

Begrenzing Modellen

"Pilot windstress: DCSM en ZNZ"

Project: NAUTILUS

Werkdocument: RIKZ/OS-99.139X



In opdracht van:

Directie Noordzee
Directie Zuid-Holland
Directie Zeeland
Directie Noord-Holland
Samenwerkingsverband Maasvlakte 2 Varianten
Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam
Meetstrategie 2000+

Begrenzing Modellen

"Pilot windstress: DCSM en ZNZ"

Project: NAUTILS
Werkdocument: RIKZ/OS-99.139X
Datum: September 1999
Auteur: A.W. Gebraad
M. Verlaan



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Inhoudsopgave

.....

Inhoudsopgave.....	3
Samenvatting	4
1 Inleiding.....	5
2 Model-specifieke eigenschappen van geadjungeerde variabelen.....	6
3 Pilot windstress: DCSM en ZNZ.....	9
3.1 Inleiding	9
3.2 Gevoeligheid voor windstress	9
3.3 Opzet berekend met geadjungeerde variabelen	10
3.4 Opzet berekend met WAQUA	13
3.5 Discussie	14
4 Conclusies en aanbevelingen	16
Bijlage A: Berekening van een modelonafhankelijke norm.....	18
Bijlage B: Berekening van opzet uit gevoeligheid voor de windstress.....	19

Samenvatting

In het kader van het onderdeel "Begrenzing Modellen" van het project Nautilus wordt er gewerkt aan een instrument waarmee de voorspelhorizon kan worden bepaald voor een gegeven modelgebied of (omgekeerd) de begrenzing van het model voor een gegeven voorspelhorizon. Om de begrenzing van een model doelmatig te kunnen kiezen, is het wenselijk van te voren inzicht te hebben in de verschillende gevoeligheden in het model. In het eerste deelrapport van "Begrenzing Modellen" is beschreven hoe met behulp van geadjungeerde variabelen verschillende gevoeligheden kunnen worden bepaald en is een pilot uitgevoerd met het Dutch Continental Shelf Model (zie werkdocument RIKZ/OS-98.154x [2]).

Om nog meer inzicht te krijgen in de bruikbaarheid van geadjungeerde variabelen voor dit soort gevoeligheidsonderzoek wordt in dit werkdocument nader ingegaan op de gevoeligheid van de waterstand in Hoek van Holland voor de windstress. Ter vergelijking wordt deze gevoeligheid zowel voor het Dutch Continental Shelf Model als voor het Zuidelijke Noordzee Model bepaald. Uit deze gevoeligheid en een gegeven windveld wordt het effect op de waterstand, de opzet, berekend. Dit wordt vergeleken met de opzet die bepaald wordt met een voorwaartse WAQUA-berekening.

Uit deze berekeningen blijkt dat de gevoeligheid voor de windstress in het Dutch Continental Shelf Model een soortgelijke verspreiding oplevert als in het Zuidelijke Noordzee Model. Daarnaast is voor beide modellen de opzet die wordt berekend met behulp van het geadjungeerde model in dezelfde orde als de opzet bepaald uit een voorwaartse WAQUA-berekening. Hieruit kan geconcludeerd worden dat gevoeligheidsonderzoek met behulp van het geadjungeerde model betrouwbare en bruikbare resultaten oplevert.

1 Inleiding

In het kader van het onderdeel "Begrenzing Modellen" van het project Nautilus wordt er gewerkt aan een instrument waarmee de voorspelhorizon kan worden bepaald voor een gegeven modelgebied of (omgekeerd) de begrenzing van het model voor een gegeven voorspelhorizon. De voorspelhorizon is de maximale periode in de 'toekomst' waarvoor met het model een goede en betrouwbare voorspelling kan worden gemaakt. Om de begrenzing van een model doelmatig te kunnen kiezen, is het wenselijk van te voren inzicht te hebben in de verschillende gevoeligheden in het model. De methode die hiervoor wordt gebruikt is beschreven in het eerste deelrapport van "Begrenzing Modellen" en is gebaseerd op geadjungeerde variabelen (zie werkdocument RIKZ/OS-98.154x [2]).

In 1998 is er een pilot uitgevoerd met het Dutch Continental Shelf Model (DCSM). De resultaten van deze pilot zijn eveneens vastgelegd in [2]. Bij deze pilot is vooral gekeken naar de gevoeligheid van de waterstand op een bepaalde locatie voor waterstanden en snelheden op alle andere locaties in het model. Daarnaast is er ook een begin gemaakt met een onderzoek naar de gevoeligheid voor de windstress. Een van de conclusies van deze eerste pilot was, dat de gevoeligheid van de waterstand in Hoek van Holland voor de windstress voor het grootste gedeelte beperkt blijft tot de Zuidelijke Noordzee. Deze conclusie was gebaseerd op een berekening met het geadjungeerde model en alleen voor DCSM. Om deze conclusie nader te onderzoeken en daarmee meer inzicht te krijgen in de bruikbaarheid van geadjungeerde variabelen voor gevoeligheidsonderzoek, is in de eerste helft van 1999 aandacht besteed aan de volgende aspecten:

- Zijn de resultaten van het kromlijnige Zuidelijke Noordzee Model (ZNZ) vergelijkbaar met de resultaten van DCSM?
- In hoeverre komen de resultaten van de berekeningen met geadjungeerde variabelen overeen met voorwaartse (WAQUA) berekeningen?

Dit werkdocument is het vervolg op [2] en beschrijft de resultaten van bovenstaand onderzoek. In hoofdstuk 2 worden eerst de factoren, die van belang zijn bij het vergelijken van verschillende modellen op een rijtje gezet. Hoofdstuk 3 beschrijft vervolgens de resultaten van de pilot windstress voor DCSM en ZNZ, waarbij op bovenstaande vragen ingegaan wordt. Bij de berekeningen is voor DCSM versie DCSM98 gebruikt en voor ZNZ de gecalibreerde versie zoals beschreven in [1]. Tenslotte worden in hoofdstuk 4 de conclusies en aanbevelingen gegeven.

2 Model-specifieke eigenschappen van geadjungeerde variabelen

Als het geadjungeerde model (WAQAD) met een puls wordt geforceerd, beschrijven de geadjungeerde variabelen de gevoeligheid van een modelvariabele (waterstand of snelheid op een bepaalde locatie) voor waterstanden en snelheden in het gehele model (zie [2]). De verspreiding van deze gevoeligheden in de tijd zal voor verschillende modellen onder dezelfde voorwaarden globaal hetzelfde beeld moeten opleveren. Wel moet er bij het vergelijken van de gevoeligheden voor waterstanden en snelheden van verschillende modellen voor een aantal factoren gecorrigeerd worden (zie ook bijlage A):

- De pulsamplitude. Het geadjungeerde model is lineair, dus een twee keer zo grote puls zal een twee keer zo grote respons geven. Als er een gladde puls wordt gebruikt wordt WAQAD geforceerd met een reeks pulsen, die door een toenemende en vervolgens weer afnemende amplitude samen een gladde puls vormen (zie [2]). In dat geval moet er gecorrigeerd worden voor de som van al deze pulsamplitudes.
- De tijdstap van het model. WAQAD is zo opgezet dat een sommatie van de geadjungeerde variabelen over alle tijdstappen in een bepaald tijdsinterval niet beïnvloed wordt door de tijdstap. Hoe groter de tijdstap des te minder waardes zich in het tijdsinterval bevinden. Geadjungeerde variabelen hebben dus een grotere amplitude bij een grotere tijdstap. Zodra er gesommeerd wordt over alle tijdstappen, zoals bij de berekening van de gevoeligheid voor de windstress (zie paragraaf 3.2), is deze correctie niet meer nodig.
- De gridcelgroottes in het model. Hiervoor geldt een soortgelijke reden als bij de tijdstap: WAQAD is zo opgezet dat een sommatie van de geadjungeerde variabelen over een bepaald gebied niet beïnvloed wordt door de gridcelgrootte. Geadjungeerde variabelen hebben dus een grotere amplitude bij een grotere gridcelgrootte. Zodra er gesommeerd wordt over alle gridcellen, zoals bij de berekening van de opzet (zie paragraaf 3.3), is deze correctie niet meer nodig. Deze correctie is trouwens niet alleen van belang bij het vergelijken van verschillende modellen, maar ook bij het bestuderen van de gevoeligheid in een kromlijng model, omdat in dat geval de gridcelgrootte in het model zelf ook varieert.

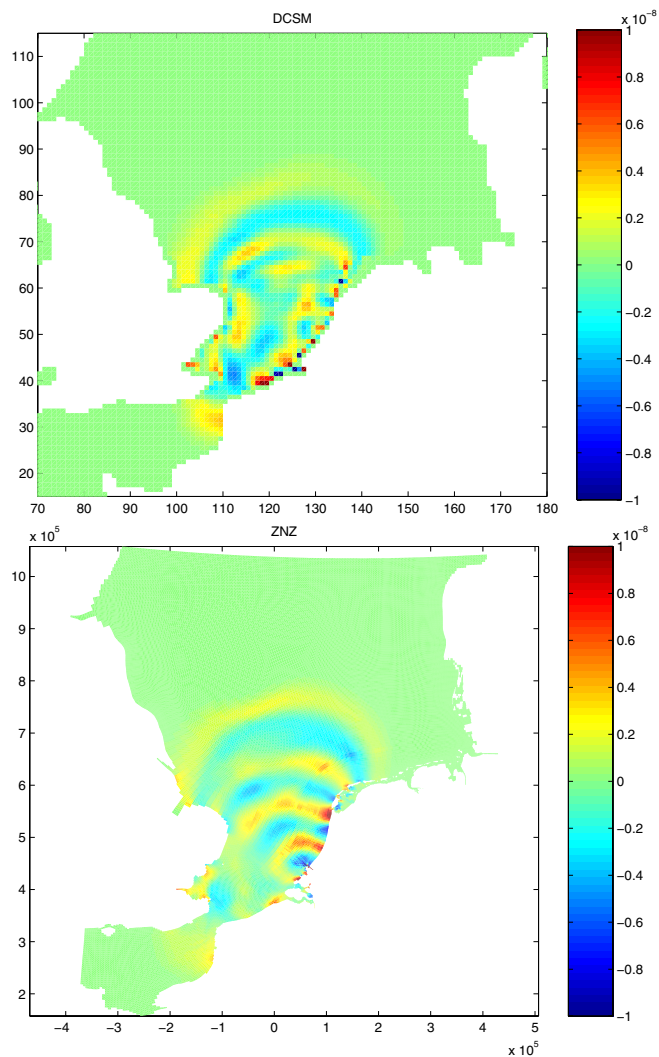
Tabel 2.1: Beschrijving van de experimenten met DCSM en ZNZ

Instellingen	DCSM	ZNZ
start simulatie	07 MAR 1976	07 MAR 1976
tijdstap	10 min.	5 min.
puls	glad	glad
pulslocatie	Hoek van Holland	Hoek van Holland
tijdstip puls maximum (minuten na start)	4320	4320
som pulsamplitudes	7 m	1 m

Als voorbeeld is zowel met het Dutch Continental Shelf Model (DCSM) als met het Zuidelijke Noordzee Model (ZNZ) een WAQAD-berekening uitgevoerd, waarbij een waterstandspuls in Hoek van Holland is opgelegd (zie tabel 2.1). In

beide gevallen is een gladde puls opgelegd, maar de som van de pulsamplitudes, de tijdstap en de gridcelgroottes zijn verschillend. De geadjungeerde variabelen uit deze berekeningen zijn in dit geval gelijk aan de gevoeligheid van de waterstand in Hoek van Holland voor waterstanden en snelheden in andere gridcellen en op andere tijdstippen. In figuur 2.1 wordt de gevoeligheid weergegeven van de waterstand in Hoek van Holland voor de waterstanden op andere locaties 5 uur eerder voor zowel DCSM als ZNZ, waarbij bovenstaande correcties zijn toegepast. In beide modellen wordt dan een soortgelijke verspreiding van de gevoeligheden geconstateerd. Door het grove rooster van DCSM zijn er lokaal (vooral aan de kust) verschillen, maar het beeld komt grotendeels overeen.

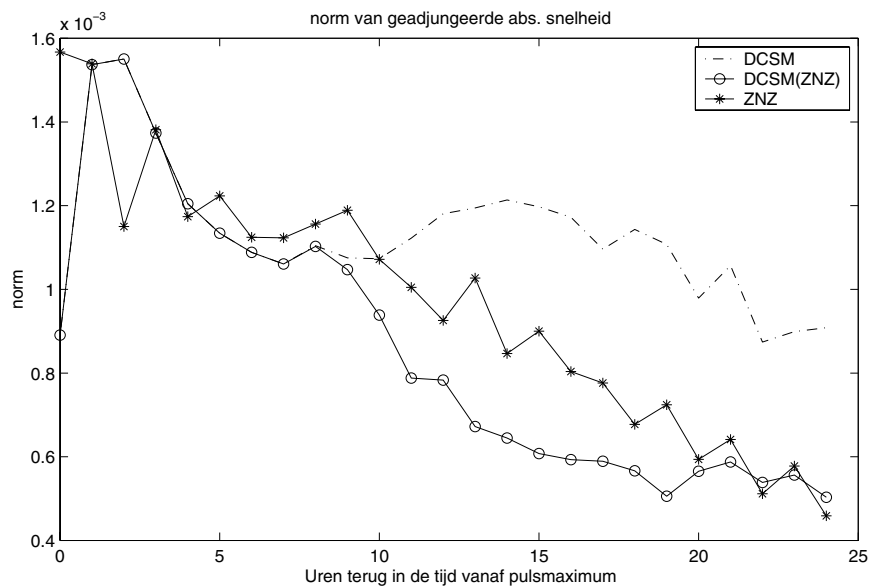
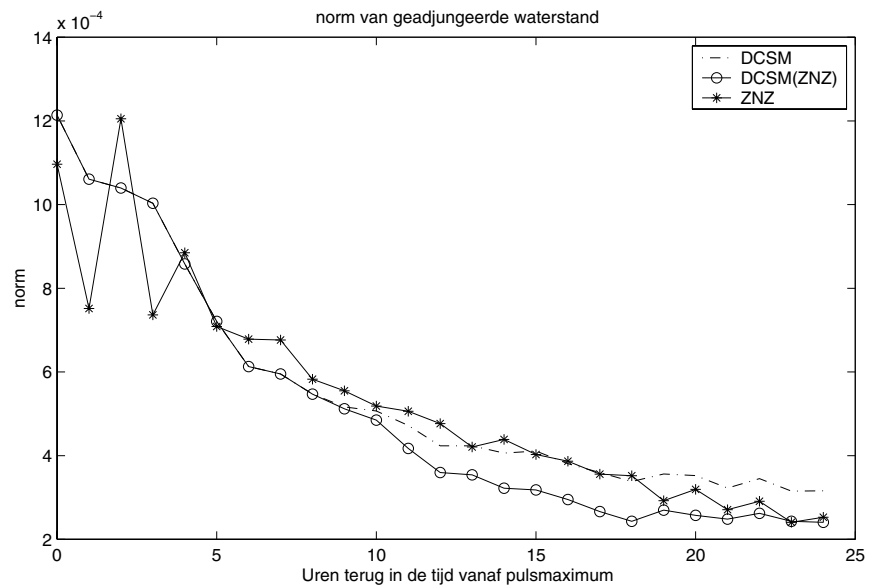
Figuur 2.1: gevoeligheid van de waterstand in Hoek van Holland voor de waterstand 5 uur eerder op alle andere locaties in het model DCSM (boven) en ZNZ (onder). Hierbij zijn de geadjungeerde variabelen gecorrigeerd voor de som van de pulsamplitudes, de gridcelgrootte en de tijdstap van het model.



Ook bij de berekening van de norm moet rekening gehouden worden met de som van de pulsamplitudes, de tijdstap en de gridcelgroottes. In bijlage A wordt beschreven hoe zo'n modelonafhankelijke norm berekend kan worden. Figuur 2.2 geeft het verloop van deze modelonafhankelijke norm weer voor DCSM, ZNZ en een gebied ongeveer ter grootte van ZNZ in DCSM ($70 \leq m \leq 173$, $10 \leq n \leq 112$). Vooral de norm van de geadjungeerde waterstand vertoont grote overeenkomsten. Bij de norm van de geadjungeerde snelheid zijn de verschillen groter. Dit wordt veroorzaakt doordat in de diepe gebieden van DCSM de gevoeligheid voor de snelheid relatief groot is (zie ook [2]). Omdat een

verstoring van de snelheid in die diepe gebieden erg onwaarschijnlijk is zou een correctie van de geadjungeerde snelheid met \sqrt{h} of h (met h de diepte) een realistischer beeld opleveren.

Figuur 2.2: modelonafhankelijke norm van geadjungeerde waterstand (boven) en geadjungeerde snelheid (onder) gecorrigeerd voor de som van de pulsamplitudes, de gridcelgrootte en de tijdstap van het model. De norm is weergegeven voor DCSM (-.), een gebied ter grootte van ZNZ in DCSM (\emptyset) en ZNZ (*).



3 Pilot windstress: DCSM en ZNZ

3.1 Inleiding

In [2] is een afleiding gegeven van de bepaling van de gevoeligheid voor de windstress uit geadjungeerde variabelen en is de gevoeligheid van de waterstand in Hoek van Holland voor de windstress bepaald in het Dutch Continental Shelf Model (DCSM). Deze gevoeligheid bleek zich te beperken tot de Zuidelijke Noordzee en was dus vrij lokaal. In dit hoofdstuk wordt hierop verder ingegaan door deze berekeningen ook voor het Zuidelijke Noordzee Model (ZNZ) uit te voeren en de resultaten te vergelijken met voorwaartse WAQUA-berekeningen.

3.2 Gevoeligheid voor windstress

Om DCSM met ZNZ te vergelijken is voor beide modellen een berekening uitgevoerd met de puls-optie van WAQAD, waarbij een puls in Hoek van Holland is opgelegd. Het pulsmaximum vindt in beide gevallen plaats op het tweede hoogwater van 10 februari 1989 (om 16:20). Ook de start van de simulatie en de som van de pulsamplitudes is identiek (zie tabel 3.1). De modellen verschillen uiteraard in gridcelgrootte en tijdstap.

Tabel 3.1: Beschrijving van de experimenten met DCSM en ZNZ voor windstress

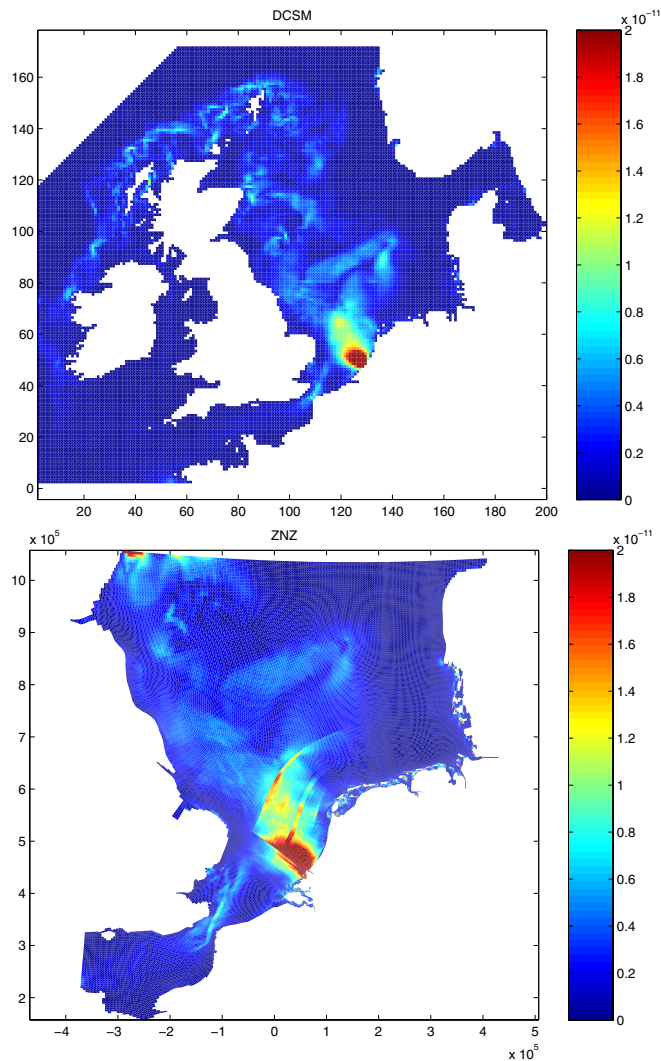
Instellingen	DCSM	ZNZ
start simulatie	05 FEB 1989, 16:20	05 FEB 1989, 16:20
tijdstap	10 min.	5 min.
puls	glad	glad
pulslocatie	Hoek van Holland	Hoek van Holland
tijdstip puls maximum (minuten na start)	7200	7200
som pulsamplitudes	1 m	1 m

In figuur 3.1 wordt zowel voor DCSM als voor ZNZ de gevoeligheid van de waterstand in Hoek van Holland voor de windstress weergegeven, waarbij gecorrigeerd is voor de gridcelgroottes (zie hoofdstuk 2). De geadjungeerde variabelen zijn over 96 uur (vanaf 4 dagen voor de puls t/m de puls) gesommeerd. Het gebied waarover de gevoeligheden in de Zuidelijke Noordzee zich uitstrekken is wederom vrij klein en komt in beide figuren behoorlijk overeen. Bij ZNZ is een artefact bij de noordrand zichtbaar en bovendien blijken er scherpe overgangen in de gevoeligheid te zijn. De locatie van deze overgangen komt overeen met de locatie van discontinuïteiten in het chezy-veld van ZNZ. Dit betekent verrassend genoeg dat de gevoeligheid van de waterstand voor de windstress behoorlijk beïnvloed wordt door deze discontinuïteiten. Tot nu toe werd het chezy-veld meestal in blokken gedefinieerd, onder de aanname dat discontinuïteiten in het chezy-veld geen nadelig effect op de berekening hebben. Op basis van figuur 3.1 kan geconcludeerd worden dat deze aanname niet altijd opgaat en dat het beter is een glad chezy-veld te construeren.

Figuur 3.1 verschilt wel enigszins van figuur 3.7 in [2], waar ook de gevoeligheid van de waterstand in Hoek van Holland voor de windstress voor DCSM wordt getoond. Dit kan de volgende oorzaken hebben:

- De windstress is nu bepaald over 96 uur en in [2] over 18 uur. Uit de berekening van de opzet in paragraaf 3.3 blijkt dat dit wel verschil uitmaakt.
- De berekening in [2] startte op 7 maart 1976; op dat moment was het dood tij. De huidige berekening valt in springtij. Uit paragraaf 3.5 zal blijken dat ook dit verschillen te zien geeft.
- De schaling is anders, omdat er nu gecorrigeerd is voor gridcelgrootte, tijdstap en som van de pulsamplitudes.

Figuur 3.1: gevoeligheid van de waterstand in Hoek van Holland voor de windstress over 96 uur voor DCSM (boven) en ZNZ (onder).

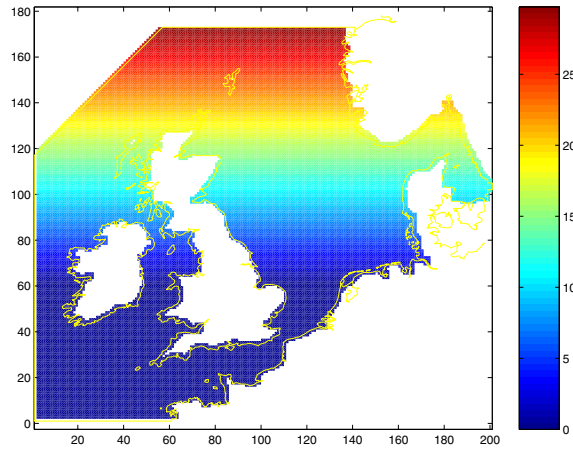


3.3 Opzet berekend met geadjungeerde variabelen

In bijlage B wordt beschreven hoe uit de gevoeligheid voor de windstress en een gegeven windveld een opzet berekend kan worden. Het windveld dat gebruikt wordt om opzetten te bepalen voor de berekeningen uit tabel 3.1 is gegeven in figuur 3.2. Dit windveld bestaat uit een Noordenwind, die maximaal is (30 m/s) aan de noordrand van DCSM ($n=173$) en lineair afneemt naar het zuiden tot 0 m/s ter hoogte van Noord Nederland ($n=60$). In het zuiden is de

windsnelheid overal gelijk aan 0 m/s. Dit windveld is zo gekozen om te verifiëren in de voorwaartse berekening (zie 3.4) of de gevoeligheid voor de windstress inderdaad lokaal bepaald is.

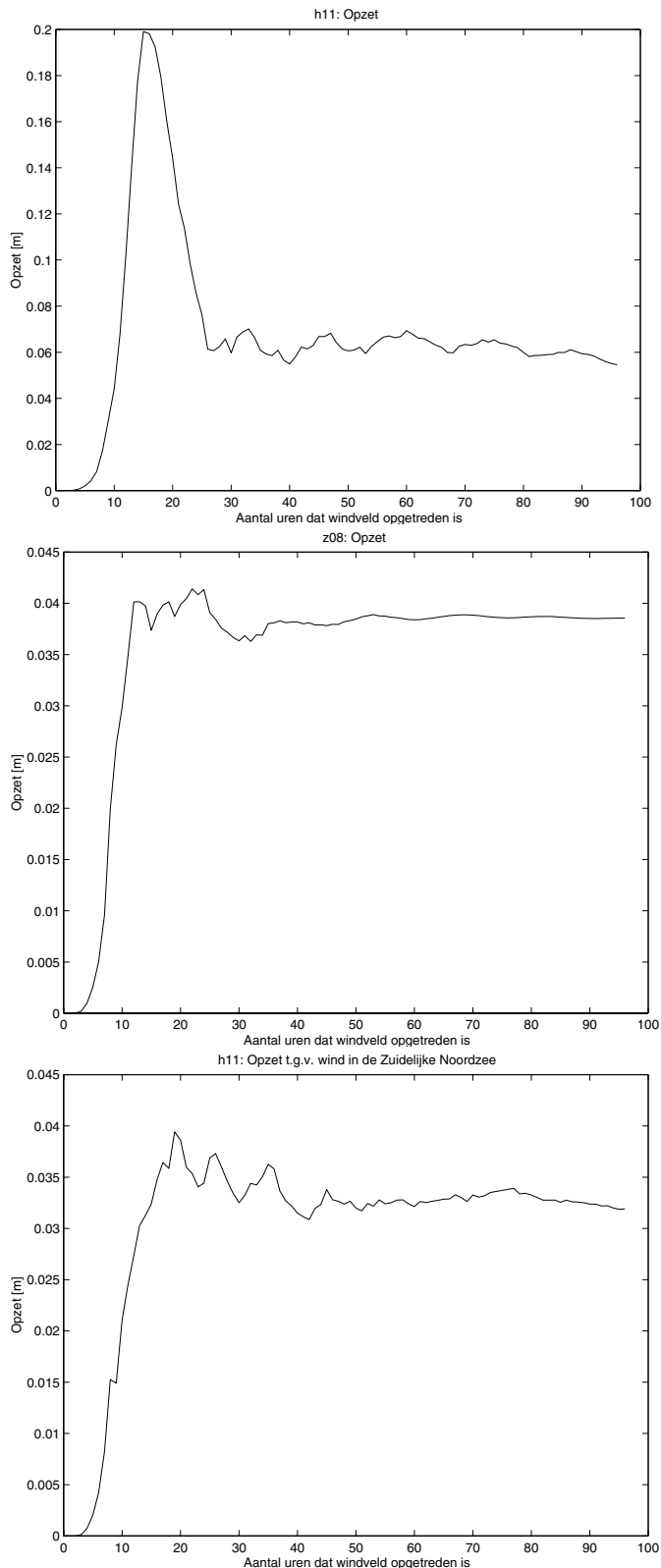
Figuur 3.2: windveld gebruikt voor de opzetberekeningen.



De wind zoals gegeven in figuur 3.2 is gebruikt om uit de gevoeligheid voor de windstress de opzet in Hoek van Holland op 10 februari 1989 om 16:20 te bepalen (vergelijking (B.2)). Voor de omrekening van windsnelheid naar windstress is vergelijking B.4 gebruikt (met $C_d^{laag}=0.00114$, $C_d^{hoog}=0.00258$, $W^{laag}=10.2$ en $W^{hoog}=15.9$). In figuur 3.3 is deze opzet weergegeven als functie van het aantal uren voor het pulsmaximum dat meegenomen is in de sommatie van vergelijking (B.2). Dit aantal uren kan worden beschouwd als het aantal uren vóór 10 februari 1989 om 16:20 dat het windveld al optreedt. De verwachting is dat de opzet op een gegeven moment zal convergeren naar een constante waarde, die kan worden beschouwd als de opzet die ontstaat bij een langdurige constante wind.

Bij DCSM zien we bij de opzet in Hoek van Holland in eerste instantie een grote piek van 20 cm, waarna de opzet min of meer convergeert: het gemiddelde over de laatste 48 uur is 6.1 cm. Bij ZNZ is er nauwelijks een piek waarneembaar en is de convergentie duidelijker: het gemiddelde over de laatste 48 uur is 3.9 cm. In figuur 3.3 is ook de opzet weergegeven, zoals die wordt berekend met DCSM, maar dan met een gebied ongeveer ter grootte van ZNZ ($70 \leq m \leq 173$, $10 \leq n \leq 112$). Deze figuur vertoont grote overeenkomsten met de figuur van ZNZ. Omdat ook hier de piek ontbreekt is het duidelijk dat de piek bij DCSM tot stand komt in het buitengebied.

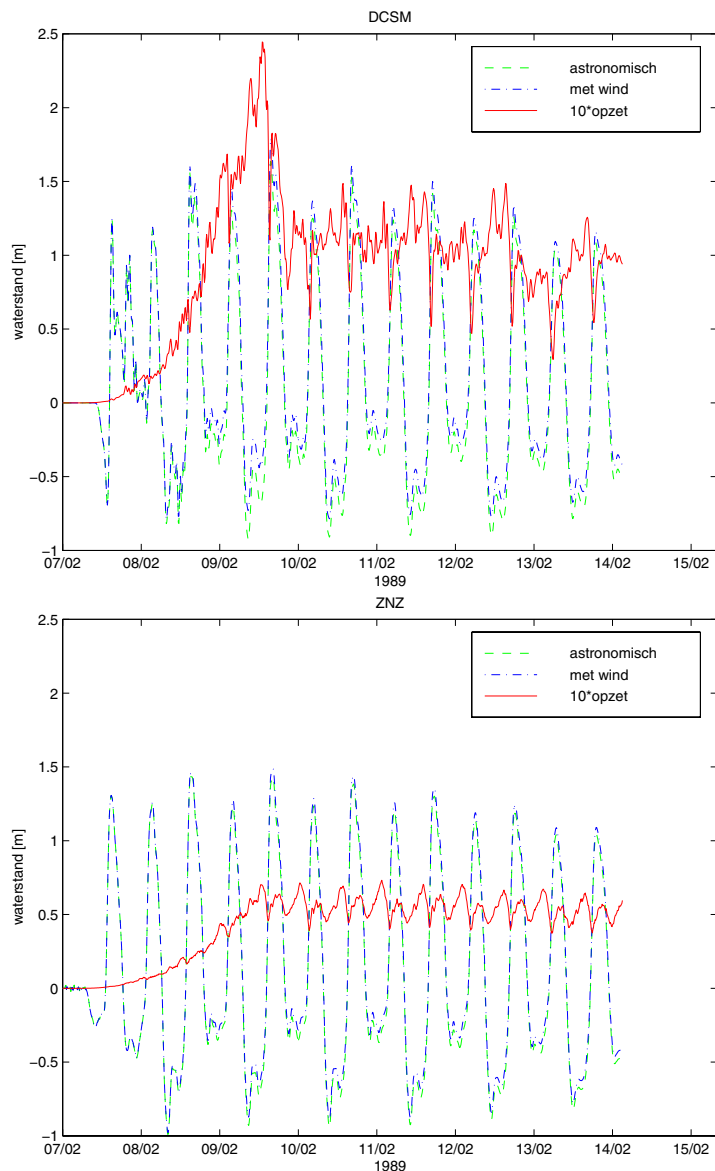
Figuur 3.3: opzet berekend uit geadjungeerde variabelen als functie van het aantal uren dat de wind is opgetreden voor DCSM (boven), ZNZ (midden) en een gebied ter grootte van ZNZ in DCSM (onder). Het pulsmaximum is op 10 februari 1989 om 16:20 (springtij).



3.4 Opzet berekend met WAQUA

Het windveld van figuur 3.2 is ook gebruikt om zowel bij DCSM als bij ZNZ een voorwaartse WAQUA-berekening uit te voeren. De verwachting op basis van de berekende gevoeligheden (figuur 3.1) is, dat de opzet niet erg hoog zal zijn, omdat de windsnelheid laag is op de locaties waar de gevoeligheden hoog zijn. De berekening heeft als startdatum 7 februari 1989. De eerste twee dagen worden gebruikt om de wind van 0 m/s over het gehele gebied lineair te laten toenemen tot het windveld, zoals het in figuur 3.3 is gegeven. Vanaf 9 februari is de wind tijdconstant. In figuur 3.4 is het resultaat van deze berekening vergeleken met een berekening van het astronomisch getij. In deze figuur is de opzet (het verschil tussen de tijdreeks ten gevolge van de wind en de astronomische tijdreeks) met 10 vermenigvuldigd om de opzet duidelijker zichtbaar te maken. De variaties in de (rechte) opzet worden gedeeltelijk veroorzaakt doordat het hoogwater bij de situatie met wind iets eerder komt (ongeveer 3 minuten) dan in astronomische omstandigheden. Deze vervroeging wordt veroorzaakt door de interactie tussen wind en getij, een niet-lineair effect dat niet door het geadjungeerde model kan worden gereproduceerd.

Figuur 3.4: Opzet in Hoek van Holland (vermenigvuldigd met een factor 10) voorwaarts berekend met WAQUA voor DCSM (boven) en ZNZ (onder). Het gebruikte windveld voor beide modellen is gegeven in figuur 3.2.



Wat verder opvalt is de enorme piek in opzet die optreedt op 9 februari bij DCSM. Deze piek is vergelijkbaar met de piek in figuur 3.1. Een dergelijk effect werd ook gevonden in een onderzoek dat beschreven wordt in [3], waarin modelberekeningen zonder getij zijn uitgevoerd. Waarschijnlijk veroorzaakt de enorme toename van de wind in het Noorden een schokeffect in het model (ondanks de inspeelperiode voor de wind), die zich vertaalt in een hoge opzet. Bij ZNZ treedt dit effect niet op, omdat er geen extreme windsnelheden binnen het ZNZ-gebied vallen. De wind is er maximaal 14 m/s.

Tabel 3.2: Opzet in Hoek van Holland op 10 februari 1989 om 16:20, zoals berekend met geadjungeerde variabelen (achterwaarts) en met WAQUA (voorwaarts)

Opzet (cm)	DCSM	ZNZ
Achterwaarts	6.1	3.9
Voorwaarts	8.4	5.6

De opzet op 10 februari 1989 om 16:20 is bij DCSM gelijk aan 8.4 cm en bij ZNZ 5.6 cm. In tabel 3.2 wordt deze opzet weergegeven samen met de opzet zoals berekend met geadjungeerde variabelen. Gezien de zeer verschillende methodes waarmee de opzetten voorwaarts en achterwaarts bepaald zijn is de overeenkomst tussen deze getallen en de figuren 3.1 en 3.4 erg goed. De opzet is in beide gevallen niet erg groot. Blijkbaar is de gevoeligheid voor de wind inderdaad behoorlijk lokaal en heeft een sterke wind ver van Hoek van Holland weinig effect op de waterstand op die locatie. Verder moet worden opgemerkt dat het geadjungeerde model lineair is en dus bepaalde niet-lineaire effecten niet kan reproduceren. Het effect van een sterke wind in het noorden van het model doet er lang over voordat het bij Hoek van Holland is en zal relatief sterk beïnvloed worden door de optelsom van kleine niet-lineaire effecten.

3.5 Discussie

Uit de gevoeligheid voor de windstress (bepaald met geadjungeerde variabelen) en een gegeven windveld kan een opzet berekend worden die redelijk overeenkomt met de opzet uit een voorwaartse WAQUA-berekening. Dit geldt zowel voor resultaten van DCSM als van ZNZ. Hiermee is het vertrouwen in de bruikbaarheid van geadjungeerde variabelen voor gevoeligheidsonderzoek gesterkt. Dit was het primaire doel van deze experimenten. In een volgende stap zou onderzocht kunnen worden of deze methode ook bruikbaar is voor de bepaling van een eerste indruk van de opzet uit een voorspeld windveld. Op dit moment wordt daarvoor de Vakkenmethode gebruikt. De Vakkenmethode beschrijft een eenvoudige relatie tussen de gemiddelde voorspelde wind in zes vakken op de Noordzee en de langs de kust te verwachten opzet (voor vijf stations).

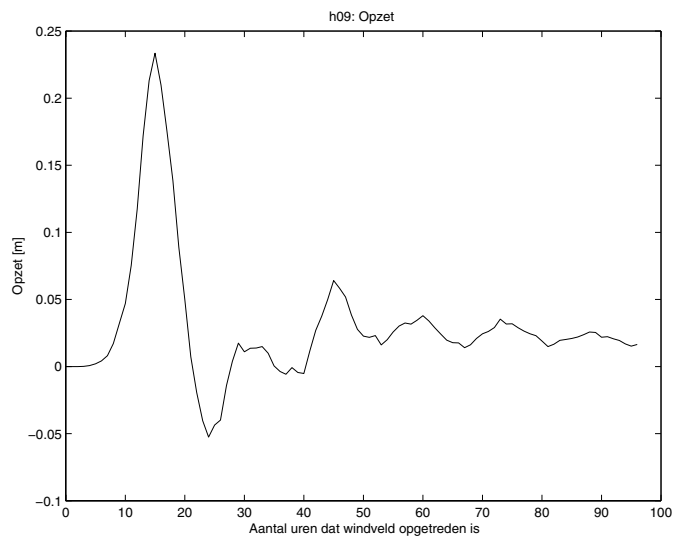
Als alternatief voor de vakkenmethode zou de methode, zoals in paragraaf 3.3 is toegepast gebruikt kunnen worden. Deze methode is heel snel, omdat vooraf per station de gevoeligheden voor de windstress berekend kunnen worden. Vervolgens kan met ieder beschikbaar windveld een opzet worden bepaald. Om zover te komen zou er aan een aantal zaken nog aandacht besteed moeten worden:

- In hoeverre is de berekende gevoeligheid voor de windstress tijdsafhankelijk? Figuur 3.5 toont de met geadjungeerde variabelen berekende opzet in Hoek van Holland voor een doodtij situatie in DCSM (10

maart 1976). Dit geeft een ander beeld dan figuur 3.3, waar een springtij situatie geldt. Voor de bruikbaarheid van deze methode moet dus eerst nader onderzocht worden voor welke situaties verschillende gevoeligheden en opzetten gelden.

- Om te onderzoeken of de methode bruikbaar is moet bekeken worden of met een realistischer, tijdafhankelijk windveld ook betrouwbare opzetten berekend kunnen worden. Voor de berekening van de opzet kan dan nog steeds vergelijking B.2 gebruikt worden, waarbij de windstress tijdsafhankelijk is.

Figuur 3.5: opzet berekend uit geadjungeerde variabelen als functie van het aantal uren dat de wind is opgetreden. Het pulsmaximum is op 10 maart 1976 om 0:00 (doodtij).



4 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

Dit werkdocument beschrijft de resultaten van de pilot windstress voor het Dutch Continental Shelf Model en het Zuidelijke Noordzee Model. Het doel was om meer inzicht te krijgen in de bruikbaarheid van geadjungeerde variabelen voor gevoeligheidsonderzoek. Hiertoe is zowel een vergelijking gemaakt tussen de twee modellen onderling als een vergelijking met voorwaartse WAQUA-berekeningen. Uit deze pilot kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Het gebruik van geadjungeerde variabelen voor onderzoek naar de verspreiding van gevoeligheden geeft een eenduidig beeld voor het Dutch Continental Shelf Model en het Zuidelijke Noordzee Model. Zowel de gevoeligheid van de waterstand in Hoek van Holland voor de waterstand elders in het model 5 uur eerder als de gevoeligheid voor de windstress geeft een soortgelijke verspreiding te zien in beide modellen.
- De gevoeligheid voor de windstress berekend uit geadjungeerde variabelen kan gebruikt worden om met een gegeven windveld een opzet te bepalen. Deze opzet is in dezelfde orde als de opzet bepaald uit een voorwaartse WAQUA-berekening met hetzelfde windveld.
- Bovenstaande conclusies geven vertrouwen dat gevoeligheidsonderzoek met behulp van het geadjungeerde model betrouwbare en bruikbare resultaten oplevert.
- Als de geadjungeerde variabelen van verschillende modellen met elkaar vergeleken worden moet er gecorrigeerd worden voor de tijdstap, de gridcelgrootte en de (som van de) pulsamplitudes.
- De gevoeligheid van de waterstand voor de windstress wordt beïnvloed door discontinuïteiten in het chezy-veld. Het daarom raadzaam het chezy-veld voor gebruik gladder te maken.

Aanbevelingen en verder onderzoek

- Tot nu toe is alleen de gevoeligheid van de waterstand op een bepaalde locatie voor andere variabelen in het model bestudeerd. In het kader van "Begrenzing Modellen" zal een pilot worden uitgevoerd met het Rijmamo-grof 2D model, waarbij de nadruk zal liggen op de gevoeligheid van de snelheid op een bepaalde locatie. Eind 1999 zal hierover een volgend werkdocument verschijnen.
- De gevoeligheid voor de windstress berekend uit geadjungeerde variabelen kan gebruikt worden om met een gegeven windveld een opzet te bepalen. Voor de bruikbaarheid van deze methode om in operationele situaties een eerste indruk van de opzet uit een voorspeld windveld te krijgen zou nog verder onderzoek verricht moeten worden (zie paragraaf 3.5).

Referenties

- [1] Brummelhuis, P.G.J. ten, et al., *Calibration of the ZNZ model, Calibration on tidal water levels using WAQAD*, WLIDelft Hydraulics, 1998
- [2] Gebraad, A.W., M. Verlaan, *Begrenzing van Modellen, Gevoeligheidsonderzoek met geadjungeerde variabelen*, werkdocument RIKZ/OS-98.154x
- [3] Philippart, M.E., *De basispeilen langs de Nederlandse kust, ruimtelijke verdeling van basis- en ontwerppeilen in deelgebied gesloten kust*, werkdocument RIKZ/OS-95.107x

Bijlage A: Berekening van een modelonafhankelijke norm

De geadjungeerde variabelen zoals ze door WAQAD worden weggeschreven (λ_k^*) zijn een discrete versie van de theoretische geadjungeerde variabelen (λ_k). Om modelonafhankelijke geadjungeerde variabelen te krijgen moet λ_k^* gecorrigeerd worden voor de som van de pulsamplitudes (S), de tijdstap (δt) en de gridcelgroottes (δA) (zie hoofdstuk 2):

$$\lambda_k = \frac{\lambda_k^*}{\delta t \cdot \delta A \cdot S}$$

De norm is gedefinieerd als (zie [2]):

$$L(k) = \sqrt{\int \lambda_k^2 dA} \approx \sqrt{\sum \lambda_k^2 \delta A}$$

Een modelonafhankelijke norm wordt dus uit de geadjungeerde variabelen van WAQAD bepaald met:

$$L(k) \approx \frac{1}{\delta t \cdot S} \sqrt{\sum \frac{\lambda_k^{*2}}{\delta A}}$$

Bijlage B: Berekening van opzet uit gevoeligheid voor de windstress

In [2] is afgeleid dat de gevoeligheid van variabele y_M (waterstand of snelheid op een bepaalde locatie op tijdstip M) voor windstress (τ_x, τ_y) wordt gegeven door:

$$\frac{\partial y_M}{\partial \tau_x} = \frac{1}{\rho_w H} \sum_{k=0}^{N-1} \lambda_{k+1}^u = \frac{1}{\rho_w H} \sum_{k=0}^M \frac{\partial y_M}{\partial u_k} \quad (\text{B.1a})$$

en

$$\frac{\partial y_M}{\partial \tau_y} = \frac{1}{\rho_w H} \sum_{k=0}^{N-1} \lambda_{k+1}^v = \frac{1}{\rho_w H} \sum_{k=0}^M \frac{\partial y_M}{\partial v_k} \quad (\text{B.1b})$$

Hierin is ρ_w de dichtheid van water en H de diepte (waarbij de waterstand verwaarloosbaar klein t.o.v. de diepte is verondersteld). Verder zijn λ^u en λ^v de geadjungeerde snelheid in u - en v -richting, die in het geval van een puls de gevoeligheid van y_M voor de snelheid op alle locaties in het model beschrijven. De gevoeligheid van y_M voor de windstress is dus opgebouwd uit een sommatie van gevoeligheden van y_M voor de snelheid in het gehele model op alle tijdstappen vóór y_M in de simulatie. Met de optie CUMSUM in WAQAD worden (in plaats van de geadjungeerde variabelen op bepaalde tijdstappen) de cumulatieve som van de geadjungeerde variabelen weggeschreven op die tijdstappen. Hiermee kan B.1 eenvoudig bepaald worden.

De gevoeligheden voor de windstress kunnen worden gebruikt om bij een gegeven windstress (τ_x, τ_y) (die niet tijdconstant hoeft te zijn) het effect Δy_M op y_M te bepalen, waarbij een sommatie over (m,n) een sommatie over alle gridcellen weergeeft:

$$\Delta y_M = \sum_{m,n} \left(\tau_x \frac{\partial y_M}{\partial \tau_x} + \tau_y \frac{\partial y_M}{\partial \tau_y} \right) = \frac{1}{\rho_w H} \sum_{k=0}^M \sum_{m,n} \left(\tau_x \frac{\partial y_M}{\partial u_k} + \tau_y \frac{\partial y_M}{\partial v_k} \right) \quad (\text{B.2})$$

Het effect Δy_M op y_M is dus zowel een sommatie van effecten uit het verleden als een sommatie van effecten in de ruimte. Bij een tijdconstant windveld kan de lengte van het tijdsinterval dat in de sommatie gebruikt wordt beschouwd worden als de hoeveelheid tijd dat het windveld al is opgetreden. Als y_M de waterstand op een bepaalde locatie beschrijft, is Δy_M de opzet in die locatie.

Als het windveld gegeven is in windsnelheden (W_x, W_y) moeten die eerst omgerekend worden naar windstress met behulp van de volgende empirische relatie:

$$\tau_x = \rho_a C_d W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (\text{B.3a})$$

$$\tau_y = \rho_a C_d W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (\text{B.3b})$$

Hierin is ρ_a de dichtheid van lucht en C_d de winddragcoëfficiënt. De winddragcoëfficiënt is afhankelijk van de windsnelheid. In deze studie is de knikfunctie gebruikt, waarbij de C_d constant wordt verondersteld voor hele lage en hele hoge windsnelheden, en daar tussenin lineair afhankelijk van de windsnelheid:

$$C_d = \begin{cases} C_d^{laag} & W < W^{laag} \\ C_d^{laag} + \frac{W - W^{laag}}{W^{hoog} - W^{laag}} (C_d^{hoog} - C_d^{laag}) & W^{laag} \leq W \leq W^{hoog} \\ C_d^{hoog} & W > W^{hoog} \end{cases} \quad (B.4)$$

Hierin is W de absolute snelheid en zijn C_d^{laag} , C_d^{hoog} , W^{laag} en W^{hoog} door de gebruiker te kiezen constanten.