 uur geeft de data-assimilatie een grote verbetering. Voor 12 uur vooruit is er geen verbetering meer.



Als voorbeeld van de verbetering gedurende een stormsituatie is in bovenstaande figuur de voorspelling voor Den Helder met en zonder data-assimilatie gegeven. De data-assimilatie maakte gebruik van de meetgegevens die beschikbaar waren tot 14 februari 1989, 2:00 uur. Met name de opgetreden waterstanden aan de Engelse noord-oost kust (Wick en North Shields en in mindere mate Lowestoft) zijn hier van belang. Dit heeft te maken met de loop van de getij- en opzetgolf langs de Engelse oostkust naar de Nederlandse kust. De data-assimilatie geeft bij een voorspelling van 6 à 10 uur vooruit de grootste winst. Dit is de tijd die getij en opzetgolf nodig hebben om van de Engelse oostkust naar de Nederlandse kust te komen. De verbetering, verkregen door filtering, neemt af met een toenemend voorspellingsinterval.



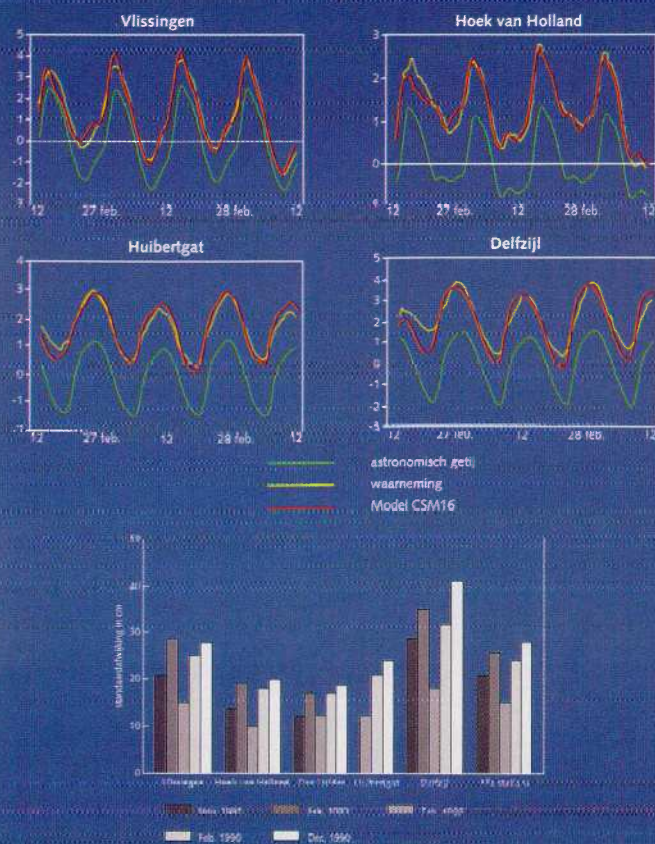
## Hoe trefzeker is de methode?

Intermezzo:

### VERGELIJKING VAN VOORSPELDE EN WAARGENOMEN WATERSTANDEN

Deze figuur geeft als voorbeeld voor 5 Nederlandse meetstations de voorspelde en de waargenomen getijkrommen weer voor de storm van februari 1990. De voorspelde waterstanden zijn tot stand gekomen aan de hand van geanalyseerde windgegevens uit het atmosfeer model zonder gebruik te maken van data-assimilatie. De geanalyseerde windgegevens zijn achteraf gecorrigeerd ten opzichte van de voorspelde windgegevens naar aanleiding van de feitelijke ontwikkelingen van het weer.

Het laatste figuur toont de standaardafwijking van een aantal stations en van "Alle stations" voor 5 stormen. Hoek van Holland en Den Helder worden het best voorspeld, waarbij Hoek van Holland al redelijk voldoet aan de gestelde eisen. De resultaten voor de stations in de estuaria zoals Vlissingen en Delfzijl zijn minder nauwkeurig. Toepassing van data-assimilatie en verdere verbeteringen zoals het verfijnen van het 16 km grid van het model naar 8 km zullen de voorspellingen nog nauwkeuriger maken.



Ieder model dat de werkelijkheid tracht te beschrijven, maakt fouten. Het voorspellen van gebeurtenissen zal dan ook altijd gepaard gaan met onnauwkeurigheden. De trefzekerheid van de SVSD is met name van belang voor de sluitingsstrategie van de stormvloedkeringen in de Oosterschelde en in de Nieuwe Waterweg (gereed in 1997). Indien deze laatste gesloten is kan de Rijnafvoer niet meer naar zee stromen en kunnen schepen de Rotterdamse haven niet meer in of uit. De kering zal vanwege de scheepvaart gemiddeld hoogstens eens per 5 tot 10 jaar gesloten mogen worden. Als de kering te vroeg gesloten wordt duurt de totale sluiting langer en kunnen de waterstanden achter de kering door het steeds toestromende Rijnwater te hoog worden.

Dit alles vereist een hoge nauwkeurigheid van de voorspelling. De standaardafwijking van de voorspellingen van stormvloedhoogwaters in Hoek van Holland, gemaakt 6 uur voor het optreden hiervan, mag ongeveer 15 cm zijn. Deze standaardafwijking was tot 1991 ongeveer 25 cm, gebaseerd op minder nauwkeurige atmosfeer- en waterbewegingsmodellen zonder data-assimilatie.

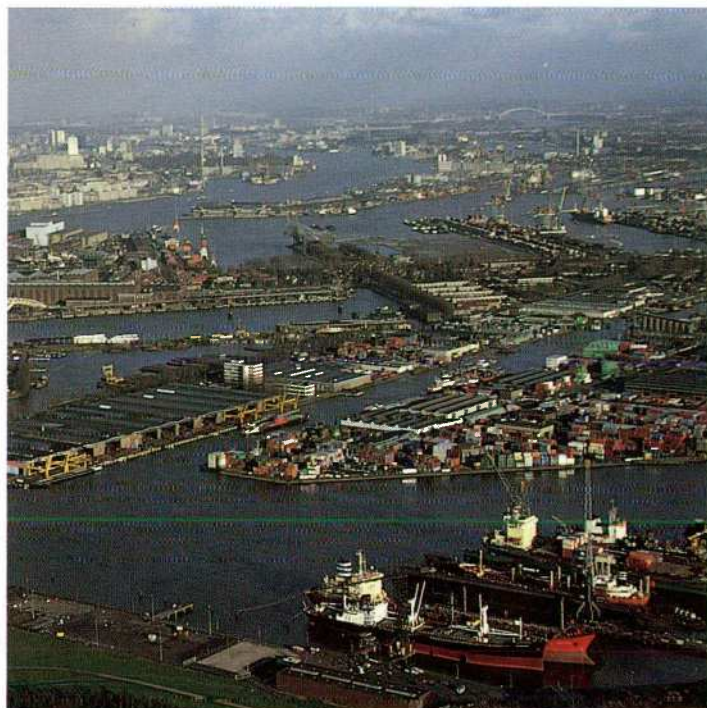


Vlissingen. Dijken beschermen grote delen van Nederland.

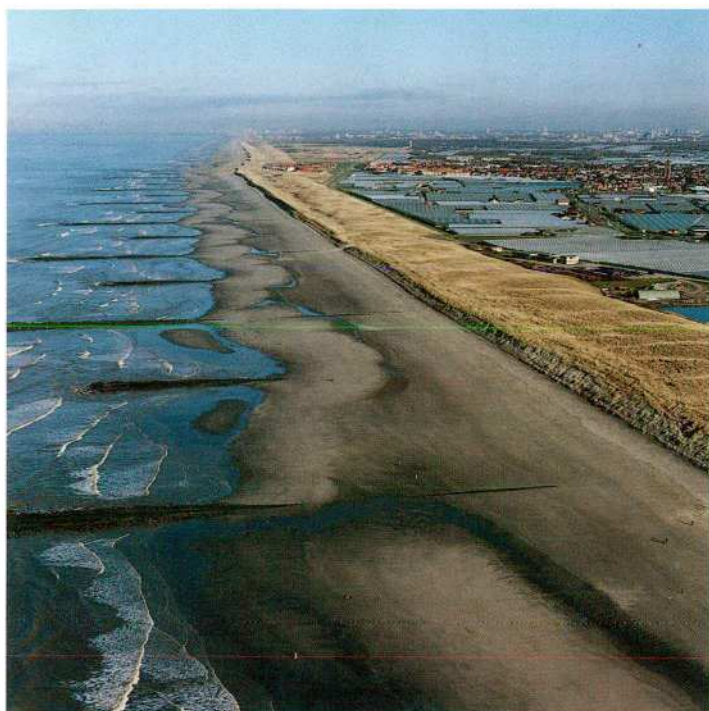


Helaas kan nog niet getoetst worden of aan de hoge eis van 15 cm standaardafwijking voldaan is. Daarvoor zijn er na 1991 te weinig zware stormen opgetreden. Als alle waterstanden bekeken worden, dus niet alleen hoogwaterstanden, blijkt dat de onnauwkeurigheid voor Hoek van Holland tussen 10 en 20 cm kan variëren. Voor andere stations langs de Nederlandse kust is dit iets meer. Door mogelijke vervroeging of verlating van het getij zijn deze afwijkingen groter dan de voorspelling voor alleen het hoogwater.

In de toekomst zullen door het gebruik van moderne technieken, zoals data-assimilatie en nauwkeurige modelverwachtingen en door de expertise van de getijhydrologen van de SVSD voorspellingen geleverd worden met een grote trefzekerheid, zodat dijkcoupures tijdig gesloten worden, dijkbewaking in geval van nood kan ingrijpen en de stormvloedkeringen op de juiste momenten worden gesloten.



*Haven van Rotterdam. Goede voorspellingen zijn ook voor de scheepvaart van belang.*



*Westland. Duinen beschermen grote delen van Nederland.*





*De zee, vriend en vijand.*





# Colofon

Auteurs: ir. J.G. de Ronde, ir. L.P.M. de Vrees en  
drs. M.E. Philippart

Vormgeving: Visuele Vormgeving Rijksinstituut voor  
Kust en Zee/RIKZ

Illustraties: Visuele Vormgeving Rijksinstituut voor  
Kust en Zee/RIKZ

Fotografie: Visuele Vormgeving Rijksinstituut voor  
Kust en Zee/RIKZ  
Rijkswaterstaat Meetkundige Dienst

Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ)  
is een technisch wetenschappelijke dienst van  
Rijkswaterstaat.

Het RIKZ verricht onderzoek naar,  
en geeft advies over  
de kwaliteit van kust en zee.

Belangrijkste taakvelden zijn het  
handhaven van de veiligheid van de kust  
tegen overstromingen en het ecologisch  
functioneren en de verontreiniging van de  
Noordzee, de Waddenzee en de  
Deltawateren.

