SVAŠEK

coastal & harbour
engineering consultants

Getij in de Westerschelde

Verslag van de discussies op 14 oktober 1999

99502/1133

30 november 1999

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Aan
Deelnemers aan workshop discussie getij in de Westerschelde.

Contactpersoon
Mw. ir. A. Arends
Datum
9 februari 2000
Ons kenmerk
RIKZ/
Onderwerp
Toezending rapport getij in de Westerschelde; Verslag van de discussie op 14 oktober

Doorkiesnummer
0118-672301
Bijlage(n)
-
Uw kenmerk
-
Product
zeekennis

Geachte heer,

Hierbij zendt ik u het verslag van de workshop over het getij in de Westerschelde d.d. 14 oktober 1999. Het rapport bevat naast een weergave van de presentaties die gehouden zijn een verslag van de discussie.

Op grond van de resultaten van de discussie is met Directie Zeeland overleg geweest over de te volgen aanpak voor vervolgstudies. Besloten is om de studie naar veiligheid en interactie morfologie en getij te splitsen. Tot nu toe is geprobeerd deze twee zaken in een studie te verenigen, hetgeen niet haalbaar gebleken is. Binnen het onderdeel veiligheid zal de aandacht vooral gericht zijn op de voortplanting van het getij onder extreme omstandigheden. Daartoe zullen een tweetal studies uitgevoerd worden.

Bij het optreden van een extreme omstandigheid is de bodemgeometrie een gegeven. Deze zal in de loop der tijd door menselijke ingrepen en natuurlijke morfologische processen wel veranderen, waardoor ook de voortplanting van de hoogwatergolf anders zal zijn. Daarnaast zijn de hydraulische randvoorwaarden vanuit de Noordzee ook van belang voor de optredende hoogwaterstand. Welke van deze twee factoren het meest dominant is, is van belang voor vervolg onderzoek naar de toekomstige ontwikkeling van de hoogwaterstand.

Omdat door menselijk ingrijpen de bodemgeometrie verandert, zal ook onderzoek nodig zijn naar de invloed van de bodemgeometrie op de voortplanting van de hoogwatergolf. Vragen die hierbij van essentieel belang zijn, zijn stijgen de extreme hoogwaterstanden als gevolg van de verruiming van de vaargeul en de zandwinning? En is er een soort omslagpunt denkbaar waarbij de bodem dusdanig veranderd is dat de extreme hoogwaters onevenredig snel stijgen?

Vestiging Middelburg
Postbus 8039, 4330 EA Middelburg
Bezoekadres Grenadierweg 31

Telefoon 0118 672200
Telefax 0118 651046

Op 20 minuten loopafstand vanaf station Middelburg richting industriegebied Arnestein of met treintaxi bereikbaar

Deze twee studies zullen zo snel mogelijk in gang gezet worden.

Daarnaast zal meer fundamenteel onderzoek naar de voortplanting van het getij m.b.v. 1 dimensionale modellen zoals op de workshop gepresteerd is door Dhr. Pieters, worden uitgevoerd. De resultaten van deze studie leveren een bijdrage aan zowel de studie naar veiligheid tegen overstromen als aan de studie naar interactie tussen getij en morfologie.

Bij deze wil ik u nogmaals hartelijk bedanken voor uw bijdrage aan de workshop over het vervolg onderzoek naar het getij in de Westerschelde. Ik hoop ook in de toekomst plezierig met u te kunnen samenwerken.

Met vriendelijke groet,

Aline Arends

Getij in de Westerschelde

Verslag van de discussies op 14 oktober 1999

99502/1133

30 november 1999

1 Inleiding

In de afgelopen jaren hebben verschillende onderzoeken plaatsgevonden met als doel het vergroten van de kennis van het getij in de Westerschelde. Een kort overzicht van deze studies is gegeven in hoofdstuk 2.

In opdracht van het RIKZ is door Ingenieursbureau Svašek bv een discussiebijeenkomst georganiseerd om de onderzoeksresultaten van het project zeekennis en haar voorlopers te integreren en concrete plannen voor vervolgstudies ten aanzien van het getij te ontwikkelen. Deze discussie heeft donderdag 14 oktober 1999 plaatsgevonden in Middelburg.
De volgende personen waren aanwezig:

Directie Zeeland	:	Rob Termaat
RIKZ Middelburg	:	Aline Arends, Bart Kornman, Ad Langerak en Harm Verbeek
Bureau Getijdewateren	:	Tom Pieters
Witteveen en Bos	:	Tjerk Zitman
WL | delft hydraulics	:	Herman Gerritsen, Wang Zheng Bing en Marcel Stive
Svašek	:	Bram Bliek, Arie de Gelder en Michel Ruijter

Tijdens het ochtenddeel hebben de uitvoerders van verschillende studies een presentatie gehouden van hun resultaten en vervolgens op basis van de opgedane ervaring en kennis een voorstel gedaan voor vervolgonderzoek. Hiervan wordt verslag gedaan in hoofdstuk 3.

Tijdens het middagdeel is doorgepraat over de problematiek aan de hand van een aantal discussievragen (zie hoofdstuk 4). Het doel van deze bijeenkomst was om de onderzoeksresultaten te integreren en concrete plannen te maken voor vervolgonderzoek. Een verslag van de discussie is opgenomen in hoofdstuk 5.

In hoofdstuk 6 worden de voornaamste conclusies kort samengevat.

De deelnemers die een presentatie hebben gehouden, hebben daarnaast elk een bijdrage geleverd voor dit rapport (zie de bijlagen).

2 Overzicht uitgevoerde studies

T. Pieters en C. Verspuy; Getijanalyse Schelde-estuarium, Invloed plaatselijke veranderingen bergende oppervlakte op getijvoortplanting, Een analyse met TRECOS-Westerschelde 1997, Rapport BGW – 97.6; oktober 1997

In 1996 en 1997 zijn simulaties uitgevoerd met het door de TU Delft ontwikkelde softwarepakket TRECOS, dat is gekoppeld aan een 1-dimensionaal DUFLOW-model van het Schelde-estuarium. Met dit model zijn de effecten van veranderingen en ingrepen in de bergende oppervlakten op de getijvoortplanting geanalyseerd. Het blijkt dat per locatie en omvang van de ingreep het effect op de waterbeweging (bijvoorbeeld de waterstanden bij Antwerpen) kan verschillen. Dit geldt ook voor verschillende omstandigheden (gemiddeld getij of stormvloed). Ter illustratie: een vergroting van de bergende oppervlakte bij Kruibeke heeft een veel grotere invloed op het getijvolume in de mond dan een even grote verandering bij de grens. Tegelijk is de invloed op de getijslag bij Bath vrijwel even groot.
Een andere conclusie van deze getijanalyse was dat de getijslag bij Antwerpen zeer gevoelig is voor de landwaarts gelegen bergende oppervlakte, gecombineerd met de diepte van de Zeeschelde. Het is waarschijnlijk dat dit in het verleden vaak is onderschat. Ook is vaak aangenomen dat de invloed van de afname van bergende oppervlakte op het getijvolume werd gecompenseerd door de sterkere getijdoordringing door de zich verdiepende geulen. Het is echter heel aannemelijk dat de afnamen van de bergende oppervlakten op de verschillende plaatsen elkaar hebben gecompenseerd (Sloe en Braakman in het westen en anderzijds Saeftinge, Kreekrak en bij Bath in het oosten).

*Svašek bv; Definitiestudie KUST*2000: Westerscheldemond, RKZ-256; december 1995*
Svašek bv; Getijanalyse Westerscheldemond, rapport 97428/1029 (deel 1) en 97462/1029 (deel 2); november 1997
Svašek bv; De rol van het getij in de morfologische ontwikkeling van de Westerscheldemond, een modelmatige onderbouwing, eindrapport getijreconstructie Westerscheldemond, rapport 98154/1034; juni 1998
Svašek bv; Lange termijn gedrag Westerschelde, definitiestudie zeespiegelrijzing; rapport 98101/1044, mei 1998

Door Svašek bv zijn in samenwerking met Tom Pieters van Bureau Getijdewateren een aantal studies uitgevoerd. Binnen het kader van KUST*2000 is een definitiestudie, getijanalyse en getijreconstructie van de Westerscheldemond uitgevoerd. Verder is binnen het project Verdieping een definitiestudie uitgevoerd naar de effecten van zeespiegelrijzing op de Westerschelde.

Allereerst zijn op basis van literatuurstudie hypothesen geformuleerd m.b.t. de morfologie en het getij. Deze hypothesen zijn getoetst met een analyse van beschikbare meetgegevens en een reconstructie van het getij met 2DH-waterbewegingsmodellen (WAQUA). Onder andere is de bodemligging in delen van de Westerschelde veranderd om de invloed van deze veranderingen op de waterbeweging te onderzoeken.
Tijdens de getijreconstructie is onder andere aangetoond dat morfologische veranderingen in de Westerschelde grote invloed kunnen hebben op de stromingen in het mondingsgebied. Een andere conclusie is dat de effecten van een combinatie van aanpassingen anders kunnen zijn dan de gesuperponeerde effecten van de afzonderlijke aanpassingen. Verder werd duidelijk dat de waargenomen getijslagtoename en vervroeging van het getij bij Vlissingen sinds 1970 (resp. ca. 4 cm en 2 minuten) voornamelijk zijn veroorzaakt door morfologische veranderingen in het mondingsgebied. De getijslagtoename bij Bath (25 cm sinds 1970) bleek vooral veroorzaakt te zijn door morfologische veranderingen in het midden/oostelijk deel van de Westerschelde.
Tijdens de definitiestudie zeespiegelrijzing is gebleken dat tijdens de laatste decennia de morfologische veranderingen in de Westerschelde meer invloed hadden op de getijslagtoename dan de veranderde randvoorwaarden (zeespiegelrijzing van 60 cm/eeuw en getijslagtoename van 3 tot 4% per eeuw).

Witteveen + Bos; Getijanalyse Westerschelde, maart 1999

Binnen de studie naar veiligheid tegen overstromen is een getijanalyse uitgevoerd om de invloed van geometrische veranderingen op de hoogwaters in de Westerschelde te bepalen. Dit betreft zowel menselijk ingrepen als autonome ontwikkelingen. Bij de analyse is gebruik gemaakt van waargenomen waterstanden en modelberekeningen.
Op basis van de historische waarnemingen zijn drie perioden onderscheiden:

1900 – 1925 Ingrepen: inpoldering van diverse gebieden, die voor een groot deel boven gemiddeld hoogwater lagen.
Getijverandering: geringe, maar gestage stijging van de getijslag.

1925 – 1950 Ingrepen: gering.
Getijverandering: gering.

1950 – heden Ingrepen: begin jaren 50 inpoldering omvangrijke gebieden, die beneden gemiddeld hoogwater lagen (Braakman en Sloe); vanaf midden jaren 60 grootschalige verruiming van de vaargeul in het oosten door baggeren en storten.
Getijverandering: geleidelijke stijging van de getijslag, die in het oosten sterker is dan in het westen

Verder is gebleken dat de waterstand geen instantane respons vertoont, die onderscheiden kan worden van de fluctuaties die van jaar tot jaar voorkomen. Wel zijn er aanwijzingen gevonden dat de waterstand zich op een tijdschaal van tientallen jaren of meer aanpast. Verondersteld wordt dat morfologische processen een relevante rol spelen in deze betrekkelijk trage aanpassing.

WL | delft hydraulics; Getijanalyse Westerschelde, Datarapport getijkomponenten, Toepassing van Principal Component Analysis;
WL | delft hydraulics; Morfologische interpretatie van de veranderingen in het getij van de Westerschelde; juni 1999

Uitgangspunt voor deze studies vormden de metingen in de vorm van jaarsets van getijconstanten in de zes stations Cadzand, Westkapelle, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert en Bath voor de periode 1971 – 1997. Deze gegevens zijn verwerkt met een analysetechniek, waarbij de verbanden tussen de amplitudes en fases in de zes stations geanalyseerd worden. Koppeling van de getijwaarnemingen en waargenomen morfologische veranderingen resulteerde onder meer in de volgende hypothesen:
De meest omvangrijke veranderingen in getij en morfologie (grote verdiepingen) treden op begin jaren 70 en begin jaren 80. Na 1985 is de waterbeweging in het grootste deel van het gebied relatief stabiel, met uitzondering van het oostelijk deel.
Rond 1980 is tussen Terneuzen en Hansweert een sterke afname in de fase van een aantal getijcomponenten gevonden. Dit zou een direct gevolg kunnen zijn van de geulwisseling Middelgat/Gat van Ossenisse, die het getijtraject duidelijk heeft verkort.

Met betrekking tot het faseverschil tussen M4 en M2, dat een maat is voor de getijasymmetrie, zijn er twee opvallende observaties:

1. In Hansweert (middendeel van de Westerschelde) is het getij ebdominant, terwijl in Bath (oostelijk deel) het getij juist vloeddominant is.
2. De mate van dominantie in beide stations is in de periode 1970-1985 afgenomen. In Hansweert wordt het getij minder ebdominant en in Bath wordt het minder vloeddominant. Dus niet alleen de dominantie, maar ook de ontwikkeling in de tijd is in de twee stations omgekeerd.

De afname van de getijasymmetrie in Hansweert en Bath correleert met de veranderingen van het diepere gedeelte van de betreffende delen van het estuarium. Een verklaring voor de tegengestelde ontwikkeling van de getijasymmetrie in beide stations zou dan ook de tegengestelde morfologische ontwikkeling in het middendeel en het oostelijk deel van de Westerschelde kunnen zijn: de geulen in het middendeel zijn gemiddeld ondieper geworden terwijl de geulen in het oosten dieper zijn geworden in de onderzochte periode. De afname in de getijasymmetrie correleert voor zowel Hansweert als Bath met de afname in de vijfjaarlijkse netto

transporten tussen respectievelijk het middendeel en het westelijk deel en tussen het middendeel en het oostelijk deel van de Westerschelde. Tevens kunnen correlaties gevonden worden tussen de afname van de getijasymmetrie en de vergroting van de gemiddelde plaathoogte en (minder sterk) de uitbreiding van het plaatareaal.

3 Presentaties met aansluitende discussies

Presentatie 1 Vragen vanuit het beheer, Aline Arends (RIKZ Middelburg)

Aline maakt duidelijk wat het doel en opzet van de discussiedag is. De vraag van Directie Zeeland die centraal staat is: "Hoe snel stijgen in de Westerschelde de hoogwaterstanden, nu en in de toekomst en wat zijn de oorzaken en consequenties hiervan?". Met name de invloed van ingrepen op de veiligheid is van belang.

De veiligheidsstudie binnen het project zeekennis van het RIKZ beperkt zich tot de waterstanden. Stabiliteit van dijken, golfoploop e.d. worden niet meegenomen. Het toetsen van de waterkeringen wordt niet binnen deze studie gedaan. De studie dient antwoord te geven op de volgende vragen:

- Is de getijbeweging tijdens extreme omstandigheden wezenlijk anders dan onder gemiddelde omstandigheden?
- Hoe kan de historische ontwikkeling van de hoogwaters verklaard worden?
- Wat is de invloed van het mondingsgebied op de extreme hoogwaters?
- Wat is de invloed van de morfologie van op de extreme hoogwaters?
- Wat is de invloed van windopzet op de extreme hoogwaters?

Voor de studies zijn meetdata en diverse rekenmodellen beschikbaar. Naast studies ter algemene kennisvergroting zullen praktische voorbeelden worden uitgewerkt. Waarschijnlijk zullen hierbij verschillende onderzoekssporen worden gevolgd. Wel moeten de studies mede door de workshop een samenhangend programma vormen. Het RIKZ heeft hierin een coördinerende taak. Er zullen regelmatig discussies met betrokken onderzoekers worden georganiseerd om kennis uit te wisselen en resultaten te integreren.

Discussie

Naar aanleiding van deze presentatie vraagt Arie zich af of de studie naar het getij alleen betrekking heeft op de vraag naar de veiligheid, inzicht in het getij is toch ook voor het vaargeulbeheer en de morfologie van belang. Aline maakt duidelijk dat ook andere aspecten van belang zijn (stromingen m.b.t. morfologische ontwikkeling), maar dat binnen deze studie inderdaad de (hoog)waterstanden centraal staan. Marcel merkt op dat morfologische ontwikkelingen ook de stabiliteit van dijken kunnen beïnvloeden. Zowel Aline als Harm beamen dat dit belangrijk is, maar niet binnen het kader van deze studie wordt onderzocht.

Marcel vraagt zich verder af of Directie Zeeland een goed beeld heeft van de autonome ontwikkeling, een referentiesituatie. Volgens Harm is er sprake van continu beheer, zodat van autonome ontwikkeling geen sprake is. Als referentiesituatie voor de hoogwaters wordt, volgens Bram, vaak de trend uit het verleden geëxtrapoleerd naar de toekomst. Als gesproken wordt over een natuurlijk estuarium dan wordt, volgens Aline, de situatie voor 1970 bedoeld. Tom benadrukt dat ook voor 1970 het estuarium beïnvloed is door ingrepen, met name de ontpolderingen. Marcel concludeert dat de situatie dus complexer is dan bij de Waddenzee, waar de status quo gehandhaafd kan worden. In de Westerschelde is veel meer ingegrepen. Toch zou het nuttig zijn als er een samenhangend streefbeeld voor het estuarium als geheel was.

Harm merkt op dat er inderdaad wel een streefbeeld nodig is, maar dat die niet in het kader van de veiligheidsstudie zal worden opgesteld. Momenteel is Directie Zeeland samen met de Vlaamse overheid bezig om een lange termijn visie op te stellen. Bij de Westerschelde blijkt daarbij telkens weer dat er een spannningsveld bestaat tussen 3 hoofdaspecten: vaarwegbeheer, natuurlijkheid en veiligheid tegen overstromen. Tom merkt op er eigenlijk pas na de jaren tachtig veel belangstelling voor de Westerschelde in het algemeen en de natuurlijkheid in het bijzonder is. Daarvoor stond alleen de vaarwegfunctie centraal. Doordat de baggerspecie niet naar het westen mocht worden verplaatst is de situatie in het oosten vrij onnatuurlijk geworden. Nu mag er wel

zand van het oosten naar het westen worden verplaatst. Mogelijk kan daar herstel optreden. Het streefbeeld voor de jaren negentig is echter vooral dat het westen natuurlijk dient te blijven.

Presentatie 2 Het getij, de Schelde en wij, Tom Pieters (Bureau Getijdewateren)

In zijn inleiding stelt Tom dat het huidige beheer inzicht en gevoel voor het getijsysteem vereist. Een belangrijke vraag is bijvoorbeeld hoe we het in de vaargeul gebaggerde zand kunnen gebruiken om de hoogwaterstanden omlaag te krijgen. De getijbeweging en –voortplanting in de Westerschelde is complex en zeer specifiek. Dit heeft te maken met het ontstaan van de Westerschelde vanuit twee totaal verschillende systemen, de zeearm Honte en de rivier Schelde. Verder speelt ook de ondergrond een rol. De Zeeschelde ligt vast op de Boomse klei en ontwikkelt zich daardoor niet als een zandig systeem. Opmerkelijk is dat sinds Van Veen met zijn "vloedkuil", er opmerkelijke weinig verklarende kennis over het getij in de Westerschelde is ontwikkeld.

Vervolgens vermeldt Tom een aantal verrassende ervaringen met het Scheldegetij. Opmerkelijk is bijvoorbeeld dat een ontpoldering bij de grens het maximale debiet in de monding doet toenemen, terwijl een ontpoldering bij Kruibeke juist een afname van het debiet in de monding veroorzaakt. Niet alleen de locatie, maar ook de omvang van de ontpoldering bepaalt het effect.

Tom z'n voorstel voor vervolgonderzoek concentreert zich op 1D-berekeningen. 2D-modellen zijn volgens hem voor de meeste gebruikers black-boxen. Bij 1D-modellen kun je goed onderscheiden hoe de verschillende termen van de bewegingsvergelijking, berging, wrijving, traagheid e.d. veranderen. Omdat veranderingen in bijvoorbeeld het westen anders doorwerken dan dezelfde verandering in de Zeeschelde is het belangrijk om systematisch veranderingen aan te brengen en de effecten te analyseren. Verder moet een gedegen verificatie met historische ontwikkelingen plaatsvinden. Dat veranderingen geleidelijk hebben plaatsgevonden wijst volgens hem op een stabiliserende factor in het systeem. Ook morfologische hypothesen over bijvoorbeeld nevengeulen kunnen met waterbewegingsmodellen getoetst worden.
Tom benadrukt tenslotte dat vooral geïnvesteerd moet worden in mensen. De complexiteit van de Westerschelde problematiek vereist langdurige en brede studie.

Discussie;

Bart vraagt zich n.a.v. de inleiding af of de aanwezige verklarende kennis van het getij vastleggen niet de eerste stap van vervolgonderzoek moet zijn. Tom hoopt dat er inderdaad kennis is, die nog niet is vastgelegd.

Arie merkt op dat een toename of afname van maximale debieten niet per definitie ook een toename of afname van getijvolumina (= komberging) inhoudt, doordat ook de vorm van het snelheidsverloop kan veranderen. Tom erkent dat dit zo kan zijn, maar uit studies blijkt dat de effecten op de getijvolumina vergelijkbaar zijn.

Bram vraagt zich af wat de kwantitatieve betrouwbaarheid van de modelresultaten is, omdat m.n. de Zeeschelde in zowel gedetailleerde als in vereenvoudigde modellen zeer explosief blijkt te zijn. Ook bij het bestuderen van effecten van ingrepen kunnen fysisch realistische effecten en numerieke effecten door elkaar heen lopen. Tom voegt hieraan toe dat alleen als je snapt wat er gebeurt, deze verschillende effecten te onderscheiden zijn. De 1D-benadering is volgens hem daarom het meest geschikt, omdat je te kunt zien en begrijpen wat er gebeurt.

Wang stelt dat ook een 2D-model niet als black box gebruikt hoeft te worden. Je moet de output zo kiezen dat je inzicht krijgt in wat er gebeurt. De keuze van inputparameters die vereist is voor een 1D-model resulteert al in een min of meer subjectieve weergave van de werkelijkheid. Volgens Tom is het juist leerzaam als je deze parametrisering zelf moet doen. Herman stelt dat het bij 2D-berekeningen weer moeilijker is om de resultaten te interpreteren, omdat je eigenlijk achteraf een soort parametrisering moet doen omdat bij 2D-berekeningen met de verandering van de waterdiepte verschillende parameters uit de bewegingsvergelijking tegelijkertijd veranderen.

Tjerk merkt op dat een soortgelijke discussie bij de Maasproblematiek heeft gespeeld. Daar bleek dat de modeluitkomsten van 1D- en 2D-berekeningen niet te combineren vielen. Volgens Bram speelt een soortgelijke problematiek ook bij het combineren van verschillende meetresultaten. Je moet altijd goed onderscheiden tussen verschijnselen die echt optreden en verschijnselen die door modellering en meetmethode worden veroorzaakt.

Marcel stelt dat 1D-modellen vooral geschikt zijn om de totale matrices van ingrepen door te rekenen.
Aansluitend merkt Tom op dat je met 1D-berekeningen kunt bepalen welke sommen je met 2D-modellen moet doen.

Presentatie 3 Bram Bliek (Svasek bv)

Bram begint zijn presentatie met een korte terugblik op de studies die door Svasek bv zijn uitgevoerd. Deze studies zijn voor een deel uitgevoerd binnen KUST*2000, waarbij de nadruk lag op de morfologische ontwikkeling van het mondingsgebied. Binnen dit kader is de getijbeweging intensief bestudeerd. De resultaten van de studies kunnen daarom ook van belang zijn voor de studie naar extreme hoogwaters in de Westerschelde.

Binnen KUST*2000 zijn eerst de historische meetgegevens van het getij in de monding van de Westerschelde geanalyseerd. Doordat verschillende (onnauwkeurige) meetmethoden zijn toegepast, was het niet eenvoudig om trends te ontdekken. De meest interessante verschijnselen bleken in de Westerschelde op te treden. Voor de studie naar extreme hoogwaters in de Westerschelde zouden deze analyses kunnen worden uitgebreid met de stations Hansweert, Bath en Antwerpen. Aanvullend zouden individuele stormen in combinatie met windgegevens kunnen worden geëvalueerd. Vervolgens zijn berekeningen uitgevoerd met een 2DH-waterbewegingsmodel. Omdat o.a. de invloed van de Oosterschelde op het getij van belang was, is gebruik gemaakt van het KUSTSTROOK-model. Om de waterstanden in de Westerschelde en de stromingen in het mondingsgebied voldoende nauwkeurig te reproduceren, is een uitgebreide aanvullende validatie en calibratie uitgevoerd. Voor de resultaten van deze studies wordt verwezen naar hoofdstuk 2, bijlage 3 en de rapporten.

Met behulp van schema's beschrijft Bram door welke factoren de extreme hoogwaters worden bepaald. Naast zeespiegelniveau en getijslag zijn ook de windopzet en de geometrie van de Westerschelde van belang. In het uitgevoerde onderzoek is vooral aandacht besteed aan de getijrandvoorwaarden en de interactie van het getij met de morfologische ontwikkelingen en ingrepen. Aan de extreme hoogwaters zelf is slechts beperkt aandacht besteed. Ook de invloed van windopzetten is onderbelicht. Momenteel wordt er binnen STOWASUS onderzoek gedaan naar de invloed van klimaatveranderingen op windopzet op de Noordzee. Dit kan randvoorwaarden aanleveren voor de Westerschelde studie.

De studie zou volgens Bram gefaseerd moeten plaatsvinden.
Fase 1 betreft historisch onderzoek naar de invloed van stormen op de hoogwaters in de Westerschelde. Hierbij dienen de waarnemingen te worden geanalyseerd. Op basis hiervan kan een hindcast met een 2DH waterbewegingsmodel worden uitgevoerd.

Binnen fase 2 zou een gevoeligheidsonderzoek moeten worden uitgevoerd, waarbij alle invloedfactoren afzonderlijk systematisch worden onderzocht.

Fase 3 is een toekomstverkenning, waarbij (realistische) combinaties van invloeden worden doorgerekend. Op basis hiervan kan de ontwikkeling van de extreme hoogwaters (van verschillende beheersscenario's) worden voorspeld.

Discussie

Harm vraagt zich af wat de nauwkeurigheid is van de gepresenteerde model-uitkomsten. Bram beaamt dat je je dat permanent moet blijven afvragen. Daarom is ook een uitgebreide aanvullende calibratie en validatie van het model uitgevoerd. Ook moet je je afvragen hoe betrouwbaar de verwachte zeespiegelrijzing van 60 cm/eeuw is. Het uitvoeren van de berekeningen is vooral belangrijk om inzicht te krijgen in sterke en minder sterke invloedsfactoren. Tot op heden lijken morfologische ontwikkelingen meer invloed te hebben op de extreme hoogwaters dan de hydraulische randvoorwaarden op de Noordzee.

Tom merkt op dat er al verschillende stormen met 2DH-modellen gehindcast zijn, o.a. ten behoeve van het vaststellen van de basispeilen (door John de Ronde, Marc Phillipart e.a.). Waarom zou je dit opnieuw doen? Belangrijker is om analytisch vast te stellen wat er zou kunnen gebeuren, waar de gevoelige punten zitten.

Bram benadrukt dat analyse van de werkelijk opgetreden stormen kan leiden tot inzichten waar je anders niet op komt. In het verleden is bijvoorbeeld gebleken dat tweelingstormen een andere invloed hebben dan gewone stormen.
Harm merkt op dat door een afstudeerder al eens een storm uit 1990 is doorgerekend (G. Dam; De afregelprocedure van het SCALWEST-model onder stormvloedomstandigheden, Werkdocument RIKZ/OS-98.894X, december 1998). Naar aanleiding hiervan bleek dat de locale wind veel invloed had. Ook bleek de randvoorwaarde bij Zeebrugge te voldoen.

Marcel merkt op dat in de aanpak van Bram de morfologie als externe factor wordt geschetst, terwijl de kennis over getij en morfologie juist geïntegreerd moet worden omdat er een voordurende interactie plaatsvindt.

Bram is het hiermee eens. Het gevoeligheidsonderzoek moet o.a. worden ingezet om te bepalen welke morfologische parameters (geulen of platen, voortplantingssnelheid of bergende breedte) de meeste effecten hebben op de extreme hoogwaters. Verder zou het goed zijn als het onderzoek wordt uitgevoerd met mensen die kennis hebben van de morfologie in de Westerschelde. Studie naar extreme hoogwaters hoeft echter niet overal antwoorden op te geven. Als dit wel moet, zal het lang duren voor er concrete bruikbare resultaten zijn.

Presentatie 4 Tjerk Zitman (Witteveen + Bos)

Tjerk presenteert de resultaten van een getijanalyse door Witteveen + Bos. Deze analyse is uitgevoerd binnen de studie naar veiligheid tegen overstromen. Het doel was verwerven van inzicht in de effecten van ingrepen. Hierbij wordt in eerste instantie gezocht naar een "directe" reactie van de waterstanden. M.b.v. een kalender van ingrepen zijn de opgetreden hoogwaterstanden geanalyseerd. Er bleek heel veel tegelijk te gebeuren. De meeste veranderingen verlopen echter geleidelijk. Dit wijst op aanpassingen van de stroming en de morfologie. Doordat in de Westerschelde een groot aantal verschillende ingrepen en veranderingen hebben plaatsgevonden konden de effecten niet duidelijk onderscheiden worden. Vervolgens zijn de effecten van de ingrepen met een 2DH-waterbewegingsmodel onderzocht. De invloed bleek marginaal te zijn.

Alle ingrepen en ontwikkelingen samen hebben wel grote invloed gehad. De invloed van een individuele ingreep kan echter niet worden bepaald.

Discussie

Herman merkt op dat de Westerschelde zich heeft ontwikkeld van de ene evenwichtstoestand naar een andere. Het getij reageert wel momentaan, maar de aanpassing van morfologie duurt langer. Ook dit heeft effect op het getij.
Deze twee effecten van een ingreep dienen afzonderlijk te worden beschouwd.

Volgens Tjerk is echter gebleken dat het directe effect van de ingrepen op het getij te klein is om zichtbaar te zijn in meetgegevens van modelresultaten.
Marcel concludeert dat de ruis t.g.v. meettechniek en modelonnauwkeurigheid blijkbaar te groot was t.o.v. de invloed van de ingrepen.

Volgens Tjerk zijn echter ook de ingrepen niet zo momentaan als ze lijken te zijn. Een inpoldering gebeurt vaak als het gebied al is aangezand tot hoogwaterniveau. Ook een verruiming van de vaargeul gebeurt in een lange periode.

Wang vraagt zich af welk model is gebruikt. Dit is het 2-dimensionale rechthoekige WAQAU-model SCALDIS100 dat is omgezet naar DELFT-3D-FLOW. Er heeft geen aanvullende calibratie plaatsgevonden.

Harm vraagt zich af hoe de verschillende uitkomsten van de modelberekeningen van Svašek (KUSTSTROOK) en Witteveen + Bos te verklaren zijn. Tjerk stelt dat de modeluitkomsten wel dezelfde ontwikkeling laten zien. Svašek heeft echter andere ingrepen aangebracht. In plaats van individuele ingrepen is de bodemligging van 1995 voor verschillende gebieden vergeleken met die van 1970.

Presentatie 5 Herman Gerritsen (WL delft hydraulics)

Herman begint zijn presentatie met te benadrukken dat er in de Westerschelde geen vaststaande evenwichtssituatie, maar alleen een dynamisch evenwicht is. Het getij reageert wel instantaan op een ingreep, maar de morfologische reactie bepaalt de uiteindelijke respons van het systeem.

Bij de data-analyse van het WL is uitgegaan van jaaranalyses van 6 stations over de periode 1971 tot 1997. Per component van het getij zijn de veranderingen van amplitude en fase in ruimte en tijd geanalyseerd. Voor een uitgebreid verslag wordt verwezen naar bijlage 5 en het rapport. Er is vooral gezocht naar koppelingen tussen getij en morfologie. Een parameter die daarbij van belang is, is de getij-asymmetrie. Deze kan beschreven worden door het verschil in fase tussen bijvoorbeeld 2M2 en M4. Bij gelijke fase is het getij symmetrisch en duurt laagwater het langst. Bij tegengestelde fase is het getij ook symmetrisch, maar duurt het hoogwater het langst. Bij een verschil van pi/2 is de stijgende flank steiler. Bij een verschil van -pi/2 is de dalende flank steiler. Ook de resulterende snelheden en transporten vertonen dan een asymmetrie. Dit kan een drijvende kracht zijn voor morfologische veranderingen.

Vervolgonderzoek moet volgens Herman bestaan uit twee sporen: een bureau-studie/model onderzoek naar getijasymmetrie en deterministisch modelonderzoek, waarbij ook het horizontaal getij (en de interactie met morfologie) voldoende aandacht krijgt. Bij het modelonderzoek dient verder aandacht te zijn voor de (on)nauwkeurigheid van modelresultaten. Er dient een springtij/doodtij sturing te worden toegepast i.p.v. een representatief getij. Snelheden dienen als vectoren te worden geanalyseerd (2D).
Er zou volgens Herman gebruik gemaakt kunnen worden van inverse modellering met behulp van WAQAD. Deze tool is technisch haalbaar, sluit aan op de vraagstelling, levert objectieve en kwantitatieve resultaten en is tenslotte state of the art.

Discussie

Door uitloop van de bijdragen en aansluitende discussies is de presentatie van Herman in het middaggedeelte terecht gekomen. Na zijn presentatie wordt gelijk overgegaan naar de discussie aan de hand van de toegestuurde discussievragen.

4 Discussievragen

Beschrijving getijsysteem

Het getij in het Schelde-estuarium wordt bepaald door de hydraulische randvoorwaarden (zeespiegelniveau, getijslag, wind en opzet Noordzee) en de geometrie. Gebleken is dat combinaties van randvoorwaarden en ingrepen anders doorwerken dan de som van de afzonderlijke veranderingen. Verder spelen ook morfologische aanpassingen een grote rol.

1. In hoeverre zijn er eenvoudige relaties te leggen tussen bijvoorbeeld ontpolderingen en getijverschil/hoogwaters, vaargeulverruiming en getijverschil/hoogwaters, ontpolderingen en getijvolumina/snelheden, vaargeulverruiming en getijvolumina/snelheden, zeespiegelrijzing en hoogteligging platen?

2. Het getijverschil is het verschil tussen hoogwater en laagwaters. Kan er bij de diverse relaties onderscheid worden gemaakt tussen deze twee bijdragen aan het getijverschil? Bijvoorbeeld dat de diepte van de geulen m.n. de laagwaters beïnvloedt en ontpolderingen m.n. de hoogwaters beïnvloeden?

Historische ontwikkelingen

3. Waargenomen is een toename van het getijverschil in de Westerschelde bij gelijkblijvend getijvolume in de mond (Vlissingen-Breskens). Is de oorzaak hiervan compensatie van het effect van de afname van het bergend oppervlak door sterkere getijdoordringing of hebben de effecten van de afnamen van de bergende oppervlakten op de diverse locaties elkaar gecompenseerd?
   (NB: deze discussievraag is bedoeld als case-study bij de eerder gestelde vraag naar eenvoudige relaties tussen randvoorwaarden/geometrie-veranderingen en het getij in de Westerschelde)

Toekomstverkenning

4. Voor de volgende eeuw wordt een zeespiegelrijzing van 60 cm en een getijslagtoename op de Noordzee van 4% verwacht parallel aan een verdere verruiming en intensief onderhoud van de vaarweg. Mogelijk zullen ook ontpolderingen of andere ingrepen plaatsvinden. De vraag is wat het effect hiervan op het getij (m.n. de hoogwaterstanden) zal zijn.

Onderzoeksmethodieken

5. Wat zijn de specifieke voordelen van de analyse van meetgegevens, 1D- en 2D-modellering? Hoe kunnen resultaten van verschillende studies gecombineerd en geïntegreerd worden? Welke beheersvragen zijn met de diverse methodieken te beantwoorden? Zijn er onderzoeksmethoden mogelijk die tot nu toe nog niet zijn ingezet?

Beheersvragen

Bovengenoemde studies waren voornamelijk gericht op het verwerven van basiskennis over het getij in de Westerschelde en de invloed van ingrepen op het getij. Om de beheersvragen m.b.t. de veiligheid tegen overstromen te beantwoorden dient o.a. de relatie tot hoogwaters tijdens extreme situaties te worden uitgewerkt. Daarnaast blijft de koppeling met morfologie en het verwerven van basiskennis van belang.

6. Welk onderzoek dient minimaal uitgevoerd te worden om de diverse beheersvragen te beantwoorden?

5 Discussie tijdens het middaggedeelte

Inleiding

Michel maakt duidelijk dat hij de discussie in 2 delen wil voeren. Tijdens het eerste deel een discussie over de huidige kennis van het systeem, de historie en te verwachten ontwikkelingen (vraag 1 t/m 4). Tijdens het tweede deel een discussie over het benodigde vervolgonderzoek. De discussie over het gebruik van 1D en 2D modellen is voor een groot gedeelte al tijdens het morgengedeelte gevoerd. Dit hoeft niet te worden herhaald. Vervolgens vraagt hij Arie de discussie te openen over vraag 1: bestaan er eenvoudige relaties tussen ingrepen, randvoorwaarden en het getij binnen de Westerschelde.

Relaties tussen geometrie en getij

Arie grijpt terug op de presentaties. Daaruit is duidelijk geworden dat een ingreep anders kan doorwerken als hij op een andere locatie of op een ander moment wordt toegepast. Alleen als deze verschillen verklaard zijn, kunnen de ervaringen/uitkomsten ook op andere situaties worden toegepast. Hoe kan bijvoorbeeld het door Tom geconstateerde verschijnsel worden verklaard? Bij ontpoldering zou je een toename van komberging en dus ook van de getijvolumina verwachten. Wat is de reden dat dit niet gebeurt?
Tom legt nogmaals uit wat uit zijn studie volgde. De locatie van een ontpoldering bleek cruciaal. Bij de ene ontpoldering nam het getijvolume in de mond toe, bij de andere ontpoldering nam het getijvolume af. Blijkbaar is door toename van de bergende breedte de getijgolf zo vertraagd, dat de totale komberging niet toe, maar afnam.
Harm merkt op dat de Zeeschelde vastligt en zich niet kan ontwikkelen. Daardoor is geen sprake van een normale evenwichtssituatie, zoals je die in een volledig zandig systeem hebt.
Marcel schets vervolgens een gedachtenmodel: de input bestaat uit forceringen (ingrepen en zeespiegelrijzing), de output bestaat uit de optredende waterstanden. De responsfunctie tussen input en output kent verschillende tijdschalen en terugkoppelingen. Daarom is het teveel gevraagd om de extreme hoogwaters als output te willen hebben. Dan zijn geen eenvoudige en eenduidige relaties te vinden. Bij een andere parameter, zoals getijasymmetrie kan dit misschien wel.
Herman sluit hierop aan door te stellen dat je eerst aspecten moet elimineren, voor je een eenvoudige relatie kan leggen. Door bijvoorbeeld de ontwikkeling in de tijd structureel uit de meetgegevens te halen, bleek dat het ruimtelijke karakter van de verschillende componenten een consistent beeld te zien gaven.
Arie concludeert dat je voor een aantal bijdragen aan de hoogwaters dus relaties zou kunnen vinden met ingrepen. De uitdaging is dan vervolgens om de verschillende bijdragen samen te stellen tot een voorspelling van de extreme hoogwaters.

Getij-asymmetrie

Bram vraagt zich echter af of de morfologische reactie van het systeem wel voldoende nauwkeurig is te voorspellen, terwijl deze een belangrijke factor is gebleken. Marcel merkt op dat de keuze van getijasymmetrie als parameter juist bedoeld is om de koppeling met morfologie te leggen. Bram ziet echter niet hoe uit waterstandsregistraties de getijasymmetrie in de stroming (die bepalend is voor de morfologie) kan worden beschreven. Volgens Tom is dit een typische kip en ei kwestie. Stromingen en waterstanden volgen uit elkaar. Hij vraagt zich echter af wat je nu precies wilt bereiken met de asymmetrie als parameter. Vergroot dit wel het inzicht in het getij? Waarom is eigenlijk de asymmetrie verandert. Ad ziet getijasymmetrie wel als een veelbelovende parameter. Uit eerdere studies is namelijk gebleken dat getij-asymmetrie de import of export van zand uit en naar de monding bepaalt.
Dit geeft echter nog geen antwoord op de vraag naar de oorzaak van de asymmetrie-verandering. Wang merkt op dat je de getij-asymmetrie ziet veranderen en de morfologische gegevens ook. Deze ontwikkelingen in getij en morfologie zijn niet met elkaar in tegenspraak. Er is (nog) geen

oorzakelijk verband gevonden, maar misschien kan getij-asymmetrie wel een belangrijke parameter zijn in een beschrijving van het dynamische evenwicht.
Tom merkt op dat er een abrupte verandering in getij-asymmetrie was gevonden, die werd toegeschreven aan de functiewisseling tussen Middelgat en Gat van Ossenisse. Deze verandering is echter geleidelijk verlopen. Hoe kan dit dan een abrupte verandering veroorzaken?
Herman bestrijdt dat de ontwikkeling geleidelijk is verlopen. Er is een drempel weggebaggerd, waarna in korte tijd grote veranderingen kunnen zijn opgetreden.
Arie vraagt zich af hoe je van getij-asymmetrie als parameter de link kunt leggen naar extreme hoogwaters.
Herman benadrukt dat getijasymmetrie vooral een parameter is die onderlinge verbanden (ook met snelheden) kan weergegeven. Dit is vooral bedoeld om de effecten van ingrepen te kunnen beschrijven.

Modellering van stormsituaties

Wang stelt dat voor de studie naar veiligheid ook de gemiddelde hoogwaters eigenlijk geen goede parameter is. De invloed van stormen is hier namelijk niet in verwerkt. In hoeverre zijn de beschikbare waterbewegingsmodellen geschikt om extreme situaties door te rekenen?
Volgens Harm zitten de laagwaters voor extreme situaties wel goed in de modellen (die worden voornamelijk door de geulen bepaald). De hoogwaters worden echter veel meer bepaald door extreme invloeden. Ook de supra-getijdegebieden gaan dan een belangrijke rol spelen. De ruwheid van deze gebieden is echter niet goed bekend, maar waarschijnlijk anders dan voor de intergetijdegebieden en de geulen. Momenteel zitten er vaak ruimtelijk continue ruwheden in de modellen.
Bram benadrukt dat je een model altijd moet calibreren voor de toepassing waarvoor je het wilt gebruiken. De modellen zijn in eerste instantie niet bedoeld voor stormsituaties. Wil je ze hier wel voor gebruiken, dan moet je een aanvullende validatie en indien nodig calibratie uitvoeren. Dit geldt zowel voor 1D als voor 2D modellen. Ook kan je een model dat is gecalibreerd op waterstanden niet zomaar gebruiken om snelheden te berekenen.
Dit wordt onderstreept door Herman met een voorbeeld van modelgebruik door Japanners voor de lagune van Venetië. Daar bleken de platen niet goed gemodelleerd. Voor de waterstanden was het model wel goed te krijgen, maar de resulterende snelheden en transporten klopten van geen kant. Herman vraagt zich vervolgens af wat een goede parameter is om voor stormtoestanden te calibreren.
Volgens Ad is onder andere van belang dat de snelheden bij extreme situaties lager zijn. Hierdoor neemt de weerstand voor de getijvoortplanting af.

Invulling van vervolgonderzoek (1)

Marcel merkt op dat je in de bijdragen aan de hoogwaters twee wezenlijk verschillende bijdragen kunt onderscheiden. Dit zouden ook verschillende sporen voor onderzoek kunnen zijn:
1. Bijdragen die geen invloed hebben op de morfologie, omdat de tijdsduur voor aanpassingen te klein is (extreme situaties t.o.v. gemiddelde situatie)
2. Bijdragen die wel invloed hebben op de morfologie (zeespiegelrijzing, ontpolderingen, verruimingen etc.)

Ook hieruit blijkt dat de respons op verschillende tijdschalen werkt, zodat er waarschijnlijk geen simpele relaties voor ingrepen en extreme hoogwaters zullen bestaan.
Michel merkt op dat het onderzoek naar de extreme hoogwaters dus eigenlijk een onderzoek naar de te verwachten extreme hoogwaters over 20 of 100 jaar is. Dit wordt door Aline bevestigd.
Bram merkt op dat het wel zinvol is om de eerste stap (de te verwachten extreme hoogwaters op dit moment) te doen. Volgens hem is zelfs dat op dit moment namelijk niet bekend.
Marcel vraagt zich af hoe je dan het effect van ingrepen kan bepalen.
Volgens Herman kun je de vraagstelling ook omdraaien. Hoe gevoelig is het hoogwater voor ingrepen? Welke geometrische veranderingen hebben de meeste invloed?

Marcel stelt dat dan nog steeds ook de snelheden (en dus de morfologie) zullen veranderen, zodat de uiteindelijke respons weer anders zal zijn.

Historische ontwikkeling

Tom vraagt zich af waarom we ons met twee verschillende problemen tegelijkertijd bezighouden. Laten we eerst maar eens proberen te begrijpen waarom de historische ontwikkeling zo is geweest als ze was. Dan weten we namelijk wel wat de uiteindelijke morfologische reactie was.
Marcel vraagt zich af of dit wel mogelijk is, omdat er zoveel tegelijk is gebeurd dat de verschillende bijdragen van ingrepen niet te onderscheiden zijn.
Tom bedoelt echter dat we nog steeds niet snappen waarom de getijbeweging bij de geometrie van 1960 anders is dan bij de geometrie van 1995. Zelfs al kunnen we het met een model berekenen.
Michel merkt op dat begrijpen nog niet gelijk is aan kunnen voorspellen.

Invers modelleren

Volgens Herman kan het zinvol zijn om verschillende geometrische aanpassingen apart te onderzoeken. Hierbij zou gebruik gemaakt kunnen worden van inverse modelleren. Wat zou je moeten aanpassen in de bodem om ondanks veranderingen in bijvoorbeeld de hoofdgeul, de waterstanden bij Bath voor 1990 gelijk te laten zijn aan die van 1960.
Arie vraagt zich af of je daarmee geen situatie creëert die morfologische instabiel is.
Volgens Tjerk kun je dat als een 2e orde effect beschouwen, die je in je interpretatie meeneemt.
Volgens Herman kun je ook je variabelen zo kiezen dat geen al te gekke situaties ontstaan.
Ad vraagt zich af of er niet verschillende oplossingen mogelijk kunnen zijn? Hoe wordt de oplossing van het inverse model bepaald?
Bram merkt op dat je de normale hoogwaters worden bepaald door de diepe geulen. Bij extreme hoogwaters spelen de platen een belangrijker rol. De inverse modellering zegt dus nog niet per definitie iets over de extreme hoogwaters. Volgens Wang kan dit wel, door de exercitie gewoon voor een extreme situatie te doen. Ophogen van platen als vrijheidsgraad heeft volgens Bram dan echter nog steeds geen zin. De hoogte van de platen wordt namelijk bepaald door de normale hoogwaters. Extreme hoogwaters zullen hier altijd bovenuit gaan.

Invulling vervolgonderzoek (2)

Tom merkt op dat je het onderzoek op kunt splitsen in:
- Interactie geometrie-ingrepen
- Invloed geometrie op extreme hoogwaters

Harm merkt op dat de grootste onbekende misschien nog wel het menselijk handelen (het beheer) is. Vooral als je die voor 20 tot 100 jaar wilt voorspellen. Tegelijk is het bepalen van de invloed van ingrepen natuurlijk wel essentieel om er een beslissing over te kunnen nemen. Wat is bijvoorbeeld het effect van storten in het westen i.p.v. in het oosten?
Bram stelt voor om eerst maar eens structureel de verschillende invloeden te kwantificeren. Misschien kunnen er dan een paar (ingewikkelde) afvallen. Dat zou dit specifieke onderzoek naar de veiligheid sterk kunnen vereenvoudigen. In ieder gevallen worden de prioriteiten voor vervolgonderzoek er duidelijker door.
Tjerk merkt op dat het goed zou zijn om eerst de kritieke grenzen aan de morfologie/geometrie te bepalen om daarmee ook de grenzen van de hoogwaters aan te kunnen geven.
Marcel merkt op dat er ook nog een vertaalslag naar de beheerder moet worden gemaakt. Al het onderzoek moet uiteindelijk in beleid vertaald worden. In (voor de beheerder) begrijpelijke indicatoren (kentallen als functie van ruimte en tijd) moeten de resultaten van analyses, meetgegevens en modellen worden gepresenteerd. Waar mogelijk moeten ook uitspraken over oorzaken en gevolgen worden gedaan. Je zou het kunnen vergelijken met een stormwaarschuwing: als dit gebeurt, moet je dat doen.
Harm sluit hier op aan door te benadrukken dat we vooral alert moeten zijn op eventuele omslagpunten.
Arie merkt op dat we niet alle onderzoeken tegelijk kunnen doen. Welk onderzoek is nu specifiek voor de studie naar veiligheid?

Bram reageert met een samenvatting van zijn voorstel: residu tussen astronomisch en gemeten getij analyseren/ verschillende invloeden op extreme hoogwaters kwantificeren.
Wang stelt dat je voor een veiligheidsstudie ook stochastisch moet modelleren om een antwoord met marges te kunnen geven.

Risico beëindigen onderzoek

Arie vraagt zich vervolgens af wat de risico's zijn als we nu stoppen met onderzoek.
Volgens Tjerk zijn er geen sterke aanwijzingen dat de ontwikkeling van hoogwaters wordt beïnvloed door menselijk ingrijpen. Je zou dus kunnen monitoren en alleen als er iets ongewenst gebeurt kunnen ingrijpen.
Bram is er wel van overtuigd dat de stijging van de hoogwaters door menselijk ingrijpen wordt veroorzaakt. Namelijk door baggeren van de drempels en de resulterende verdieping van de hoofdgeul en verlanding van de overige gebieden in het oosten. Veranderingen in geometrie moeten dus zeker onderdeel uitmaken van de studie, ook al kun je ze (nog) niet direct relateren aan ingrepen. Overigens kun je bij sommige ingrepen wel degelijk de morfologische reactie op basis van ervaring inschatten.
Volgens Herman is een combinatie van voorwaarts en invers modelleren uitermate geschikt om de gevoeligheden van de hoogwaters voor geometrische veranderingen te bepalen.

Conclusies

Harm concludeert het volgende:
1. Als een extreme omstandigheid optreed, is de bodemgeometrie een gegeven. Wat zijn de extreme hoogwaterstanden bij de (huidige) gegeven morfologie en welke gegevens ontbreken hierbij. Onderzoek richten op voortplanting van de getijgolf onder extreme omstandigheden.
2. de geometrie zal in de toekomst veranderen. De vraag is hoeveel invloed dit heeft op de extreme hoogwaterstanden (terugkoppelingsmechanisme Oostwest). Onderzoek richten op bepaling van dominante factoren onder extreme omstandigheden, m.a.w. welke factor bepaalt de extreme waterstanden wind, morfologie of opzet.
3. Fundamenteel onderzoek naar de voortplanting van het getij moet in de toekomst blijven plaatsvinden om inzicht in het getij te vergroten.

Afronding en rondvraag

Rob heeft de discussie verhelderend gevonden. Met name het onderscheid tussen externe forcering en interne forcering en het onderscheid tussen het extreme hoogwater bij een gegeven geometrie en de ontwikkeling van de extreme hoogwaters bij een veranderende geometrie. Deze inzichten zullen nuttig zijn bij het opzetten van vervolgonderzoek.
Tom vraagt zich af wat de grenzen aan de morfologische ontwikkeling zijn. De transportcapaciteit is beperkt, dus ook de resulterende morfologische veranderingen.
Herman merkt op dat aansluiting bij een KNMI studie die momenteel wordt uitgevoerd nuttig kan zijn. Volgens Harm gebeurt dit reeds binnen Nautilus.
Ad zou de resultaten van de studie graag in pakkende hypothesen terugzien.
Marcel benadrukt dat gezocht moet worden naar goede indicatoren om de waterbeweging te karakteriseren.
Herman sluit hierbij aan door te stellen dat vooral de snelheden en debieten hierbij niet vergeten moeten worden.
Arie merkt op dat de ruimtelijke variatie in hoogwaterstanden tot nu toe onderbelicht is. Het kan volgens hem zo zijn dat bepaalde invloeden ruimtelijk anders kunnen doorwerken. Het probleem van de veiligheid kan dan anders zijn voor de noordelijke dan voor de zuidelijke oever (m.n. door wind) of anders in oosten dan in westen.
Aline merkt op dat ze veel waardevolle dingen heeft gehoord en bedankt ieder voor zijn bijdrage.

6 Conclusies

Uitgevoerd onderzoek

Binnen het onderzoek dat is gepleegd zijn geen grote tegenstrijdigheden gevonden. De onderzoeksresultaten van de diverse studies vullen elkaar aan. Wel is opvallend dat er weinig verklarende kennis over het getij in de Westerschelde is vastgelegd. Ook is de link naar extreme hoogwaters onderbelicht.

Hoewel er wel veel energie is gestoken in het bepalen van de invloed van ingrepen, kon deze invloed tot op heden niet eenduidig worden vastgesteld. De belangrijkste reden hiervoor is dat de respons op ingrepen op verschillende manieren (en tijdschalen) plaatsvindt.
De analyse van historische gegevens wordt beperkt door de nauwkeurigheid van deze gegevens en doordat veel verschillende ontwikkelingen tegelijkertijd plaats vonden en dus niet te onderscheiden zijn. De interactie tussen morfologie, getij en ingrepen is te complex om deze respons op dit moment met modellen te kunnen bepalen.

Benodigde kennis

Om de te verwachten extreme hoogwaterstanden over 20 of 100 jaar te kunnen bepalen is de volgende kennis vereist:
- Inzicht in het getij
- Inzicht in veranderende randvoorwaarden (zeespiegelrijzing, getijslag en windopzet)
- Inzicht in de ingrepen die zullen worden gepleegd (verdere verruiming, bagger- en stortbeleid, ontpolderingen)
- Inzicht in de interactie van getij en morfologie
- Inzicht in de relatie tussen getij (en windopzet) en extreme hoogwaters

Of (anders onderverdeeld):
- Externe forcering (zeespiegelrijzing, getijslag en windopzet)
- Interne forcering (ingrepen en veranderende geometrie)
- Systeem of responsfunctie (hydraulica en morfologie)
- Output (extreme hoogwaters bij een bepaalde toestand)

Invulling vervolgonderzoek

Duidelijk werd dat onderscheid moet worden gemaakt tussen:
1. De studie naar extreme hoogwaters (stormsituatie) bij gegeven geometrie
2. De studie naar de invloed van ingrepen op de geometrie

Het tweede onderdeel is breder dan de studie naar veiligheid tegen overstromen. Om de effecten van ingrepen op veiligheid te kunnen bepalen dient het inzicht in het getij en de morfologie van de Westerschelde te worden vergroot. Dit onderzoek zal voor een groot deel geïntegreerd met onderzoek naar natuurlijkheid en andere functies kunnen plaatsvinden. De veiligheidsstudie dient duidelijk te maken welke eigenschappen bestudeerd dienen te worden. Daarom dient minimaal te worden vastgesteld welke geometrische eigenschappen (afmetingen geulen, ondiep water, platen, slikken en schorren) bepalend zijn voor de extreme hoogwaters.

Voor de veiligheidsstudie is een stochastische benadering vereist, om de betrouwbaarheid van voorspellingen aan te kunnen geven. De betrouwbaarheid van de voorspelling van het extreme hoogwater over 20 of 100 jaar, wordt niet alleen bepaald door de onnauwkeurigheid van de voorspellingsmethodiek, maar ook door de variatie rond te verwachten beleid en klimaatveranderingen. In dit kader is ook het opstellen van een streefbeeld voor het estuarium van belang.

Kortom: de veiligheidsstudie dient zich te richten op:
- het bepalen van de extreme hoogwaters bij gegeven geometrie
- het vaststellen van dominante factoren bij de totstandkoming van extreme hoogwaters
- fundamenteel onderzoek naar de voortplanting van het getij in de Westerschelde.

Onderzoeksmethodieken

Bij analyse van de beschikbare meetgegevens zijn tot op heden de verschillende bijdragen aan extreme hoogwaters niet afzonderlijk bestudeerd. Voor veiligheidsstudies is gebruik gemaakt van stochastische benaderingen, waarbij de invloed van de veranderde geometrie niet expliciet wordt meegenomen. Bij studies waarbij wel de invloed van de veranderde geometrie is bestudeerd, is geen onderscheid gemaakt tussen extreme en gemiddelde omstandigheden. Verdere analyse van waterstandsgegevens dient zich te richten op een analyse van het getij (astronomische bijdrage) en het residu (niet-astronomische bijdragen) afzonderlijk, waarbij de invloed van de veranderde geometrie wordt bestudeerd.

Voor het bestuderen van het effect van afzonderlijke geometrische kenmerken (ontpolderingen, diepte geulen, omvang en hoogte platen e.d.) op de extreme hoogwaters, is mathematische modelstudie vereist. Dit kan op verschillende manieren:
- systematische variatie van invoerparameters in 1D-modellen (zie uitwerking in bijlage 2)
- doorrekenen van een beperkt aantal varianten met 2D-modellen (zie uitwerking in bijlage 3)
- inverse modellering met behulp van een 2D-model (zie uitwerking in bijlage 5)

Om het inzicht in getij en morfologie te vergroten is een goede parametrisering van groot belang. In de onderzoeksvoorstellen en tijdens de discussie is daarom aandacht gevraagd voor:
- analyse van parameters om inzicht in het getij te krijgen (zie bijlage 2):
  de verschillende termen van de waterbewegingsvergelijking
  de verhoudingen traagheid/weerstand en bekkenlengte/getijgolflengte
- analyse van getij-asymmetrie om inzicht te krijgen in de relatie tussen getij en morfologie (hier is inmiddels een bureaustudie voor opgestart, zie bijlage 5)

Eenduidige parametrisering van geometrische eigenschappen is ook belangrijk om de koppeling tussen 1D- en 2D-modellen te kunnen leggen. Bij 1D-modellen is parametrisering vereist bij de input (bergende breedte, stroomvoerend oppervlak e.d.). Bij 2D-modellen is parametrisering gewenst bij het analyseren van de output.

Rekenmodellen moeten worden gekalibreerd en geverifieerd voor de toepassing, waarvoor ze worden gebruikt. Voor het doorrekenen van stormsituaties dient vooral aandacht te worden besteed aan de supra-getijdegebieden (hoogteligging en ruwheid) en de ruimtelijke variatie in wind. De betrouwbaarheid van modelresultaten dient duidelijk te worden aangegeven.

Lijst met bijlagen

Bijlage 1	Presentatie Aline Arends
Bijlage 2	Presentatie Tom Pieters
Bijlage 3	Presentatie Bram Bliek
Bijlage 4	Presentatie Tjerk Zitman
Bijlage 5	Presentatie Herman Gerritsen

Bijlage 1

Presentatie Aline Arends

Vraag en achtergrond van de vraag van Directie Zeeland

De vraag van Directie Zeeland die centraal staat is:

> *"Hoe snel stijgen in de Westerschelde de hoogwaterstanden, nu en in de toekomst en wat zijn de oorzaken en consequenties hiervan?".*

Om deze vraag te kunnen beantwoorden zijn diverse studies uitgevoerd. Het doel van de workshop is om na te gaan wat deze studies hebben opgeleverd en welk onderzoek nog uitgevoerd moet worden.

Gebleken is dat de waterstanden in de Westerschelde stijgen. Inzicht in de stijgsnelheid is van belang om in te kunnen schatten wanneer maatregelen nodig zijn. Naast dijkverhogingen kan hierbij ook gedacht worden aan ingrepen, waarmee de hoogwaterstanden verlaagd worden. Voordeel van verlaging van de waterstand is dat het tijdstip van dijkverhoging kan worden uitgesteld.

De invloed van ingrepen en ontwikkelingen op de hoogwaters dient bepaald te worden om prognoses te kunnen doen en de invloed van ingrepen te bepalen. De volgende onderverdeling kan worden gemaakt:

- *Systematisch herhaalde kleine ingrepen.* Hierbij kan gedacht worden aan baggeren en storten ten behoeve van het onderhoud van de vaargeul. Het morfologische systeem past zich zodanig aan dat de ingrepen er een integraal deel van gaan uitmaken. Omdat de morfologische respons geleidelijk verloopt, zal ook het verticale getij geleidelijk reageren.
- *Incidentele ingrepen.* In 1970-1975 en 1998-1999 heeft een vaargeulverdieping plaatsgevonden. De hoofdvaargeul is verdiept. Deze verdieping wordt door onderhoud van de vaargeul gecontinueerd. Ook de inpolderingen in het verleden vallen onder de incidentele ingrepen. Deze omvangrijke ingrepen zijn mogelijk nog steeds van invloed op de morfologie van de Westerschelde.
- *Cyclische ontwikkelingen.* Dit betreft met name de 18,6 jarige cyclus die onder andere de sedimenttransporten beïnvloedt.
- *Geleidelijke ontwikkelingen*. Hierbij wordt gedacht aan zeespiegelrijzing.

Veel van deze ingrepen en ontwikkelingen hebben tegelijkertijd plaatsgevonden. Hierdoor is zijn de verschillende invloeden in de waarnemingen van de waterstanden niet te onderscheiden. Ook in de toekomst zullen diverse ingrepen en ontwikkelingen tegelijkertijd de extreme hoogwaters beinvloeden. Op korte termijn wordt zijn het onderhoud van de 48'/43' verdieping, het nieuwe zandwinbeleid en het nieuwe stortbeleid van belang. Op lange termijn kan gedacht worden aan een verdere verdieping, eventueel ontpoldering en zeespiegelrijzing.

Afgeleide beheersvragen

Door RIKZ zijn de volgende beheersvragen afgeleid:

- Zijn de dijken ook in de toekomst hoog genoeg om voldoende *veiligheid tegen overstromen* te bieden?
- Wat zijn de *effecten van het beheer* (verdieping, zandwinning en stortbeleid) op de veiligheid?
- Zijn er *omslagpunten* vast te stellen?
- Wat is de *betrouwbaarheid* van antwoorden op deze vragen?
- Welke *risico's* worden genomen, als er *geen onderzoek* meer wordt gedaan?

Om deze vragen te kunnen beantwoorden dienen de toekomstige hoogwaterstanden voorspeld te worden. De invloed van zeespiegelrijzing en ingrepen dient te worden vastgesteld. Om omslagpunten

te bepalen, dient te worden onderzocht bij welke geometrische eigenschappen de extreme hoogwaters onacceptabel zijn.

De veiligheidsstudie van het RIKZ beperkt zich tot de waterstanden. Veiligheidsfilosofie, stabiliteit van dijken, golfoploop e.d. worden niet meegenomen.

Benodigde kennis

De studies dienen antwoord te geven op de volgende onderzoeksvragen:
- Is de getijbeweging tijdens extreme omstandigheden wezenlijk anders dan onder gemiddelde omstandigheden?
- Hoe kan de historische ontwikkeling van de hoogwaters verklaard worden?
- Wat is de invloed van zeespiegelrijzing, getijslag, wind, het mondingsgebied, de morfologie etc. op de extreme hoogwaters?
- Welke elementen zijn bepalend?

Voor de opzet van het onderzoek is van belang welke getijparameters moeten worden onderzocht en op welke nivo's onderzoek moet worden gedaan.

Opzet vervolgstudies

Voor de studies zijn meetdata en diverse rekenmodellen beschikbaar. Naast studies ter algemene kennisvergroting zullen praktische voorbeelden worden uitgewerkt.

Waarschijnlijk zullen verschillende onderzoekssporen worden gevolgd. Wel moeten de studies een samenhangend programma vormen. Het RIKZ heeft hierin een coördinerende taak. Er zullen regelmatig discussies met betrokken onderzoekers worden georganiseerd om kennis uit te wisselen en resultaten te integreren.

Discussie Getij

Vragen vanuit het beheer

14 oktober 1999

Indeling presentatie

- Doel van deze dag
- Vraag en achtergrond van de vraag van Directie Zeeland
- Afgeleide beheersvragen
- Benodigde kennis
- Hoe verder?

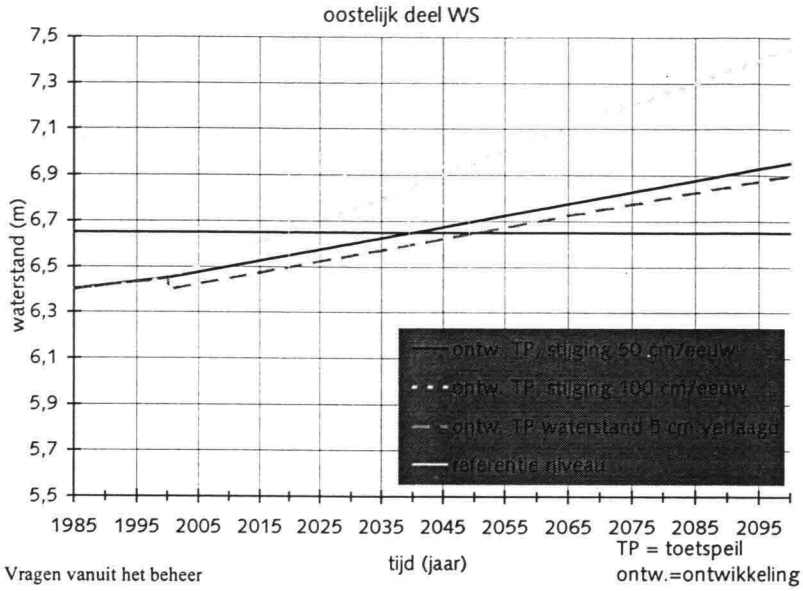
Doel van vandaag

- Waar staan we?
- Hoe gaan we verder?

Vraag van de vraag van Directie Zeeland

Hoe snel stijgen in de Westerschelde de hoogwaterstanden, nu en in de toekomst en wat zijn de oorzaken en consequenties hiervan?

Achtergrond vraag DZL



TP = toetspeil
ontw.=ontwikkeling

Soorten ingrepen/ontwikkelingen

- Systematisch herhaalde kleine ingrepen
- Incidentele ingrepen
- Cyclische ontwikkelingen
- Geleidelijke ontwikkelingen

Toekomstige ontwikkelingen

- Korte termijn
  - onderhoud 48'/43' verruiming
  - nieuw zandwinbeleid
  - nieuw stortbeleid
- Lange termijn
  - zeespiegelstijging
  - verdere vaargeulverruiming
  - ontpoldering

Afgeleide beheersvragen

- Veiligheid tegen overstromen
- Wat zijn de effecten van het beheer van het estuarium op de veiligheid?
- Omslagpunten
- Wat is de betrouwbaarheid van deze informatie?
- Welke risico's nemen we als we geen onderzoek meer doen?

Benodigde kennis

- Gem. omstandigheden => extreme omstandigheden
- Getijparameters
- Schaal nivo
- Relatie met morfologie
- Mondingsgebied
- Wat bepaalt de veiligheid (wind, zss of morf.)

Hoe verder?

- Verschillende onderzoekssporen inzetten
  - modellen, data
  - kennis getij en praktische voorbeelden uitwerken
- Zorgen voor samenhang => regelmatig discussie

Bijlage 2

Presentatie Tom Pieters

het getij, de Schelde en wij

tom pieters

- inleiding
- enkele "verrassende" ervaringen met het Scheldegetij
- voorstel systematische basale analyse van het Scheldegetij

inleiding

"en laten er deskundigen aan rekenen met hun computers, maar een rivier is een levend iets en ge moet altijd maar afwachten wat haar eigen wil is!"

Richard Bleyenberg, gids Land van Saeftinge,
(uit: Zeilen, juli 1996)

Bovenstaande uitspraak is in meerdere opzichten van toepassing op wat ik als inleiding achtereenvolgens over de aard van onze kennis van de watersystemen, over het Scheldegetij en over onze kennis van het Scheldegetij wil zeggen.

"de Schelde en wij"

- "denken vanuit het systeem" en benaderen grenzen van gebruik leveren andere vraagstellingen, die andere kennis en hulpmiddelen vergen

Met de omschakeling naar de "watersysteembenadering, enz." in de tweede helft van de tachtiger jaren, is over het hoofd gezien dat voor deze nieuwe benadering ook een andersoortige kennis nodig is. Voor de Schelde kan dit aspect goed worden geïllustreerd met de volgende veranderde vraagstelling.
In plaats van de vraag naar (de aanvaardbaarheid voor Nederland van) de gevolgen van een door België gewenste verdere verdieping van de drempels, gaat het nu bijvoorbeeld om de vraag of je gebruik kan maken van de jaarlijks voor het nautische onderhoudsbaggerwerk binnen het systeem te verplaatsen hoeveelheid zand van 10 á 15 Mm3 om, met behoud van de gewenste karakteristieken van het systeem, de extreme hoogwaterstanden omlaag te krijgen!
Dergelijke vragen vergen een soort kennis bij bijvoorbeeld adviseurs en morfologen, die juist door het gebruik en de sterk toegenomen kwaliteit en mogelijkheden van door specialisten gebouwde en bediende mathematische modellen niet wordt ontwikkeld en onderhouden! Naar mijn oordeel is dit zeker het geval op het gebied van het getij!

"het getij en de Schelde"

- getijbeweging en –voortplanting op Schelde is complex/specifiek door ontstaan, geologische ondergrond en ingrepen

In een estuarium dat zich op natuurlijke wijze heeft ontwikkeld in een relatief homogene zandige ondergrond zullen relaties tussen geometrie en getij tussen de delen van het systeem geleidelijk veranderen en uit elkaar zijn af te leiden.
In het Schelde-estuarium is dit niet het geval:

- het estuarium is ontstaan door "kortsluiting" van de zeearm de Honte en het tot dan tijloze deel van de rivier de Schelde,
- de bodem van de Beneden-Zeeschelde ligt stevig vast in de Boomse klei
- de geometrie is met bedijkingen, inpolderingen en geulverdiepingen overwegend bepaald door de mens.

In het Schelde-estuarium zullen de relaties tussen geometrie en getij in de verschillende delen afzonderlijk en ter plaatse moeten worden geanalyseerd.

"het Schelde-getij en wij

- (vastgelegde) verklarende kennis van Scheldegetij is opmerkelijk beperkt

Het is opmerkelijk dat bij het grote belang en intensieve gebruik van het estuarium de laatste verklarende beschouwing over het Scheldegetij op systeemniveau al ruim een halve eeuw oud is: Schelderegiem en Schelderegie door dr. ir. Johan van Veen geschreven in 1944. Nadien is er heel vaak gerekend met mathematische modellen naar gevolgen van afzonderlijke ingrepen, waarvan de uitkomsten achteraf, meestal zeer summier, werden "verklaard".

verrassende ervaringen met het Scheldegetij

De volgende voorbeelden bedoelen de complexiteit en het Scheldegetij en enkele niet-lineaire gedragingen ervan te illustreren, om te onderstrepen dat het bij het achteraf verklaren van de uitkomsten van enkele op grond van een te beperkt inzicht gekozen modelsommen vaak om een klein, niet-representatief "deel van het verhaal" gaat.

Vergroting bergende oppervlakte bij Kruibeke (boven Antwerpen) bij huidige en bij grotere diepte van Beneden-Zeeschelde.

Toename bergende oppervlakte bij Kruibeke in ha	toename diepte Beneden-Zeeschelde in m	GA	ΔGA	QA	ΔQm
0	0	1.35	--------	5510	--------
+ 600	0	1.18	– 0.17	6700	+1190
0	+ 1.00	1.38	+ 0.03	5760	+ 250
0	+ 2.00	1.40	+ 0.05	5960	+ 450
0	+ 1.00	1.38	--------	5760	--------
+ 600	+ 1.00	1.24	– 0.14	7130	+1370
0	+ 2.00	1.40	--------	5960	--------
+ 600	+ 2.00	1.27	– 0.13	7450	+1490
ΔGA = (toename) getijversterkingsfactor (versterking tov. Vlissingen) in Antwerpen ΔQA = (toename) maximale debiet bij Antwerpen					

Een vergroting van de bergende oppervlakte landwaarts van Antwerpen bij Kruibeke met 600 ha verhoogt de maximale debieten op de Beneden-Zeeschelde over tenminste enige afstand zeewaarts van de bergingsvergroting, bij Antwerpen met rond 20 %. De snelheden nemen ongeveer evenveel toe en daarmee ook de weerstand/traagheidverhouding, waardoor de getijamplitude afneemt. Bij Antwerpen neemt de getijslag af met 0.17 maal de amplitude van Vlissingen ofwel met rond 0.70 m.
Een verdieping van de Beneden-Zeeschelde verlaagt de snelheden en de weerstand en daarmee de weerstand/traagheidsverhouding, waardoor de getijamplitude toeneemt. Bij de verdieping met een tweede meter neemt de getijslag iets minder toe dan bij de verdieping met de eerste meter.
Bij een verdiepte Beneden-Zeeschelde veroorzaakt een evengrote toename van de bergende oppervlakte bij Kruibeke, met 600 ha, een kleinere afname van de getijamplitude bij Antwerpen, bij verdiepingen met 1m of 2m met respectievelijk 0.14 en 0.13 maal de amplitude van Vlissingen.

Vergelijking vergrotingen bergende oppervlakte bij grens en bij Kruibeke

Een vergroting van de bergende oppervlakte bij Kruibeke heeft heel andere effecten dan een evengrote vergroting bij de Belgisch-Nederlandse grens!
In onderstaande tabel zijn de effecten weergegeven van vergrotingen met 900 ha bij de grens en bij Kruibeke (boven Antwerpen) op de getijversterking en maximale

debieten op verschillende plaatsen langs het estuarium. De berekeningen zijn uitgevoerd met DUFLOW/TRECOS. Het gebruikte DUFLOW-model is nog niet volledig afgeregeld. Bovendien is de opgelegde toename van de bergende oppervlakte met name bij Kruibeke relatief héél groot. Aan de uitkomsten mag kwantitatief niet teveel waarde worden gehecht. Kwalitatief komen er echter een aantal leerzame en verrassende aspecten naar voren.

	T0 G	ΔBgr=+900 ΔG	ΔBkr=900 ΔG	geul	T0 Qmax	ΔBgr=900 ΔQmax	ΔBkr=900 ΔQmax
Mond	--	--	--	Hon	46010	+910	-1490
				SvS	33820	+590	-490
				VlH	7510	+120	-120
				Mon	87340	+1620	-2100
Borssele	1.02	0.00	0.00				
Terneuzen	1.06	-0.01	-0.01				
				Ev+	32660	+830	-860
				PvT	24810	+690	-840
					57470	+1520	-1700
Baarland	1.09	-0.01	-0.01				
Ossenisse	1.12	-0.02	-0.01				
				Mid	17710	+700	-540
				GvO	23510	+780	-650
					41220	+1480	-1190
Hansweert	1.15	-0.03	-0.02				
				DvH	30110	+1470	-520
				SvO	3380	0	-110
					33490	+1470	-630
Bath	1.25	-0.05	-0.05				
BN-grens direct zee-waarts van b.o.-vergr.				VbB	12950	+2610	+860
Antwerpen	1.35	-0.04	-0.26				
Antwerpen direct zee-waarts van b.o.-vergr.				Zee	5500	-140	+1580
G en Qm zijn nu resp. getijversterking (tov. Vlissingen) en maximale debiet ter plaatse							

Er zijn drie in eerste instantie in het oog springende verschillen in de effecten op het systeem van de beide b.o.-vergrotingen:

- De b.o.-vergroting bij Kruibeke heeft een veel grotere invloed op de getijslag bij Antwerpen dan die bij de grens op het vergelijkbaar gesitueerde Bath.
  Op de Beneden-Zeeschelde is de gevoeligheid van de weerstand/traagheid-verhouding voor de toename van debieten⇒snelheden⇒weerstand, die direct

zeewaarts van b.o.- vergrotingen in situaties als deze optreedt, veel groter dan in het door de baggerwerken "ruime" gebied rond Bath en oostelijke deel van de Westerschelde. Dit zijn normale verklaarbare primaire effecten van plaatselijke vergrotingen van de bergende oppervlakte.

- De zich ter plaatse van de b.o.-vergroting instellende kleinere getijslag vormt als het ware een nieuwe randvoorwaarde voor het landwaarts gelegen deel van het systeem. Met de kleinere getijslag wordt ook de verticale berging kleiner, wat tot uitdrukking komt in een afname van het (maximale) debiet direct landwaarts van de b.o.-vergroting. Deze afname van debieten⇒snelheden⇒weerstand in dit gebied kan hier weer gepaard gaan met enige compensatie van de primair door de b.o.-vergroting opgelegde afname van de getijslag.
  Vanaf Bath zeewaarts lijkt het effect op de getijslag ongeveer gelijk. De getijslagafname door de b.o.-vergroting bij de grens is iets sterker en dat is in overeenstemming met de grotere toename van het maximale debiet aan de grens, 20% tov. 7%.
- Het verdere verloop zeewaarts vanaf Bath van de veranderingen van de maximale debieten in relatie tot de getijslagveranderingen is voor beide b.o.-vergrotingen merkwaardig verschillend!
  De afname van de getijslag ter plaatse en direct zeewaarts van een b.o.-vergroting vermindert de verticale berging, wat een compenserend effect heeft op de primaire toename van de debieten door de b.o.-vergroting. De afname van de verticale berging cumuleert in zeewaartse richting over de afstand waarover eventueel de getijslag afneemt.
  Dit effect manifesteert zich tussen Bath en monding nu geheel verschillend voor beide b.o.-vergrotingen, hoewel de "landwaartse randvoorwaarde" bij Bath/grens niet structureel lijkt te verschillen. Voor de b.o.- vergroting bij Kruibeke treedt genoemde compensatie al in sterke mate op over de Beneden-Zeeschelde, waardoor bij de grens de debiettoename veel kleiner is dan de toename door de b.o.-vergroting daar. Ondanks deze kleinere toename en de geringere afname in zeewaartse richting van de getijslag neemt de toename van het maximale debiet tussen Bath en Hansweert sterker af dan bij de b.o.-vergroting aan de grens. De aanvankelijke toename gaat zelfs over in een afname en blijft verder afnemen tot aan de mond. Bij de b.o.-vergroting aan de grens plant de debiettoename zich in ongeveer dezelfde omvang voort tot in de mond.
  Zo nemen in de mond bij een b.o.-vergroting bij de grens met 900 ha de maximale debieten toe en nemen ze af bij een evengrote b.o.-vergroting bij Kruibeke.

Bovengenoemde onverwachte verschijnselen zijn vrijwel zeker fysisch rëeel. Het zijn niet uitsluitend "randvoorwaarde- of andere modeleffecten" én, hoewel wél beïnvloed, Qmax'en mag je voor verschillende geulen niet zomaar optellen, worden ze niet structureel bepaald door de hier gebruikte parameters G en Qmax als indicatoren voor de effecten.
De verschijnselen waren bekend, met name dat een b.o.-vergroting aan de grens een toename en een voldoende grote b.o.-vergroting bij Kruibeke een afname van debieten/getijvolumes in de mond veroorzaken. Een kleine b.o.-vergroting bij Kruibeke veroorzaakt ook een toename in de mond. Afzonderlijk zijn de effecten goed verklaarbaar/beredeneerbaar, behalve de afname van zowél getijslag als maximale debieten in midden- en westelijke deel, maar deze onderlinge vergelijking roept meerdere nieuwe niet zonder meer te beantwoorden vragen op!

Naar mijn oordeel kunnen we pas goed "vat krijgen" op het Scheldegetij door uitvoering van een basale systematische fysische analyse met relatief "eenvoudige"doorzichtige" ééndimensionale modelletjes met bijbehorende applicaties. Hierna doe ik daarvoor een gedetailleerd voorstel.

voorstel
systematische basale analyse
van het Scheldegetij (1)

inhoud

<u>kern van de studie</u>:
analyse van voor huidige getijbeweging en –voortplanting onder gemiddelde en extreme omstandigheden bepalende randvoorwaarden en geometrische karakteristieken:

- op systeemniveau (mondingsgebied + Westerschelde + Zeeschelde)
- op deelsysteemniveau (MG, WS-W, WS-M, WS-O, BeZS en BoZS)
- op geulgroepniveau
- op hoofdgeul-/ nevengeul-/ plaatcomplexniveau

<u>aanvullend op de kernstudie</u> worden:

- in verleden opgetreden grootschalige bergingsveranderingen en overige geometrieveranderingen gereconstrueerd
- mogelijke toekomstige ontwikkelingsrichtingen van het getij onder invloed van geometrie- en randvoorwaardenveranderingen aangegeven
- vigerende hypotheses mbt. morfologische ontwikkelingen in het Schelde-estuarium getoetst aan resultaten van getijanalyses

aanpak

uitvoering basisanalyse huidige getij door:

- bouw, calibratie, verificatie van twee eenvoudige 1-dimensionale getijmodellen op "duflow"-basis
- systematische variatie van relevante karakteristieken van secties in "duflow"-modellen en bepaling invloed op getij
- analyses op systeem-, deelsysteem- en (waarschijnlijk) geulgroepniveau met "scaldu15"-model, bestaande uit ongeveer 15 langssecties

- analyses op (misschien) geulgroepniveau en hoofd-/nevengeul-/plaatcomplexniveau met "scaldu40"-model, bestaande uit ongeveer 40 langs- én parallelsecties
- tracering "pad" van geometrie- naar getijverandering door analyse o.a. gedrag termen bewegingsvergelijkingen en benaderde verhoudingen weerstand/traagheid (s1) en bekkenlengte/getijgolflengte (s2)
- variatie sectiekarakteristieken en analyses getijveranderingen grotendeels door toepassing userinterface "newtrecos" (TU-Delft), waarin opgenomen o.a. ecduflow (gedrag termen bew.vgl.) en harmshell (gedrag s1, s2)

overige analyses:

- verschil "duflow"-getij en "harmonische methode"-getij, te bepalen binnen "(new)trecos" wordt bepaald door niet-lineaire effecten en geeft inzicht in invloed/omvang vervormingen
- "hand"-berekeningen van enkelvoudige lopende golf geven inzicht in invloed/omvang door bekkengeometrie "gereflecteerde golf", relevant voor bijvoorbeeld samenstelling getij in Vlissingen en "positie" Scheldegetijgolf tussen lopend en staand
- reconstructie invloed grootschalige bergingsveranderingen in afgelopen eeuwen met "scaldu15"-model en reconstructie invloed geometrieveranderingen in afgelopen eeuw met "scaldu40"-model

Ik denk dat het heel belangrijk is dat dit "verhaal" er een keer komt, en dat er dan heel veel gebruik van gemaakt zal worden!

Bijlage 3

Presentatie Bram Bliek

Presentatie discussiedag getij 14 oktober 1999
Bram Bliek

1 Samenvatting eerdere Svašek studies

Door Svašek is in het verleden een aantal studies uitgevoerd die gerelateerd zijn aan de vraag naar de ontwikkeling van de hoogwaters in de Westerschelde.
Dit betreft enerzijds getijstudies in het mondingsgebied van de Westerschelde in het kader van KUST*2000 en anderzijds studies in de Westerschelde zelf.

In het mondingsgebied zijn uitvoerige analyses gemaakt van de ontwikkeling van het historische getij in de verschillende meetstations. Daarbij is gebleken dat inzicht in de meetmethoden in het verleden van groot belang is bij de interpretatie van de uitkomsten, met name als het gaat over faseverschillen met een orde grootte van enkele minuten.
De meetmethode kon niet voor ieder station voor 100% worden achterhaald, waardoor voor deze stations onzekerheden blijven bestaan over de opgetreden trends in het verleden.

Ten opzichte van het mondingsgebied vertoont het estuarium zelf een meer uitgesproken ontwikkeling in het getij. Hierdoor is de vraag naar de historische meetmethoden in het estuarium waarschijnlijk van minder belang dan in het mondingsgebied, maar dit punt verdient ook in het estuarium aandacht.

In de uitgevoerde studies is gebruik gemaakt van 2DH-modellen (KUSTSTROOK, SCALWEST) om gevoeligheden van het getij voor bepaalde ontwikkelingen in de morfologie te onderzoeken.
Deze modelberekeningen hebben een belangrijke bijdrage geleverd aan de verdieping van het inzicht in de relatie tussen waterbeweging en morfologie.
Bijvoorbeeld: in het mondingsgebied zijn berekeningen uitgevoerd met KUSTSTROOK voor zowel de bestaande bodemligging als voor een situatie met afgevlakte bodem. In de laatste situatie blijkt evenals in de huidige toestand een voorkeursrichting voor de stroom aanwezig te zijn langs de beide oevers (Zeeuws-Vlaanderen/België en Walcheren). De huidige oriëntatie van Scheur/ Wielingen en Oostgat blijkt dus overeen te komen met de voorkeursrichting van de waterbeweging. De ontwikkeling van een nieuwe Deurloo-geul, die enkele eeuwen geleden dwars door het mondingsgebied liep, is derhalve niet waarschijnlijk.
De huidige Vlakte van de Raan blijkt ook bij een afgevlakte bodem een ronddraaiende stromingstoestand te kennen, waarbij in één getij de stroming 360° rond gaat zonder een duidelijke kentering.

Bij de toepassing van 2D-modellen is het van groot belang dat het model voldoende is afgeregeld voor de situatie die men wil bestuderen. Bodemligging en weergave van waterstanden en van snelheden/debieten in de huidige situatie moeten voldoende betrouwbaar zijn om waarde te kunnen toekennen aan de extrapolatie naar een nieuwe toestand.
Zo heeft bij de toepassing van KUSTSTROOK in het mondingsgebied eerst een calibratieslag plaatsgevonden, zowel inzake bodemligging en debieten in het mondingsgebied zelf, als ook m.b.t. de effecten van de stormvloedkering in de Oosterschelde en het binnengebied in de Westerschelde en de Belgische Schelde.

Enkele voorbeelden van resultaten:

A. *Ontwikkelingen stroming mondingsgebied Westerschelde 1970-1995 m.b.v. KUSTSTROOK (sheet 1):*
   - de aanpassingen in de Westerschelde (verdieping, bagger- en stortbeleid) in de periode 1970-1995 hebben geleid tot een toename van de debieten/getijvolumina in zowel de Wielingen als in het Oostgat;

- de verdieping van Scheur/Wielingen in dezelfde periode heeft geleid tot een toename van het debiet in de verdiepte geul zelf ten koste van het Oostgat;
- de combinatie van beide ingrepen (zoals die in werkelijkheid heeft plaatsgevonden) impliceert voor Scheur/Wielingen een duidelijke toename van de debieten, terwijl in het Oostgat het netto effect van beide ingrepen vrijwel neutraal is.

B. *Ontwikkeling getijverschillen Westerschelde 1970-1995 m.b.v. KUSTSTROOK (sheet 2):*
- verdieping van alleen het mondingsgebied leidt tot een geringe stijging van het getijverschil in Vlissingen en in de rest van het estuarium (ruim 2 cm);
- verdieping van alleen het westelijke deel van de Westerschelde leidt tot een vrijwel neutraal gedrag van het getijverschil in het mondingsgebied en in de Westerschelde tot Terneuzen en tot een geringe toename bij Bath;
- verdieping van alleen het middendeel en oostelijke deel van de Westerschelde leidt tot geringe effecten in het estuarium tot Terneuzen en een sterke toename van het getijverschil bij Bath (ruim 30 cm)
- de combinatie van alle ingrepen (zoals in werkelijkheid opgetreden) leidt tot een geleidelijk toenemend getijverschil vanaf de monding tot Bath, met de sterkste toename tussen Terneuzen en Bath. De resultaten voor de gehele aanpassing zijn niet gelijk aan de som van de deelingrepen, d.w.z. dat de verschillende deelingrepen niet onafhankelijk van elkaar zijn.

C. *Toekomstscenario's zeespiegelrijzing en getijslagtoename m.b.v. SCALWEST (sheet 3):*
- een zeespiegelrijzing van 50 cm op de Noordzee heeft nauwelijks of geen effect op de getijverschillen in de Westerschelde;
- een zeespiegelrijzing van 50 cm in combinatie met een toename van de getijslag op zee met 4% leidt tot een afnemende getijslagtoename in de Westerschelde (tot 1,6% bij Antwerpen).

Met deze voorbeelden is aangetoond welke rol 2D-gevoeligheidsonderzoek kan spelen bij de beoordeling van de gevolgen van menselijke ingrepen en/of externe invloeden op de getijbeweging in het Westerscheldebekken.

2 Onderzoeksvoorstel

Bij de formulering van een onderzoeksvoorstel dient de vraagstelling een essentiële rol te spelen. Deze vraagstelling is gericht op de ontwikkeling van de hoogwaterstanden in de Westerschelde, nu en in de toekomst.

Op de bijbehorende sheets is een onderzoeksvoorstel in beeld gebracht dat hier naar mijn overtuiging zo goed mogelijk aan beantwoordt.

A. Sheet 4 geeft het totale overzicht van invloedsfactoren die de HW-standen beïnvloeden:
- extern zee: ontwikkelingen MSL, getijverschil en windopzet
- extern rivier (België): ontwikkelingen rivierafvoer, neerslag en ingrepen, zoals potpolders
- intern estuarium: ingrepen, morfologische ontwikkelingen en ontwikkelingen in het windveld/de windopzet.

Al deze effecten/ontwikkelingen tezamen bepalen uiteindelijk het extreem HW langs de oevers van de Westerschelde.
Het onderzoeksvoorstel moet op evenwichtige wijze aandacht aan alle aspecten besteden.

B. Sheet 5 geeft een schematisch overzicht van tot heden uitgevoerd onderzoek:
- er is (veel) onderzoek uitgevoerd naar de invloed van ingrepen en morfologische ontwikkelingen op de geometrie van het estuarium. Het laatste antwoord is nog niet gegeven;

- er is (enig) onderzoek uitgevoerd naar de doorwerking van zeespiegelrijzing en toename getijverschil op zee in het estuarium;
- er is nauwelijks onderzoek verricht naar de doorwerking van een en ander op extreem hoog water (vaak wel op astronomisch getij, maar niet op extremen).

C. Sheet 6 brengt lopend STOWASUS-onderzoek in beeld. Dit onderzoek richt zich op de ontwikkelingen van getijverschil en windopzet op de Noordzee onder invloed van te verwachten klimaatwijzigingen. Dit onderzoek is grootschalig. Ontwikkelingen binnen het estuarium zelf komen niet of nauwelijks aan de orde.

D. Sheet 7 bevat fase 1 van het onderzoeksvoorstel, te weten een historisch onderzoek naar stormen.
De kernvraag hierbij is hoe windopzet op zee via de geometrie van het estuarium doorwerkt in de extreme hoogwaters. Ook ontwikkelingen in getijverschil op zee en wind (voorzover bekend) kunnen hierin meegenomen worden.

De ontwikkelingen van de geometrie worden meegenomen als gegeven (dus niet verklarend in de richting van morfologische ontwikkelingen en ingrepen; dit laatste onderzoek is wel belangrijk, maar past niet in het kader van deze vraagstelling).

Onderzoeksmodellen zijn historische waarnemingen en hindcast met 2D-model van een of meerdere historische stormen (b.v. wat zou de 1953 storm doen bij de bodem van 1999?)

E. Sheet 8 geeft fase 2 van het onderzoeksvoorstel, te weten een gevoeligheidsonderzoek naar de doorwerking van alle afzonderlijke effecten op de extreme HW-standen. Door dit gevoeligheidsonderzoek ontstaat inzicht in welke effecten een dominante rol en welke effecten van ondergeschikt belang zijn.

Het onderzoeksmiddel in dit gevoeligheidsonderzoek is een 2D-model.

F. Sheet 9 brengt de gevolgen van toekomstscenario's in beeld.
Deze bestaan uit realistische (of juist pessimistische) combinaties van effecten en invloedsfactoren, die tezamen werkelijkheid zouden kunnen worden over b.v. 50 jaar. Deze stap is noodzakelijk omdat uit bestaand onderzoek is gebleken dat de som van alle effecten niet gelijk hoeft te zijn aan de som der delen (zie sheet 3).

In deze fase passen nadrukkelijk ook toekomstscenario's m.b.t. de morfologische ontwikkelingen van het estuarium en de gevolgen daarvan voor de geometrie. Omwille van de duidelijkheid lijkt het mij niet verstandig dit onderzoek zelf onder te brengen bij de huidige vraagstelling m.b.t. extreem hoog water.
Het onderzoek naar toekomstscenario's kan eveneens met het 2D-model worden uitgevoerd. Het eindproduct is een prognose voor de ontwikkeling van extreem HW in de toekomst voor verschillende scenario's (zowel onder invloed van externe factoren als ten gevolge van beheersmaatregelen).

Ontwikkelingen 1970 - 1995
stroming mondingsgebied

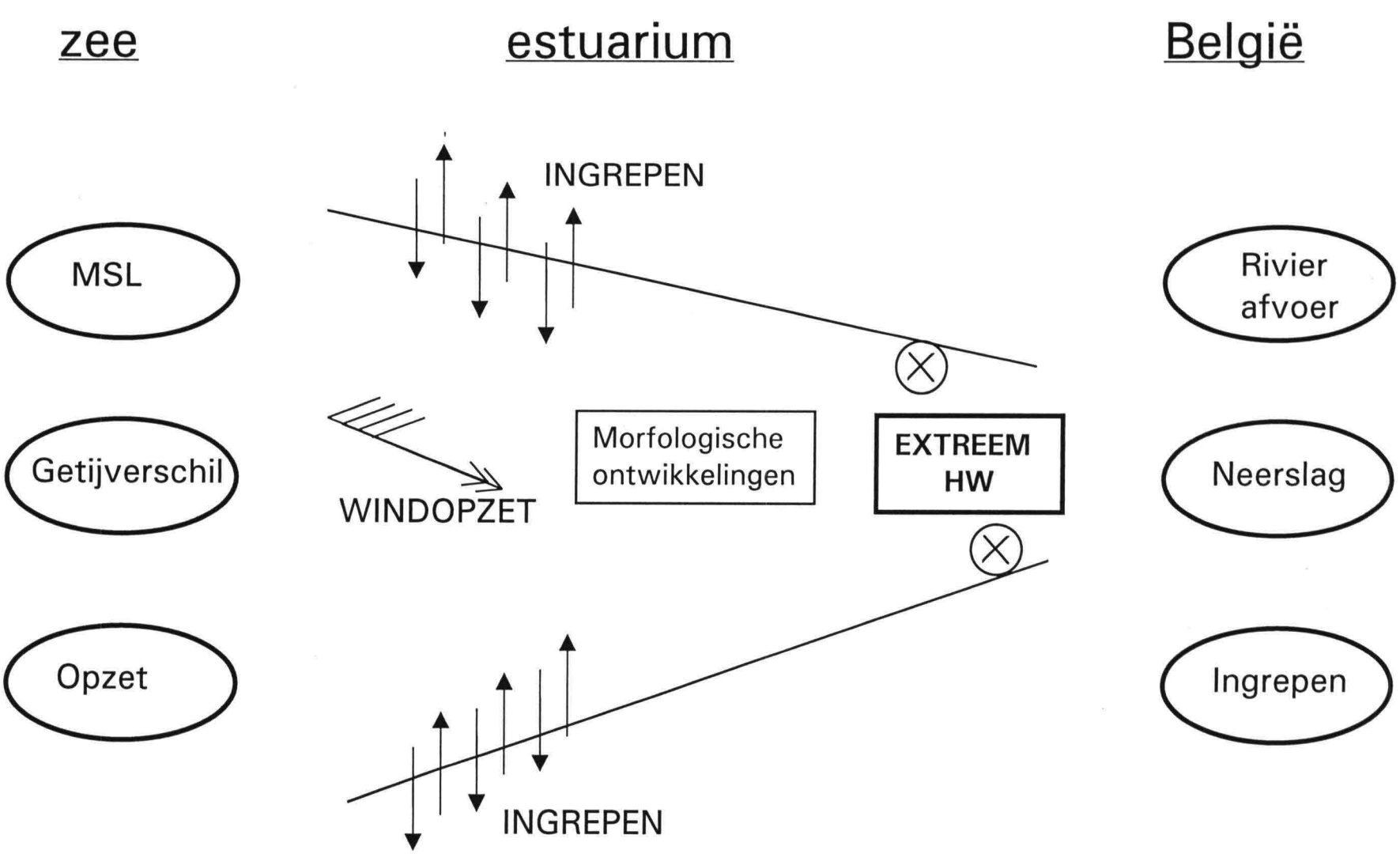
	Debieten	
	Oostgat	Wielingen
aanpassing Westerschelde	+	+
aanpassing Scheur/Wielingen	-	+
allebei	**0**	+ +

Ontwikkelingen 1970 - 1995
getijverschillen

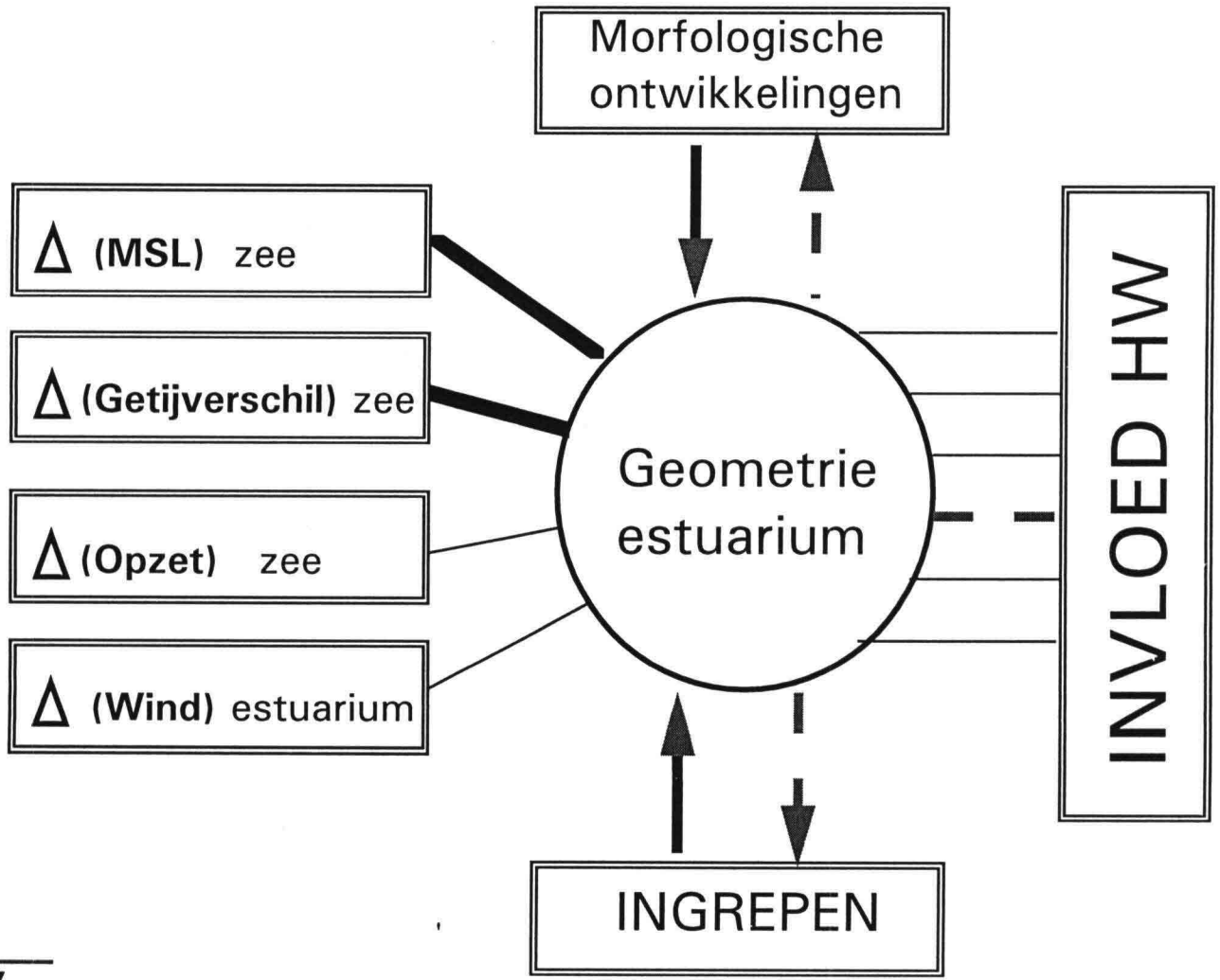
	Toename per ingreep (cm)			
	Monding	West	Midden/Oost	Alles
Zeebrugge	**0.6**	**0.1**	**0.4**	**1.3**
Vlissingen	**2.6**	**0.5**	**1.0**	**4.1**
Terneuzen	**2.6**	**-0.1**	**1.7**	**5.1**
Bath	**2.1**	**1.6**	**33.6**	**30.9**

Toekomst scenario's
zeespiegelrijzing en getijslagtoename

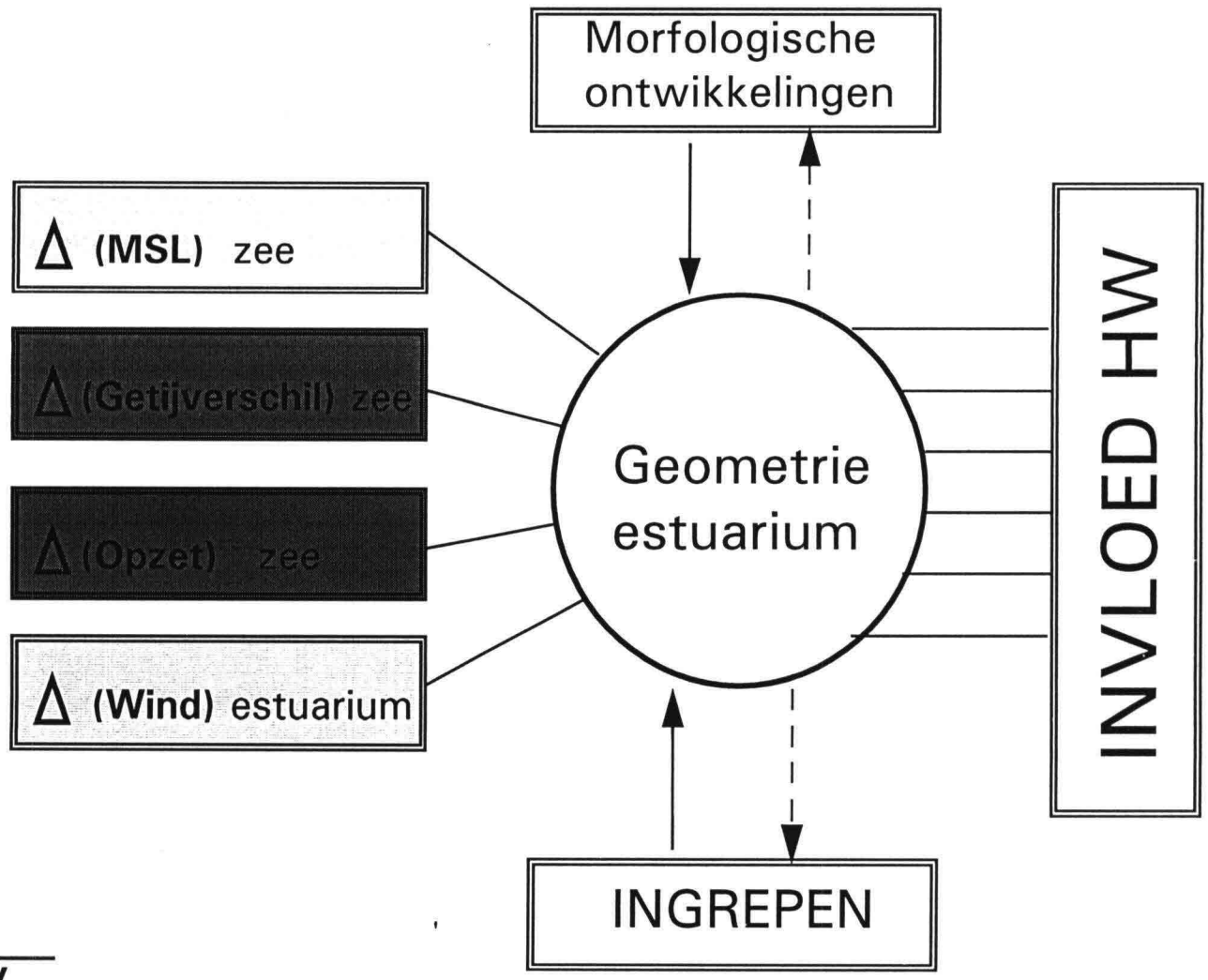
	Getijslagtoename Westerschelde	
	Scenario 1	Scenario 2
	Zeespiegelrijzing : 0.5m	Zeespiegelrijzing : 0.5m
	geen getijslagtoename op zee	4% getijslagtoename op zee
Zeerand	**0.0 %**	**+4.0 %**
Vlissingen	**-0.01 %**	**+3.8 %**
Terneuzen	**+0.02 %**	**+3.7 %**
Bath	**+0.02 %**	**+2.8 %**
Antwerpen	**-0.06 %**	**+1.6 %**


zee
estuarium
België
INGREPEN
MSL
Getijverschil
Opzet
WINDOPZET
Morfologische ontwikkelingen
EXTREEM HW
Rivier afvoer
Neerslag
Ingrepen
INGREPEN

Uitgevoerd onderzoek
(Historische ontwikkeling getij)



Lopend onderzoek (STOWASUS)

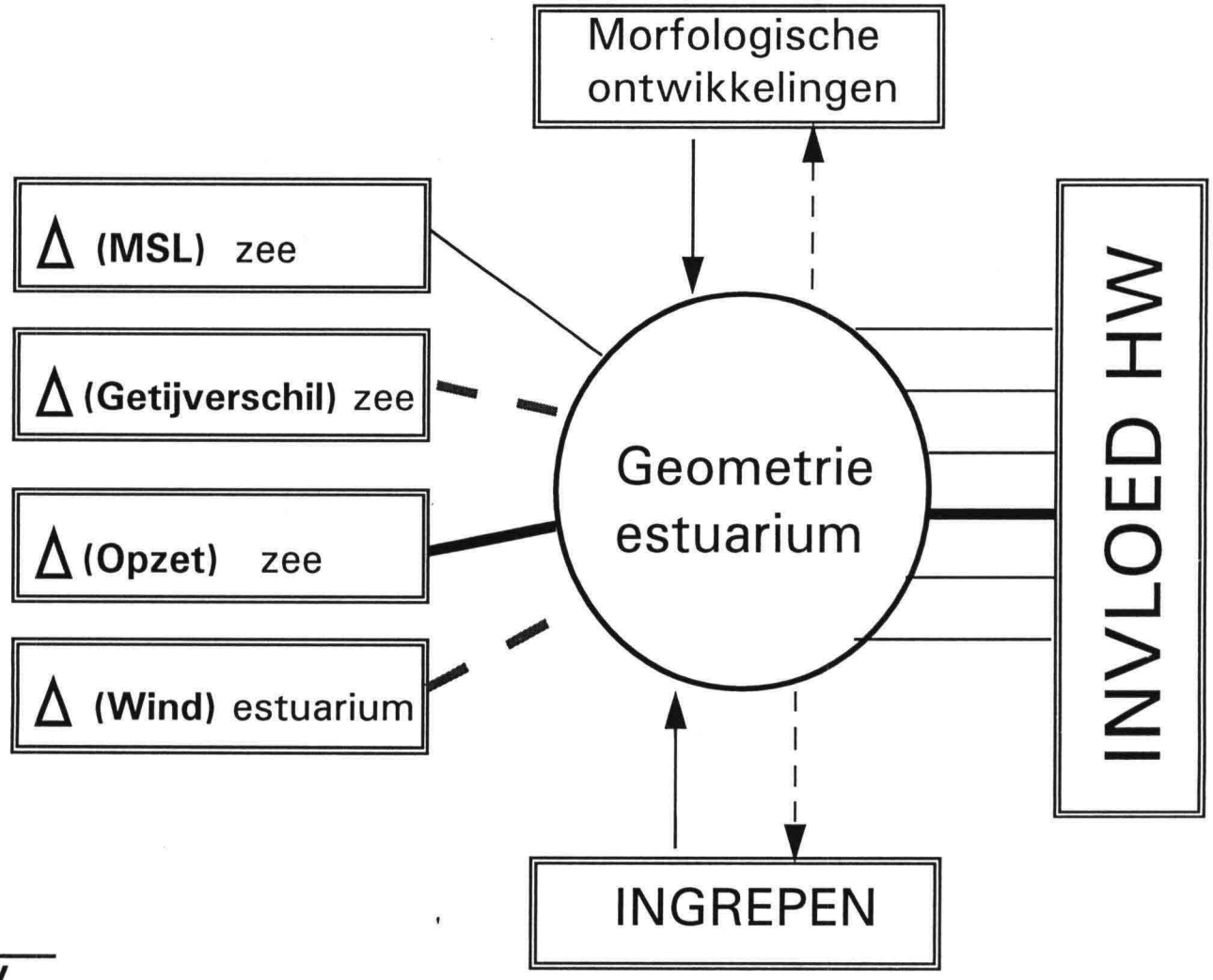


Extreem HW onderzoek Westerschelde

Fase 1: Historisch onderzoek stormen

A. Waarnemingen

B. Hindcast 2-DH model (1953? 1976?)

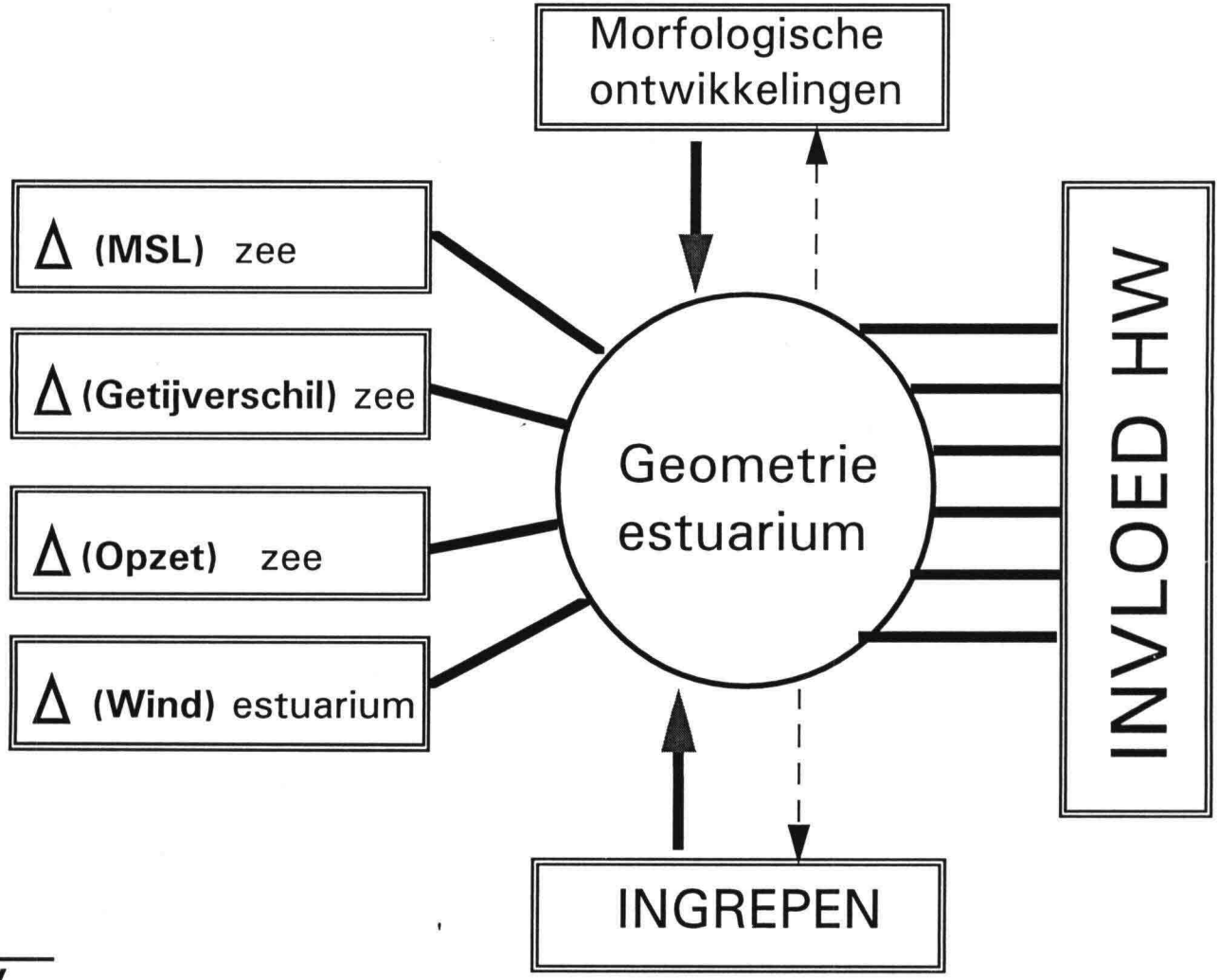


SVAŠEK
waterbouwkundig adviesbureau

Extreem HW onderzoek Westerschelde

Fase 2: Gevoeligheidsonderzoek getij +stormen

Alle invloeden apart doorrekenen



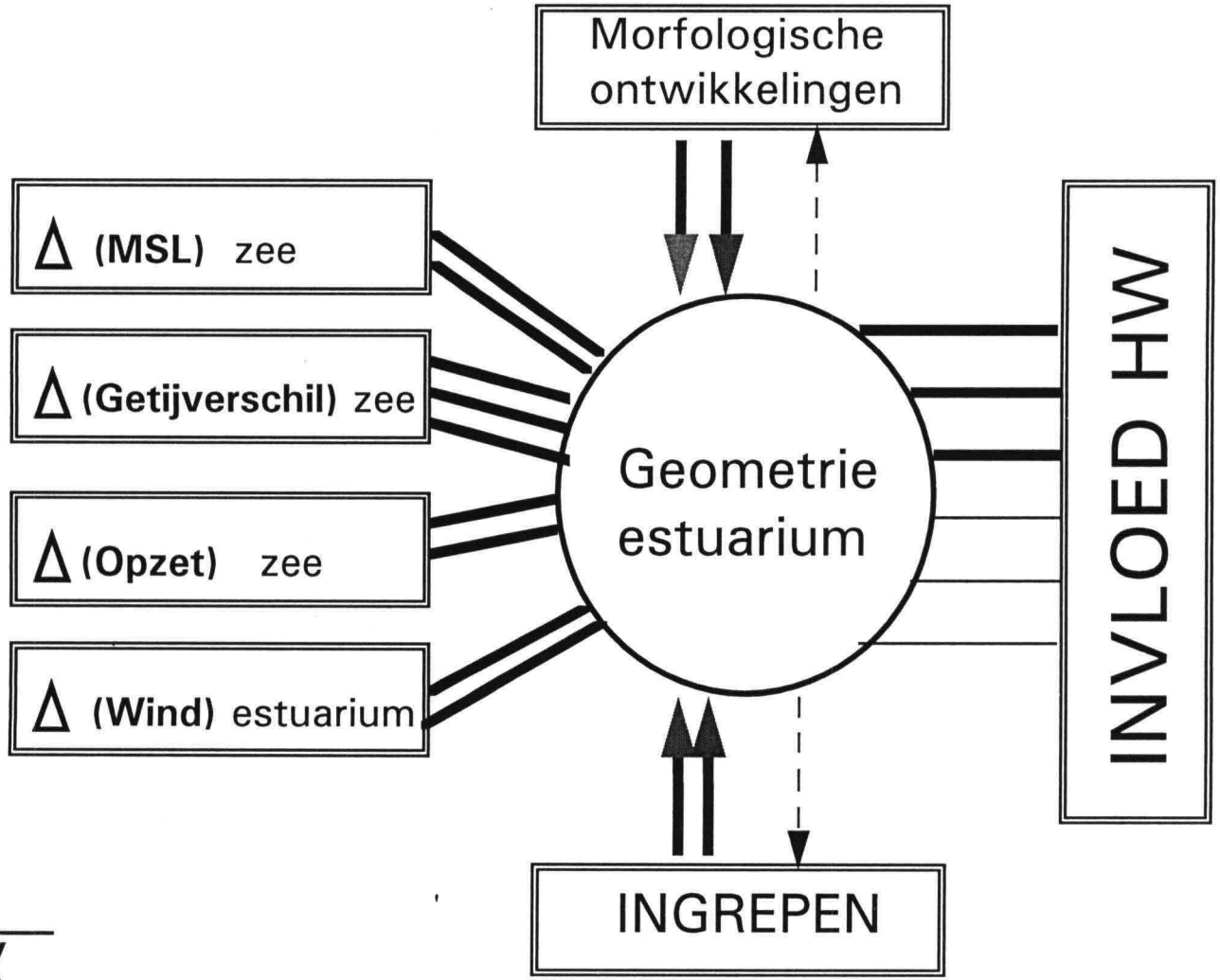
SVAŠEK
waterbouwkundig adviesbureau

Extreem HW onderzoek Westerschelde

Fase 3: Toekomstverkenning

A. Definitie toekomstscenario's (gecombineerde invloeden)

B. Voorspelling extreem HW ontwikkeling



SVAŠEK
waterbouwkundig adviesbureau

Bijlage 4

Presentatie Tjerk Zitman

Witteveen + Bos

water
infrastructuur
milieu
bouw

Notitie

Witteveen+Bos
postbus 233
7400 AE Deventer
telefoon 0570 69 79 11
telefax 0570 69 73 44

opdrachtgever	Svasek BV
projectcode	Rt235.0
projectomschrijving	Bijdrage W+B aan discussiebijeenkomst bij RIKZ Middelburg
onderwerp	Getijanalyse Westerschelde
referentie/volgnummer	

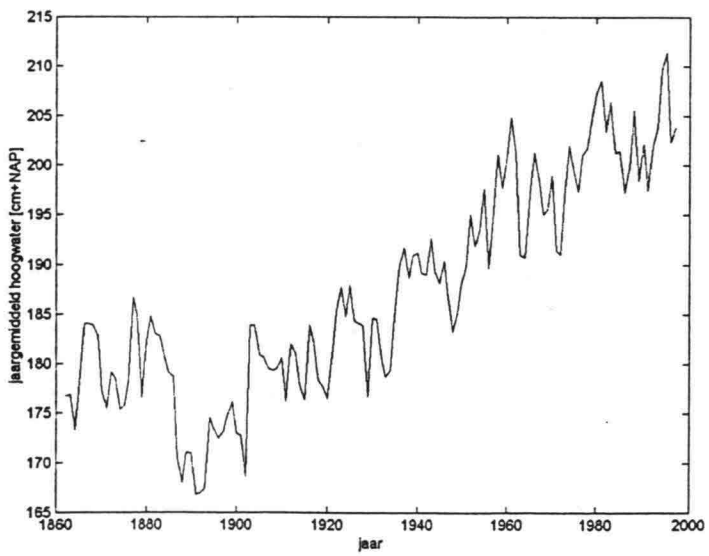
aan	Svasek BV	ir. A. de Gelder

opgemaakt	ir. T.J. Zitman
datum	29 oktober 1999

Inleiding

Uit registraties van de waterstanden in diverse meetstations in de Westerschelde en langs de kust van de Noordzee valt af te leiden dat het jaargemiddelde hoogwater over de afgelopen eeuw een duidelijk stijgende tendens vertoont (Dilling en Heinen (1994) 'Zeespiegelstijging, getijverandering en deltaveiligheid', rapport RIKZ-94.026). Daaromheen worden fluctuaties met uiteenlopende periode aangetroffen. Ter illustratie is hieronder het uit waarnemingen afgeleide verloop van het jaargemiddelde hoogwater voor Vlissingen gegeven.

Afbeelding 1. Jaargemiddeld hoogwater (Vlissingen)



Om na te gaan of en hoe de veiligheid tegen overstromen van gebieden rond de Westerschelde in de toekomst voldoende kan worden gewaarborgd, heeft het RIKZ een studieprogramma geïnitieerd dat erop gericht is om inzicht te verwerven in oorzaken van de waargenomen stijgende tendens. In het kader van dit studieprogramma heeft Witteveen+Bos Raadgevende Ingenieurs bv in opdracht van het RIKZ onderzoek verricht naar de instantane respons van de waterstanden op

veranderingen in de geometrie van het estuarium. Daarmee wordt een basis gelegd voor verantwoorde prognose van de verandering van de waterstanden in relatie tot toekomstige ontwikkelingen (met name menselijk ingrijpen) in het estuarium.

In de loop van de studie heeft een aanpassing van de doelstelling plaatsgevonden. Vandaar dat bij de indeling van de voorliggende samenvatting onderscheid is gemaakt tussen de 'oorspronkelijke opzet', de 'aanpassing van de doelstelling' en de 'gewijzigde aanpak'.

Oorspronkelijke opzet
In het algemeen zijn kenmerkende tijdschalen van de waterbeweging in de Westerschelde klein ten opzicht van de tijdschalen waarop veranderingen in de geometrie van dit estuarium optreden. Het is daarom te verwachten dat de waterbeweging instantaan reageert op een wijziging in de geometrie. Met andere woorden, de tijd die de waterbeweging nodig heeft om zich aan een gewijzigde geometrie aan te passen, zal klein zijn ten opzichte van de duur van de periode waarop die wijziging tot stand komt.

Vanwege deze eigenschap zal een relatief snelle verandering in de geometrie leiden tot een even snelle aanpassing van de waterbeweging. Op grond daarvan mag worden verwacht dat een menselijke ingreep, zoals inpoldering of verdieping van de vaargeul, direct van invloed zal zijn op de waterbeweging. Aan het begin van de studie is verondersteld dat die directe invloed merkbaar zou moeten zijn in de waterstanden. De oorspronkelijke aanpak van de studie was erop gericht om deze instantane respons van waterstanden op ingrepen te identificeren. Hiertoe zijn registraties van waterstanden voor diverse meetpunten[1] langs de Westerschelde en de Zeeschelde geconfronteerd met een kalender van vrij plotselinge geometrische veranderingen in het estuarium.

Voorafgaand aan de confrontatie zijn fluctuaties met een bekende oorzaak zo veel mogelijk uit het signaal van waargenomen waterstanden gefilterd. Omdat gewerkt is met jaargemiddelde waterstanden (hoogwater, laagwater en getijverschil) zijn incidentele effecten, zoals meteorologische invloeden, bij voorbaat voor een belangrijk deel onzichtbaar geworden. Daarnaast is de nadrukkelijk aanwezige 18,6 jarige component van het astronomische getij uit de registraties verwijderd. Ter illustratie hiervan is in onderstaande figuren het verloop van de waterstanden weergegeven voor en na correctie voor deze getijcomponent.

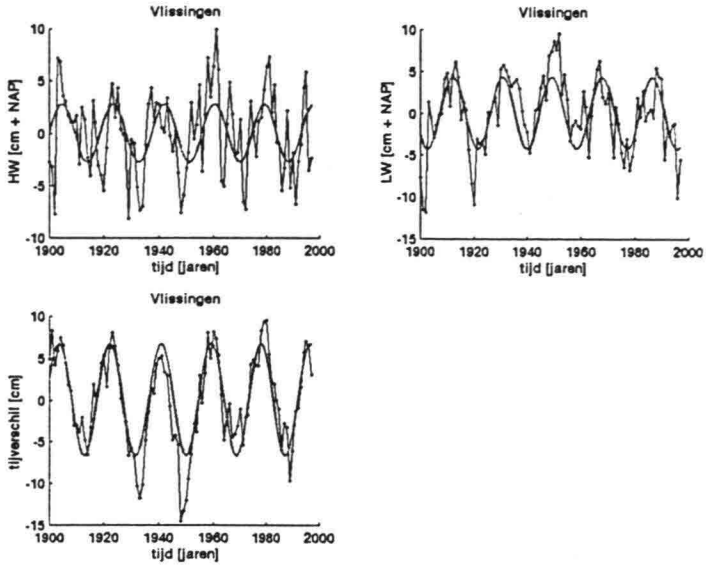
De correctie is uitgevoerd door van het oorspronkelijke signaal eerst de bijbehorende lineaire trend af te trekken. Vervolgens is aan het verschil een sinus met een periode van 18,6 jaar aangepast (zie afbeelding 2a) en uit het verschil verwijderd. Bij het residu is daarna de eerder gevonden lineaire trend weer opgeteld. Het resultaat van deze laatste bewerking is weergegeven in afbeelding 2b.

Confrontatie van de waargenomen ontwikkeling van waterstanden in de Westerschelde met een kalender van aldaar in het verleden uitgevoerde ingrepen, heeft het bestaan van een instantane respons van waterstanden op plotselinge veranderingen in de geometrie van het estuarium niet kunnen bevestigen. Het is echter niet op z'n plaats om hieruit te concluderen dat waterstanden niet instantaan zouden veranderen als gevolg van ingrepen in de geometrie. Uit de confrontatie kan alleen worden afgeleid dat de veranderingen die zijn veroorzaakt door in het verleden uitgevoerde ingrepen, niet significant te onderscheiden zijn van blijkbaar continu aanwezige fluctuaties in de ontwikkeling van waterstanden.

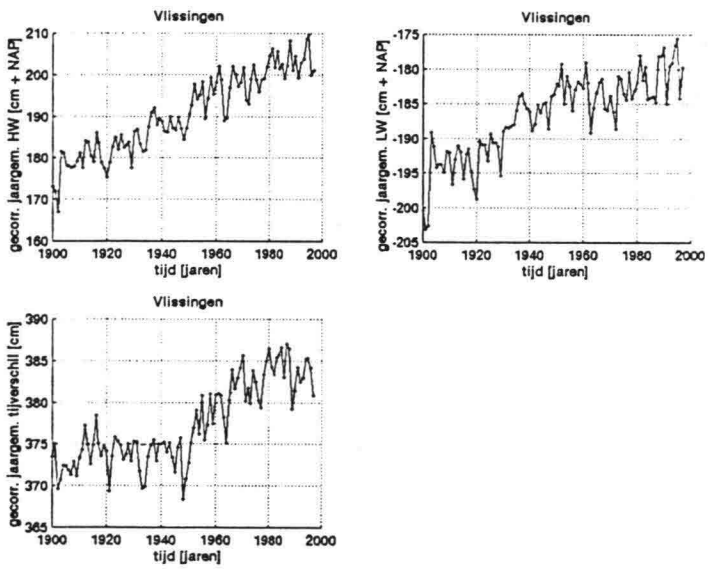
---

[1] De meetpunten zijn Antwerpen, Prosper, Bath, Hansweert, Terneuzen, Vlissingen, Cadzand en West Kapelle. In figuren is aan deze punten gerefereerd met achtereenvolgens de afkortingen antw, pros, bath, hans, tern, vlis, cadz en west.

Afbeelding 2a. Fluctuaties van jaargemiddelde waterstanden rond de bijbehorende lineaire trend



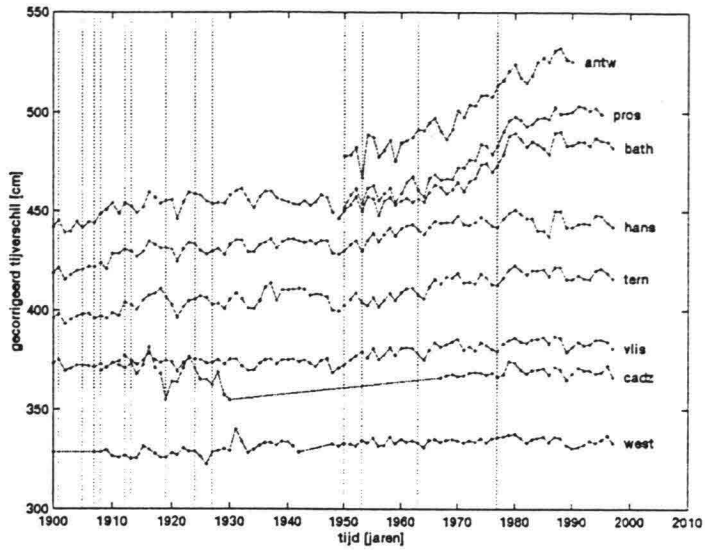
Afbeelding 2b. Fluctuaties na correctie voor de 18,6 jarige getijcomponent



Voor een deel kan het ontbreken van een instantane respons (althans een respons die zichtbaar is in de waarnemingen) worden verklaard vanuit aard en/of omvang van de ingrepen. Zo hadden inpolderingen die in de eerste helft van deze eeuw in het estuarium zijn uitgevoerd vooral betrekking op gebieden die reeds bij voorbaat boven het niveau van gemiddeld hoogwater lagen. Het effect van die inpolderingen is ongetwijfeld terug te vinden in de statistiek van waterstanden die boven dat niveau uitkomen. Immers, voor die omstandigheden is de komberging door de inpoldering gereduceerd. Echter, in jaargemiddelde hoogwaters is die invloed nauwelijks terug te vinden omdat de meer extreme waterstanden daar een relatief kleine bijdrage aan leveren.

Met de drooglegging van met name de Quarlespolder in het Sloegebied (1949, bijna 500 ha) en de Braakmanpolder (1952, ruim 1500 ha) is rond 1950 wel een groot gebied beneden hoogwater aan het estuarium onttrokken. Echter, ook dat geeft in de geregistreerde waterstanden geen instantane respons te zien (zie onderstaande afbeelding).

Afbeelding 3. Gecorrigeerd jaargemiddeld hoogwater en momenten van gereedkomen vaninpolderingen (verticale streepjeslijnen)



Voor baggeren en storten dat bijvoorbeeld in het kader van vaargeulverruiming sinds circa 1955 is uitgevoerd, geldt ook dat het niet heeft geleid tot een instantane respons die in waargenomen hoogwaters herkenbaar is. Door vaargeulverruiming verandert lokaal het oppervlak van de natte dwarsdoorsnede bij hoog water van het estuarium betrekkelijk weinig, zodat de invloed op hoogwater gering zal zijn. Bovendien vinden zulke ingrepen vrijwel elk jaar plaats. Door deze herhaling is de mogelijke instantane respons van bagger- en stortactiviteiten niet als zodanig in een reeks van jaargemiddelde hoogwaters terug te vinden. Effecten van individuele ingrepen zijn namelijk niet meer van elkaar te onderscheiden.

Aanpassing van de doelstelling

Voor een aantal ingrepen die in het verleden in de Westerschelde zijn uitgevoerd, kan uit de aard van die ingrepen worden verklaard waarom ze niet hebben geleid tot een instantane respons die in de geanalyseerde waarnemingen herkenbaar is. Toch zullen die ingrepen wel invloed hebben gehad op de waterbeweging, al was het maar een lokale invloed. Deze constatering was aanleiding om te veronderstellen dat de instantane respons van de waterbeweging op in het verleden uitgevoerde ingrepen primair tot uitdrukking komt in de stroming en aanmerkelijk minder in de waterstand. Deze verandering in de stroming zet een proces in gang dat streeft naar een onderling (dynamisch) evenwicht tussen morfologie en waterbeweging. Dat proces geeft wel een aanpassing van de waterstand te zien, zij het op een relatief grote tijdschaal.

Tegen deze achtergrond is ervoor gekozen het onderzoek te verleggen naar een respons van waterstanden op termijn. Daartoe zijn historische waarnemingen aan waterstanden in kwalitatieve zin geanalyseerd ter identificatie van zo'n respons op termijn. In aanvulling daarop zijn diagnostische modelberekeningen uitgevoerd voor een selectie van veranderingen in de geometrie die zich in de periode 1968-1978 hebben voorgedaan.

Gewijzigde aanpak

Uit de analyse van historische waarnemingen is naar voren gekomen dat in de afgelopen eeuw op hoofdlijnen drie perioden te onderscheiden zijn. De eerste periode omvat circa de eerste 25 jaar van deze eeuw en kenmerkt zich door een betrekkelijk geringe, maar gestage stijging van de getijslag. Verspreid over deze periode zijn diverse gebieden ingepolderd. Deze lagen voor een groot deel boven gemiddeld hoogwater. Het effect van deze inpolderingen beperkt zich daardoor tot omstandigheden waarbij gemiddeld hoogwater wordt overschreden.

Tussen circa 1925 en 1950 zijn er weinig ingrepen in de geometrie van het estuarium geweest en is gemiddeld nauwelijks variatie in de getijslag opgetreden. Vanaf begin jaren 50 is dat anders. In de eerste helft van de vijftiger jaren zijn omvangrijke gebieden ingepolderd die op dat moment beneden gemiddeld hoogwater lagen (Braakman en Sloe). Deze ingrepen vallen ongeveer samen met het begin van een geleidelijke stijging van de getijslag. In het oostelijk deel van de Westerschelde is die stijging sterker dan in het westelijke deel. Bovendien lijkt de stijging over het gehele estuarium een asymptotisch verloop te hebben. Vlak na de ingrepen verloopt de stijging gemiddeld sneller dan na een aantal jaren (alleen bij Antwerpen is dit asymptotisch karakter niet goed in waarnemingen herkenbaar).

De vraag in hoeverre hier sprake is van een oorzakelijk verband, moet worden gesteld in relatie tot bagger- en stortactiviteiten die in het kader van grootschalige verruiming van de vaargeul in het oostelijke deel van de Westerschelde vanaf midden jaren zestig hebben plaats gevonden. Verruiming van de vaargeul leidt tot een toename van de doordringing van het getij. Inpolderingen (reductie van de bergende breedte) sorteren een soortgelijk effect. De waargenomen toename van de getijslag zou zodoende het gezamenlijke effect kunnen zijn van de inpolderingen en de verruiming van de vaargeul.

De diagnostische modellering is onder meer gericht geweest op het verkrijgen van een impressie van verruiming van de vaargeul. Er is een vergelijking gemaakt tussen twee situaties. Een daarvan is de werkelijke waterbeweging in 1968, aan de vooravond van een verruiming ter hoogte van Hansweert. De andere situatie is fictief en betreft de waterbeweging die zich in 1978 zou hebben voorgedaan als in de periode 1968-1978 de geometrie van het estuarium uitsluitend zou zijn veranderd als gevolg het baggeren en storten ten behoeve van de vaargeulverruiming.

Voor beide situaties zijn modelberekeningen uitgevoerd voor een getijcyclus waarbij gemiddelde hoge en lage waterstanden optreden (het gaat dus bijvoorbeeld niet om springtij of doodtij). Uit vergelijking van de modelresultaten is naar voren gekomen dat de verruiming van de vaargeul een verandering in hoog- en laagwater teweegbrengt in de orde van enkele millimeters in het westelijke deel van het estuarium tot enkele centimeters in het oosten.

Conclusies en aanbevelingen

Uit de studie is naar voren is gekomen dat de waterstand geen significante instantane respons vertoont op min of meer plotselinge veranderingen in de geometrie van de Westerschelde. Deze constatering is beperkt tot ingrepen met een omvang gelijk aan die van de werken die in de afgelopen eeuw zijn uitgevoerd. Daarnaast zijn aanwijzingen gevonden dat wel sprake is van een aanpassing van de waterstand die zich manifesteert op een tijdschaal van tientallen jaren of meer. Er is verondersteld dat morfologische processen een relevante rol spelen in deze betrekkelijk trage aanpassing. Nader onderzoek naar die rol past in het onderzoeksprogramma waar de voorliggende studie deel van uitmaakt.

Verdere diagnostische modellering zal daar naar verwachting een relevante bijdragen aan kunnen leveren. Daarbij moet bijvoorbeeld gedacht worden aan ruimtelijke spreiding van de intensiteit van effecten van ingrepen. Overigens is het daarbij niet altijd nodig om een complex model te gebruiken zoals dat in de onderhavige studie is gedaan. In veel gevallen kan worden volstaan met een eenvoudig (1-dimensionaal) model dat wordt toegepast op een geschematiseerde geometrie. In een vervolgstudie zou dit nader uitgewerkt kunnen worden.

Bijlage 5

Presentatie Herman Gerritsen

Samenvatting WL studies Getijanalyse Westerschelde

**Herman Gerritsen, Henk van den Boogaard,
Wang Zheng Bing en Arjan van der Weck**

Doel van de studies en uitgangsgegevens

Recent heeft WL twee studies uitgevoerd in opdracht van RIKZ Middelburg [1,2]. Doel van de studie [1] was het vergroten van de kennis van de getijdoordringing in de Westerschelde en het stellen van hypothesen over de correlatie van veranderingen in het getij en veranderingen in de morfologie. Als basismateriaal waren beschikbaar sets van 94 getijkomponenten in de 6 stations Cadzand, Westkapelle, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert en Bath voor de 27 jaren 1971 - 1997, plus samenvattende rapporten over het morfologisch gedrag. Studie [2] is een verdere uitwerking van [1] vanuit een morfologische insteek.

Samenvatting eerste studie

Voor dertien komponenten die indicatief geacht werden te zijn voor het (niet-lineaire) gedrag van het getij zijn de relatieve veranderingen in amplitude en fase in de tijd per station weergegeven, gevolgd door een Principal Component Analyse waarbij de veranderingen in ruimte en tijd als een som van eigenvectoren in de 12-dimensionale ruimte van amplitude en fase worden weergegeven. Successieve eliminatie van hoofdrichtingen leidt komt overeen met het verwijderen van station-gemeenschappelijk gedrag en het zichtbaar maken van lokaal gedrag. Naast een aantal konklusies en aanbevelingen met betrekking tot de getijvoorstelling en getijanalyse, is er een duidelijke hypothese over de correlatie met de morfologie geformuleerd: de verkorting van de getijweg bij Hansweert (afname van de fase van de getijkomponenten in Hansweert) lijkt samen te hangen met de geulwisseling Middelgat - Overloop van Hansweert. Het verslag heeft de aard van een datarapport.

Samenvatting tweede studie

In deze studie is het eerdere materiaal verder geanalyseerd en geïnterpreteerd vanuit de morfologische gezichtshoek, met inbreng van ervaren morfologen en externe experts met kennis van de morfologie van de Westerschelde. Voor elk van de stations is voor de 13 getijkomponenten het relatieve gedrag van fase en amplitude in de tijd zichtbaar gemaakt, met Vlissingen als basisstation. Dit maakt de karakteristieke faseveranderingen scherper zichtbaar.

Het mechanisme voor niet-lineaire getij-interactie wordt zowel voor lineaire als niet-lineaire 1D vergelijkingen beschreven. Voor de Westerschelde zijn een lineaire beschouwing en lineaire kentallen zoals in [3] echter niet toereikend. In analogie met de aanpak in [4], is het relatieve verschil ofwel de fasekoppeling van de viermaaldaagse komponenten met de bijbehorende hoofdkomponenten als maatgevende grootheid voor niet-lineariteit van het getij in termen van getijkomponenten geanalyseerd. Idem voor de zesmaaldaagse komponenten. Voorbeelden zijn: $2\phi(M_2) - \phi(M_4)$; $3\phi(M_2) - \phi(M_6)$; $\phi(M_2)+\phi(S_2) - \phi(MS_4)$, etc.. Indicatief voor veranderingen van de niet-lineariteit is het gedrag van $2\phi(M_2) - \phi(M_4)$. Weergave van het tijdsverloop van deze grootheid voor de zes stations laat zien dat het karakter van de niet-lineariteit van het getij in Hansweert en Bath verschillend is (eb-dominant resp. vloed-dominant) en dat de niet-lineariteit in beide stations afneemt.

Een samenvatting van de veranderingen in intergetijdegebieden, inhoudsveranderingen en de zandbalans laat zien dat de vijfjaarlijks gemiddelde oostwaartse zandtransporten tussen vak 4-3 zijn toegenomen en die tussen vak 3-2 zijn afgenomen. Dit is consistent met de veranderingen in de getijasymmetrie. Deze laatste laat bovendien een correlatie zien met de veranderingen in de vergroting van de gemiddelde plaathoogte en (minder sterk) de uitbreiding van het plaatareaal.

In [4] wordt aangetoond dat voor een prismatisch geschematiseerd estuarium dat de getijasymmetrie kwantitatief bepaald wordt door de grootheden a/H (ingaande getijamplitude over diepte) en Vs/Vc (getijprisma en geulvolume onder laag water). Deze karakterisering is representatief voor zes korte estuaria aan de Amerikaanse oostkust. Kwalitatief blijkt deze karakterisering ook op te gaan voor de Westerschelde. De kwantitatieve verschillen zijn niet verwonderlijk gezien de grote afwijking van het geïdealiseerd estuarium in [4].

De studie eindigt met aanbevelingen voor gericht vervolgonderzoek.

Voorstellen voor vervolgonderzoek

A: Bureaustudie getijasymmetrie; Karakterisering Westerschelde

Voorgesteld wordt een bureaustudie uit te voeren met een verdere analyse en kwantificering van het gedrag van de getijasymmetrie in de Westerschelde. Doel hierbij is ook te onderzoeken of voor de Westerschelde duidelijke kentallen zoals van Speer kunnen worden geformuleerd die het karakter van de getijasymmetrie aangeven.

Deze studie is inmiddels door RIKZ in gang gezet.

B: Modelonderzoek Westerschelde; Tweerichtingen gevoeligheidsonderzoek

Als directe vervolgstap op de verkregen inzichten rond de rol en karakterisering van getijasymmetrie en de hypothese(n) over de relatie morfologie en getij wordt een modelmatig gevoeligheidsonderzoek voorgesteld. Doel is een kwantitatieve toetsing van de opgedane kennis voor het Westerschelde estuarium en de opgestelde hypotheses. Hiervoor is een bekkenvoorstelling waarmee ook de variatie van het horizontale getij geanalyseerd kan worden, het meest geschikt.

Wegens hun sterke parameterisatie van het bekken vooraf zijn 1D modellen van de Westerschelde voor dit doel niet geschikt. Een 2D modelbenadering is hiervoor noodzakelijk. Geulen en platen kunnen veel realistisch worden geschematiseerd, waarmee oorzaak en gevolg beiden in meer werkelijkheidsgetrouwe ("concrete") fysische grootheden worden weergegeven, en oorzaak - gevolg relaties duidelijker fysisch geïnterpreteerd kunnen worden.

Het gedrag van snelheden, en daarmee transporten, laat in deze modellen variaties toe in grootte en richting. Een 2D model kan zo op geschikt gekozen locaties hypothetische (model) snelheidsreeksen genereren waarmee de responsie van de snelheidsasymmetrie (of die van transporten) op aangebrachte varianten kan worden geanalyseerd. Randsturing in termen van getijkomponenten en berekeningen van een maand gevolgd door getijanalyse geeft de mogelijkheid de variaties in gedrag over spring- en doodtij te analyseren en direct de getijasymmetrie als getijcomponent-relaties te kwantificeren.

Door gebruik te maken van de combinatie van WAQUA met het bestaand adjoint model WAQAD kan in dit onderzoek tevens de gevoeligheid van de (hoog)waterstand voor diverse compenserende maatregelen zoals geulverdieping, plaathoogteverandering, ontpoldering, simultaan onderzocht worden. Anders gezegd: mogelijke compenserende ingrepen kunnen geordend worden naar de grootte van hun invloed op de waterstanden op een maatgevende positie. Naast vergroting van kennis en inzicht, geeft dit direct informatie ten behoeve van de veiligheidsvraag.

De numerieke software voor een dergelijk tweezijdig gevoeligheidsonderzoek is bij RIKZ aanwezig. Bij een aantal partijen is succesvolle ervaring met gerichte toepassing van WAQAD voor zowel gevoeligheidsonderzoek als modelafregeling opgedaan.

Het voorgesteld onderzoek is state-of-the-art en practisch haalbaar. Het zal veel nieuw inzicht opleveren in het getijgedrag en de getijasymmetrie per se, de verwachte trends in morfologie (asymmetrie) en kan nadere informatie leveren voor het beantwoorden van de konkrete veiligheidsvraag.

Het voorgestelde modelmatige onderzoek met WAQUA + WAQAD is daarom de logische volgende stap van onderzoek naar getij-morfologie voor de Westerschelde.

Referenties

1.
Herman Gerritsen en Henk van den Boogaard
Getijanalyse Westerschelde. Datarapport getijkomponenten. Toepassing van Principal Component Analysis.
WL|Delft Hydraulics, Verslag Z2591, December 1998.

2.
Herman Gerritsen, Wang Zheng Bing en Arjan van der Weck
Morfologische interpretatie van de veranderingen in het getij van de Westerschelde.
WL|Delft Hydraulics, Verslag Z2671, Juni 1999.

3.
Dronkers, J.J.
Tidal computations in rivers and coastal waters.
North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1964

4.
Speer, P. D.G. Aubrey and C.T. Friedrichs
Nonlinear hydrodynamics of shallow water tidal inlet/bay systems.
In: B.B. Parker (ed.): Tidal hydrodynamics,
J. Wiley & Sons, New York, 1991

Getijanalyse Westerschelde

Resultaten WL studies Z2591 en Z2671

Herman Gerritsen
Henk van den Boogaard
Zheng Bing Wang
Arjan van der Weck

Diskussiedag Getij Westerschelde
14 oktober 1999

nr. 1

Analyse in termen van Getijkomponenten

- **Getijgegevens:**

  6 stations: CZ, WK, VL, TN, HW, BA

  27 jaar: 1971 - 1997

  jaaranalyses : 94 getijkomponenten

  --> verandering amplitude en fase in (x,t)

nr. 2

Station : Hansweert : Amplitude en fase gedrag
Relatief tov. jaar 1971 ; 9 gehijkomponenten

WLIDelft Hydraulics

Z-2591

Fig. 2.5e

Vervolg 2

Station : Hansweert : Tijdverloop amplitude en fase relatief t.o.v. Vlissingen ; 9 getijcomponenten

WLIDelft Hydraulics

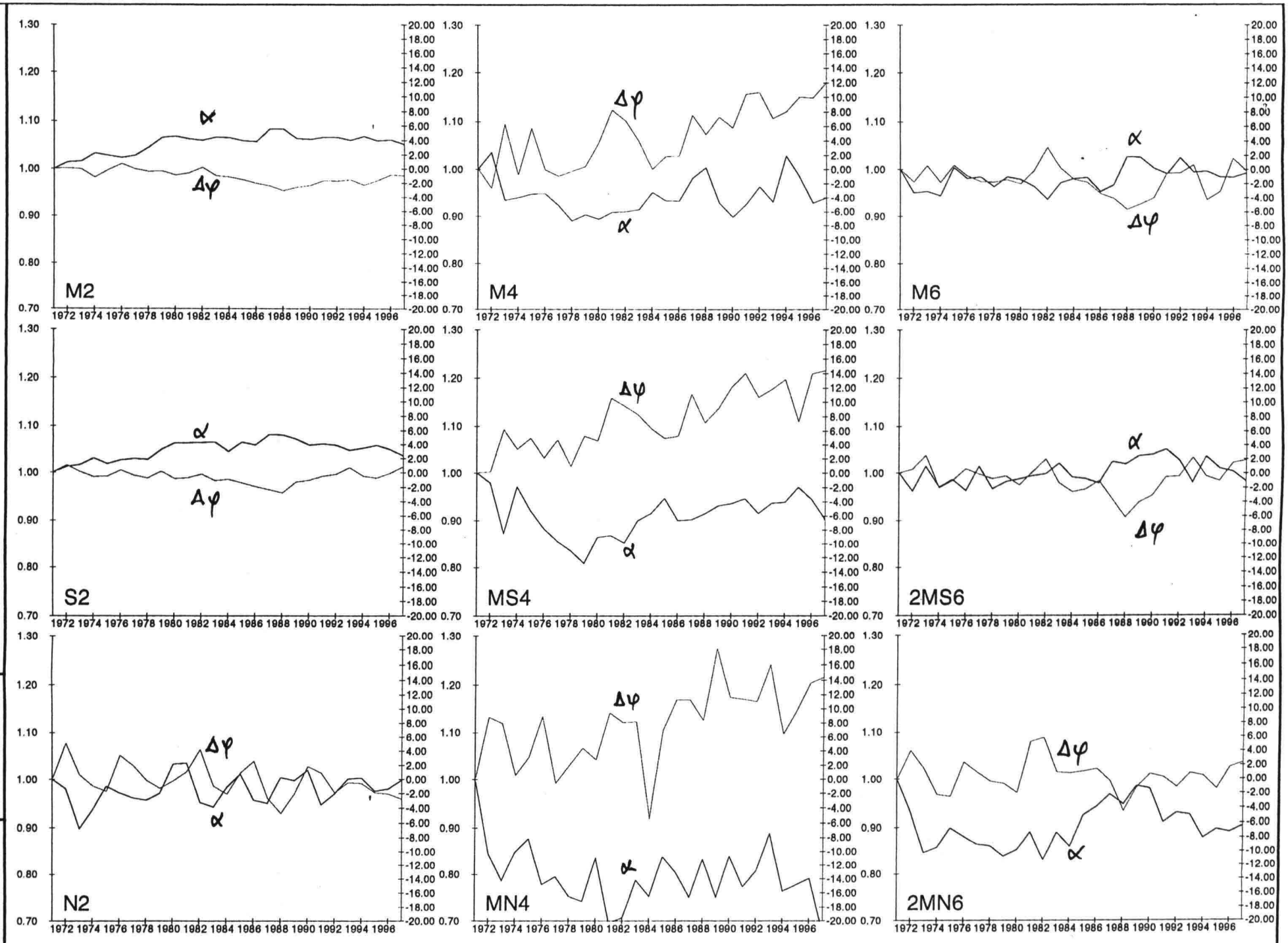
Z-2591

Fig. 1.9

Zie sheet 2

Station : Bath : Amplitude - enfangedrag

relatief tov. jaar 1971 ; 9 getijkomponenten



Zie sheet 2

WLIDelft Hydraulics

Z-2591

Fig. 2.5 f

Station : Bath : Tijdsverloop amplitude en fase relatief t.o.v. Vlissingen; 9 getijkomponenten

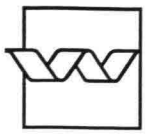
WLIDelft Hydraulics

Z-2591

Fig. 1.11

file sheet 2

Aanpak in het frequentiedomein



- h(x,t) = h0 +

  SOM{H*k**f*k**cos[om*k**t + (V+u)*k* - G*k*]}

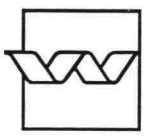
- Keuze voor 13 komponenten:

  N2, M2, S2, MN4, M4, MS4, MN6, M6, MS6, NLK2, MU2, 2MN2, 2SM2

- Analyse gedrag in (x,t) voor k=1,..,13 komponenten

nr. 3

Principal Component Analyse 1



- Een generalisatie van lineaire regressie
- 12 dimensies / 6 Amplitudes + 6 Fases
- Opsplitsing in hoofdrichtingen of eigenvectoren in 12-D ruimte
- --> ruimte - tijd korrelaties kwantificeren

nr. 4

Principal Component Analyse 2

- Bepaling van de variantie die per hoofdrichting wordt verklaard
- Eerste hoofdrichting: ensemblegedrag amplitudes en/of fases
- Successieve eliminatie van informatie van hoofdrichtingen leidt tot zichtbaar maken van lokale karakteristieken

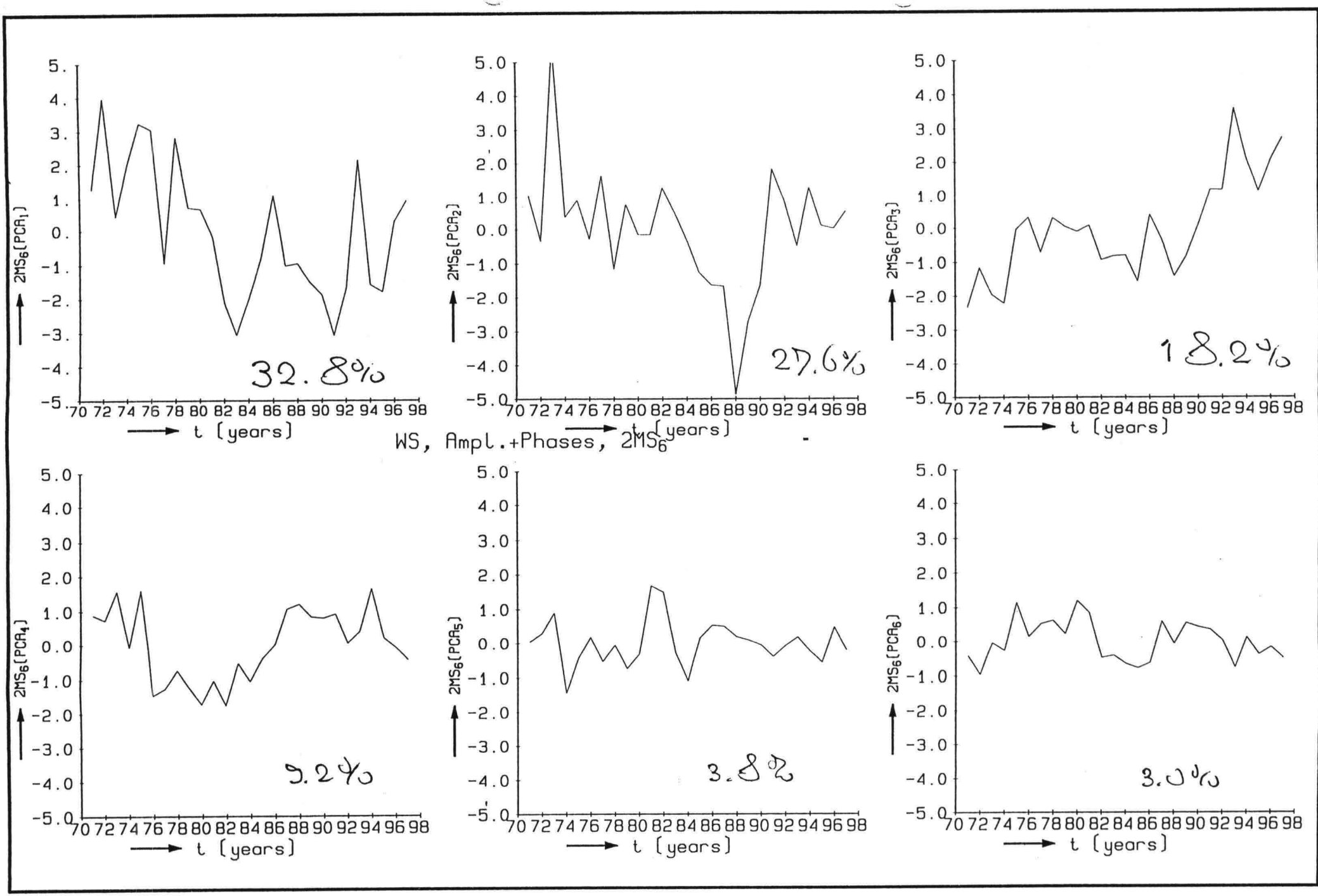
nr. 5

Observaties uit de componentenanalyse

	Freq o/hr	Cadzand	Westkap	Vlissingen	Terneuzen	Hansweert	Bath
nlk2	27.8861						
mu2	27.9682						
n2	28.4397	A	A	A	A	A	(A)
m2	28.9841			(A)	(A)		(A)
2mn2	29.5285		(A)	(A)			
s2	30						
2sm2	31.0159	A	A	A	A	A	A
mn4	57.4238	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	
m4	57.9682	(A)	(A)	(A)	A	(F)	
ms4	58.9841	(A), (F)		(A)	(A)	(F)	
2mn6	86.4097	A		A	A	(A)	
m6	86.9523	(A)		(A)	(A)		(A)
2ms6	87.9682				(A)		

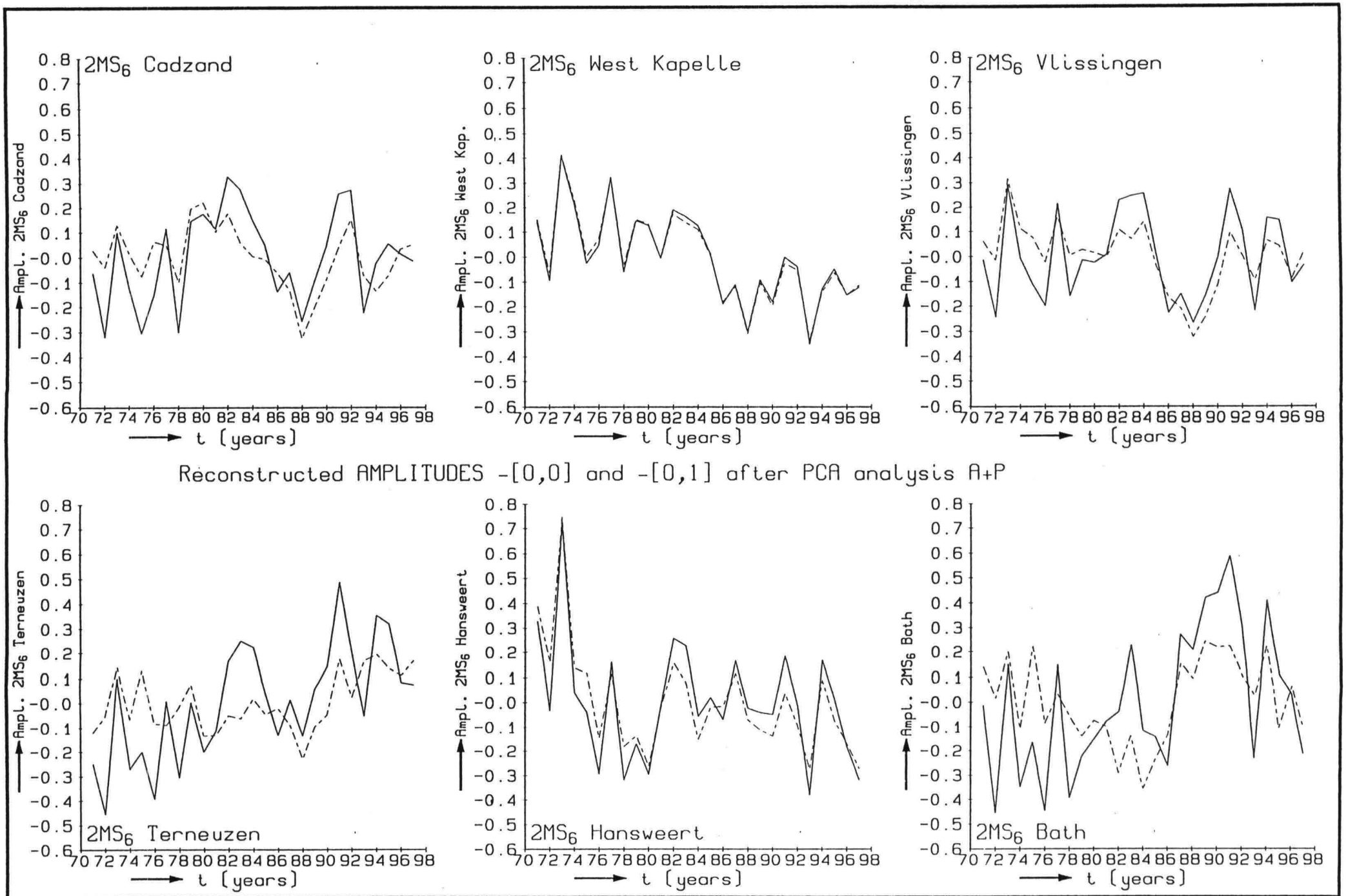
- Tabel 3.2: Variabelen waar de eerste hoofdrichting (vrijwel) alle variantie verklaart

nr. 6



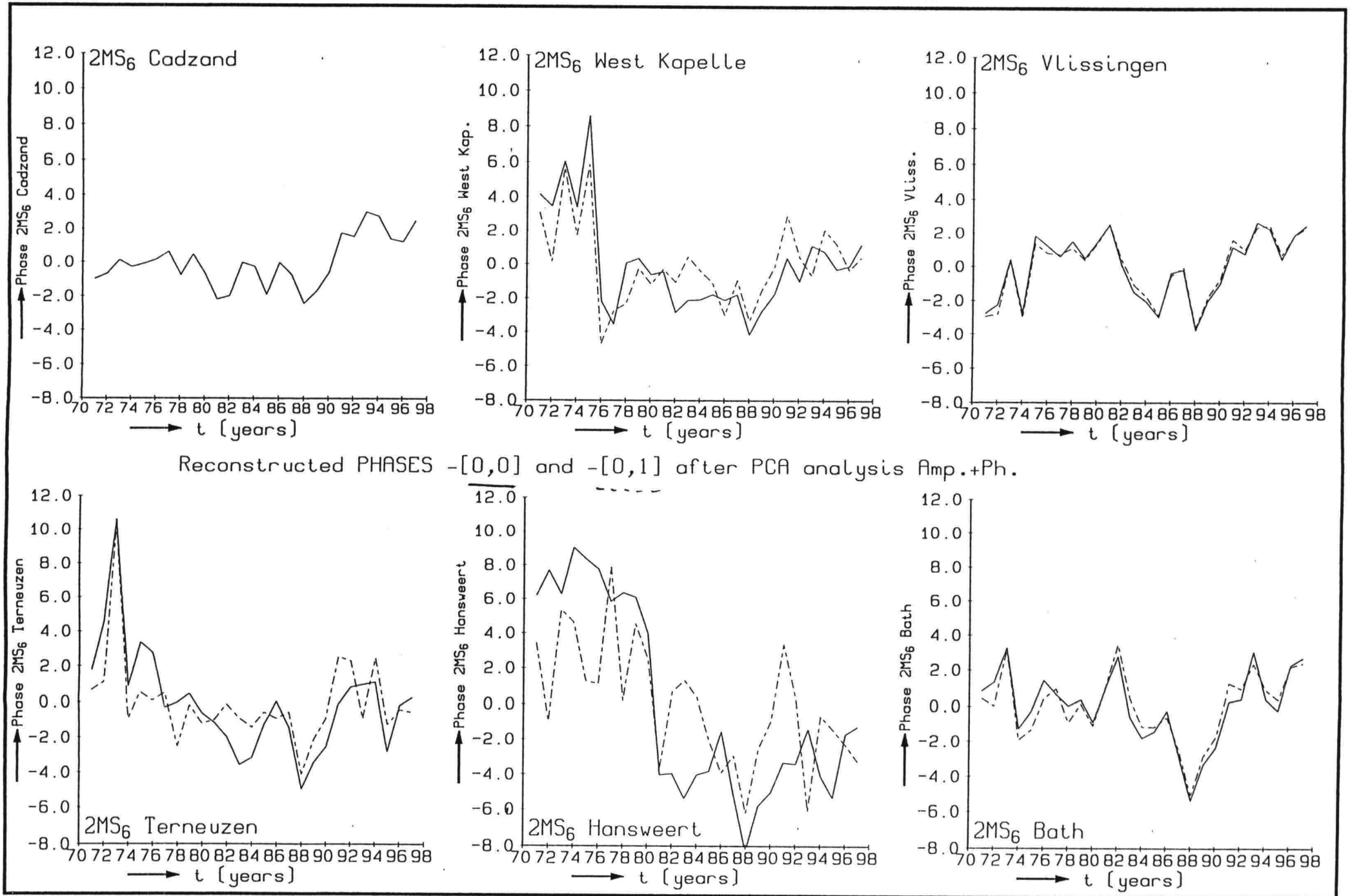
PCA voor 2 MS6 : Tijdverloop van hoofdrichtingen 1-6 ; variantie verklaard per hoofdrichting

18'8



PCA voor $2MS_6$: — variatie in de tijd van amplitude tov. stations gemiddelde ; 6 stations
--- idem, na aftrek van variantie verklaard door hoofdrichting No 1

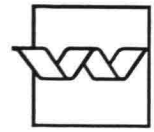
8.8



PCA voor $2MS_6$: —— variatie in de tijd van de fase t.o.v. het stationsgemiddelde; 6 stations
---- idem, na aftrek van de variantie verklaard door 1e hoofdrichting

B.8d

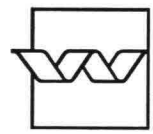
Observaties - Getijgedrag



- Een groot aantal *tijdelijke* veranderingen, geconcentreerd in de tijd
- Een aantal opvallende *trends*
- Een aantal opvallende *trendbreuken*
- --> zie rapport voor details

nr. 7

Conclusies getijrepresentatie



- NLK2 is niet stabiel; fluktuaties ~4.5 jaar
- Toevoeging van NLK2, MU2, 2MN2 en 2SM2 leverde geen extra informatie
- M6 en N2 lijken ook modulaties van ~4.5 jaar te bevatten
- PCA is een goed tool voor analyse van *karakteristieke veranderingen* in getijkomponenten in tijd en plaats
- Vertaling naar *karakteristieke veranderingen* in de morfologie (*tijddomein*) is niet triviaal

nr. 8

Hypothese getij - morfologie

- De ***zeer sterke afname van de fase*** in de getijkomponenten M2, S2, M4, MS4, MN4, M6, 2MS6, 2MN6, 2MN2 in de periode 1979/80-1982 tussen Terneuzen en Hansweert lijkt een direct gevolg van de ***geulwisseling Middelgat - Overloop van Hansweert*** in lodingsvak 3, die het getijtraject duidelijk heeft verkort.

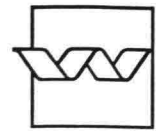
nr. 9

Verdere getijobservaties

- **Analyse gedrag A en G t.o.v. Vlissingen:**
- **A(M2) in oostelijk deel neemt toe**
- **M2-Faseverschil met monding neemt af**
- **Grote, *blijvende,* veranderingen in korte periodes**
- **Monding en middendeel: stabiel na 1980/85**
- **BA: Toename faseverschil D4, D6 rond 1980**
- **HW: Juist afname faseverschil rond 1980**

nr. 10

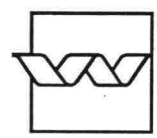
Samenvatting Morfologie



- Gekeken is naar:
- Verandering Intergetijdegebied
- Inhoudsveranderingen
- Resultaten Zandbalans
- --> De laatste geeft openingen naar getij

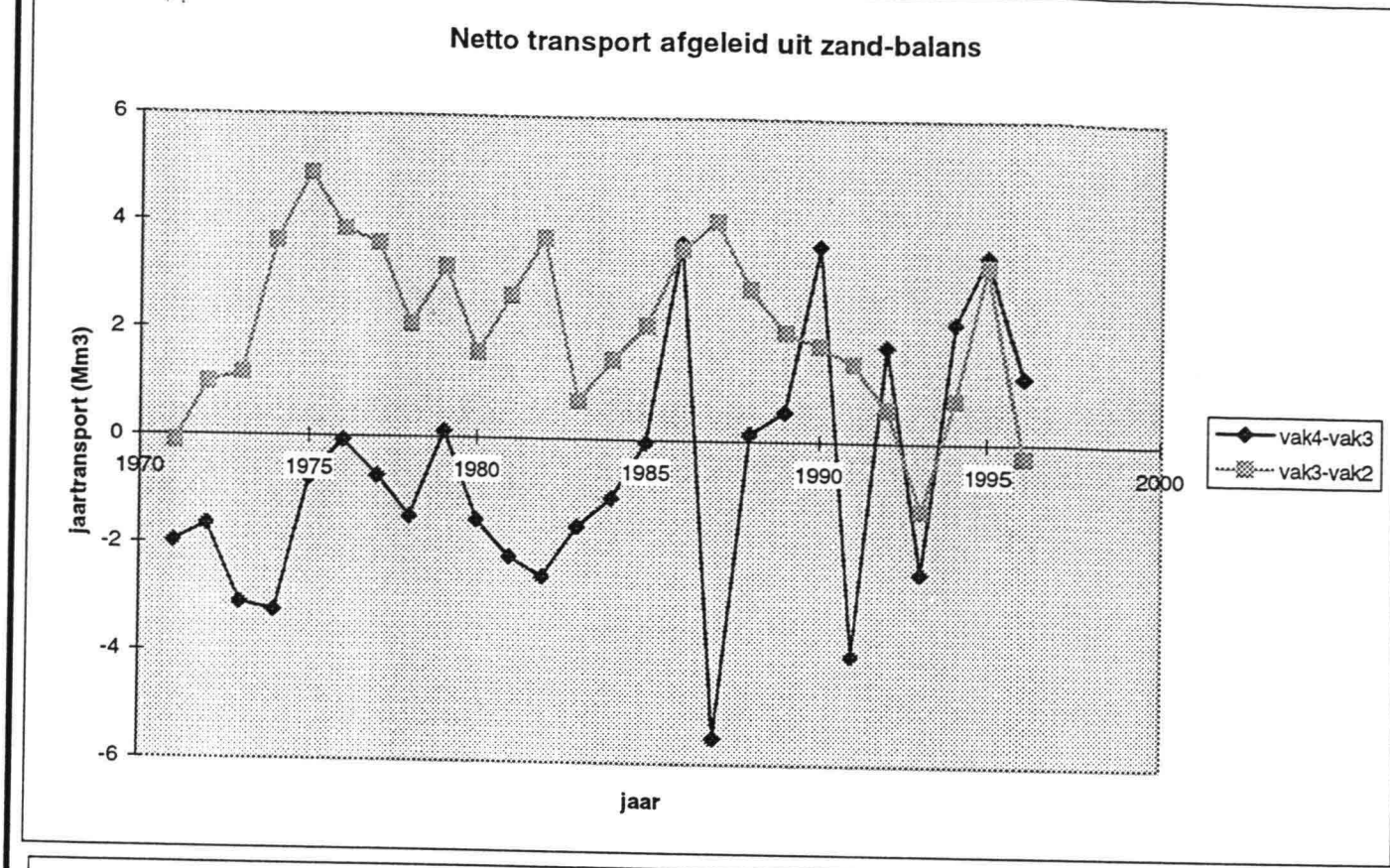
nr. 11

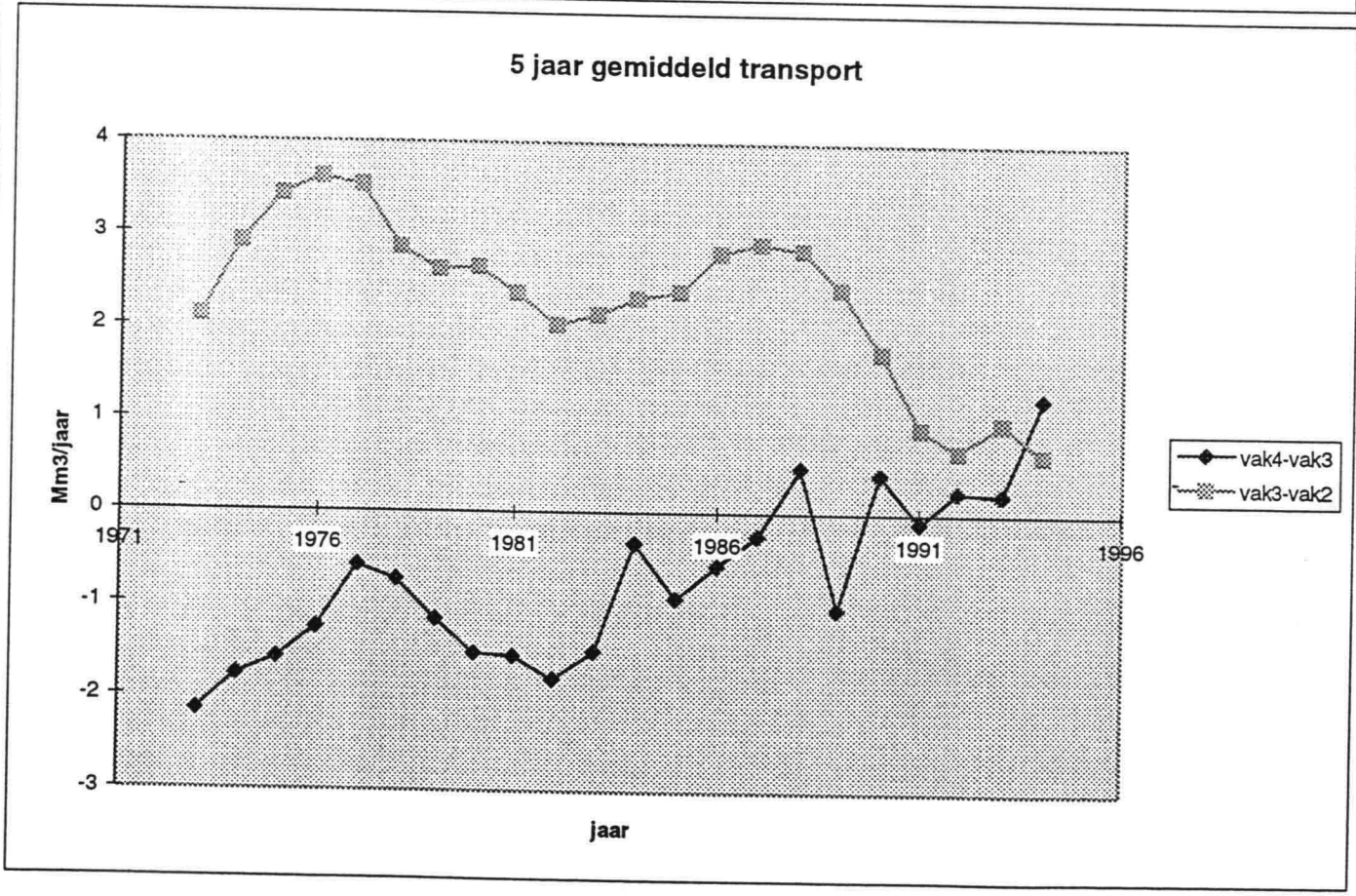
Resultaten Zandbalans



- 5-jaarlijkse netto oostwaartse transporten van WEST naar MID toegenomen (vak 4 -> vak 3)
- 5-jaarlijkse netto oostwaartse transporten van MID naar OOST afgenomen (vak 3 -> vak 2)
- Tot ~1985 waren de tekens verschillend met netto transport naar MID

nr. 12





Netto Transport (Zie sheet 120)

(Naar Uit den Bogaard, 1995)

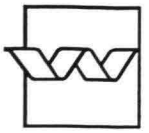
Z2671

april 1999

WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 7

Niet-lineaire termen



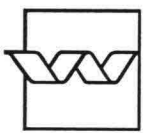
- d(zu)/dx: vooral opwekking D4 termen
- zu|u|: vooral opwekking D4 termen
- u|u|: vooral opwekking van D6 termen
- u|u|: ook voor D4 (bij reststroom)
- udu/dx: relatief onbelangrijke niet-lin.

- Parker (1991): houdt bs en bb gelijk en onafhankelijk van de waterstand

=> In echte estuaria worden intern D4 termen opgewekt door intergetijdegebieden.

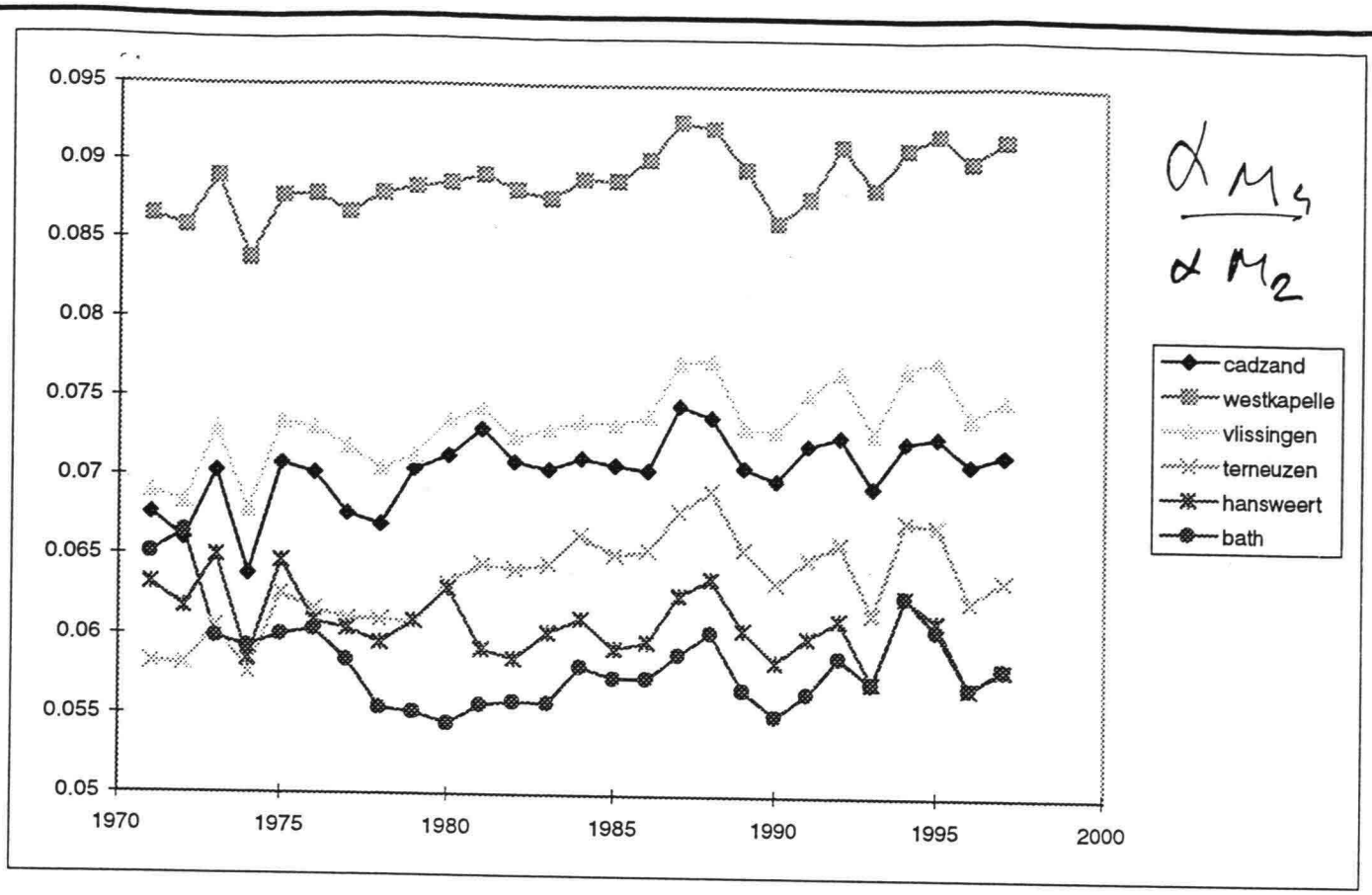
nr. 13

Getij-asymmetrie (1)

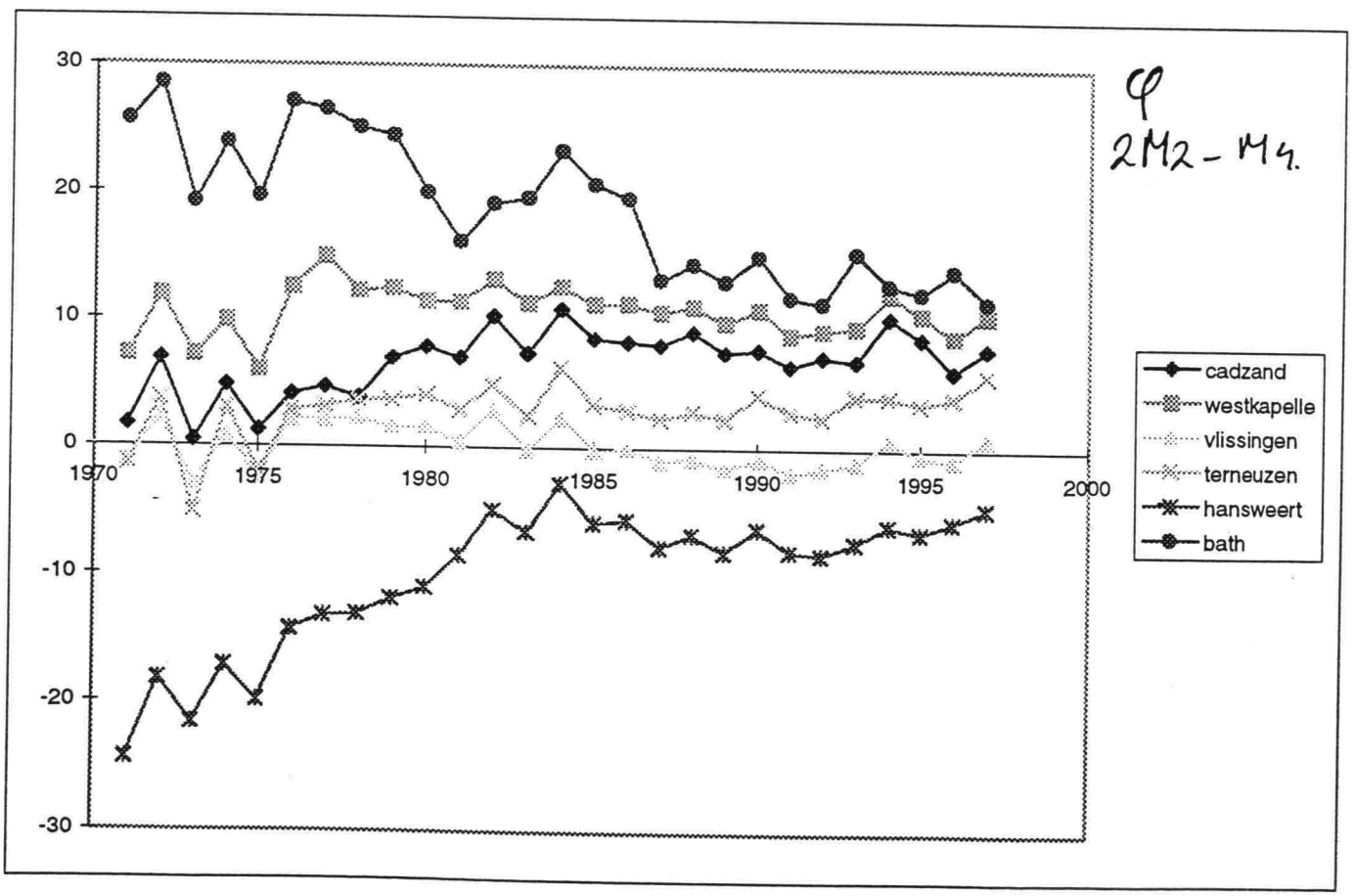


- maatgevende grootheden voor asymmetrie zijn de faseverschillen : (2M2-M4) en (3M2-M6)
- --> Getij-asymmetrie neemt over het algemeen af, met name in het oostelijk deel
- Faseverschillen (2M2-M4) in BA en HW zijn verschillend van teken:
- In HW: <0, In BA: >0

nr. 14



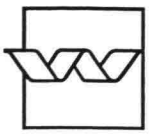
$\frac{\alpha M_4}{\alpha M_2}$



φ
$2M_2 - M_4$

M4 (Illustratie behorend bij sheet 14)	Z2671	
	april 1999	
WL | DELFT HYDRAULICS	Fig. 2	

Getij-asymmetrie (2)

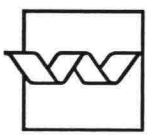


- In termen van 2M2-M4:

- = 0: symmetrisch; LW duurt langst
- = pi: symmetrisch; HW duurt langst
- = pi/2: stijgende flank steiler;
  vloed - debiet grootst;
  vloed - dominantie
- = -pi/2: dalende flank steiler;
  eb - debiet grootst;
  eb - dominantie

nr. 15

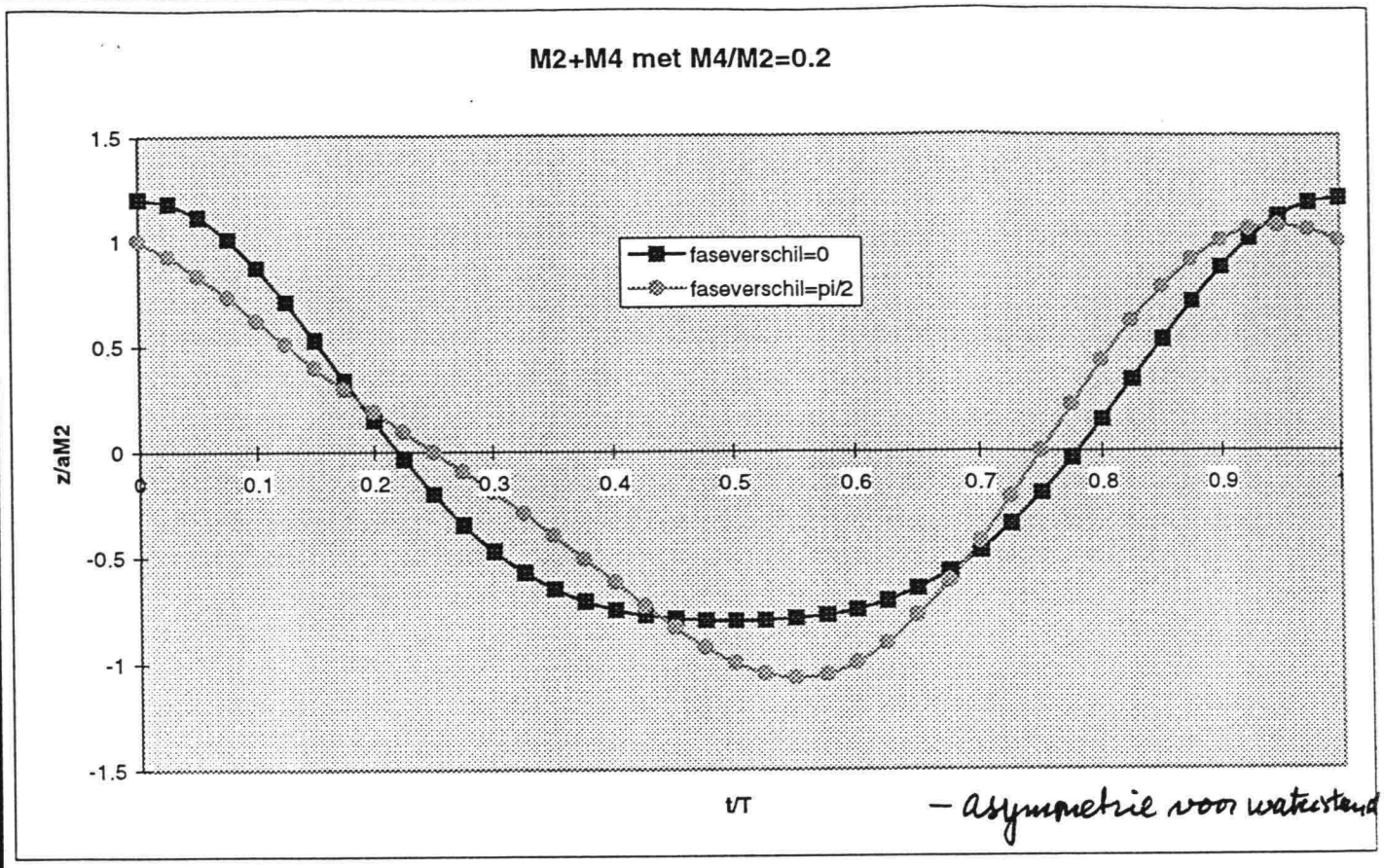
Estuarium karakterisering (1)



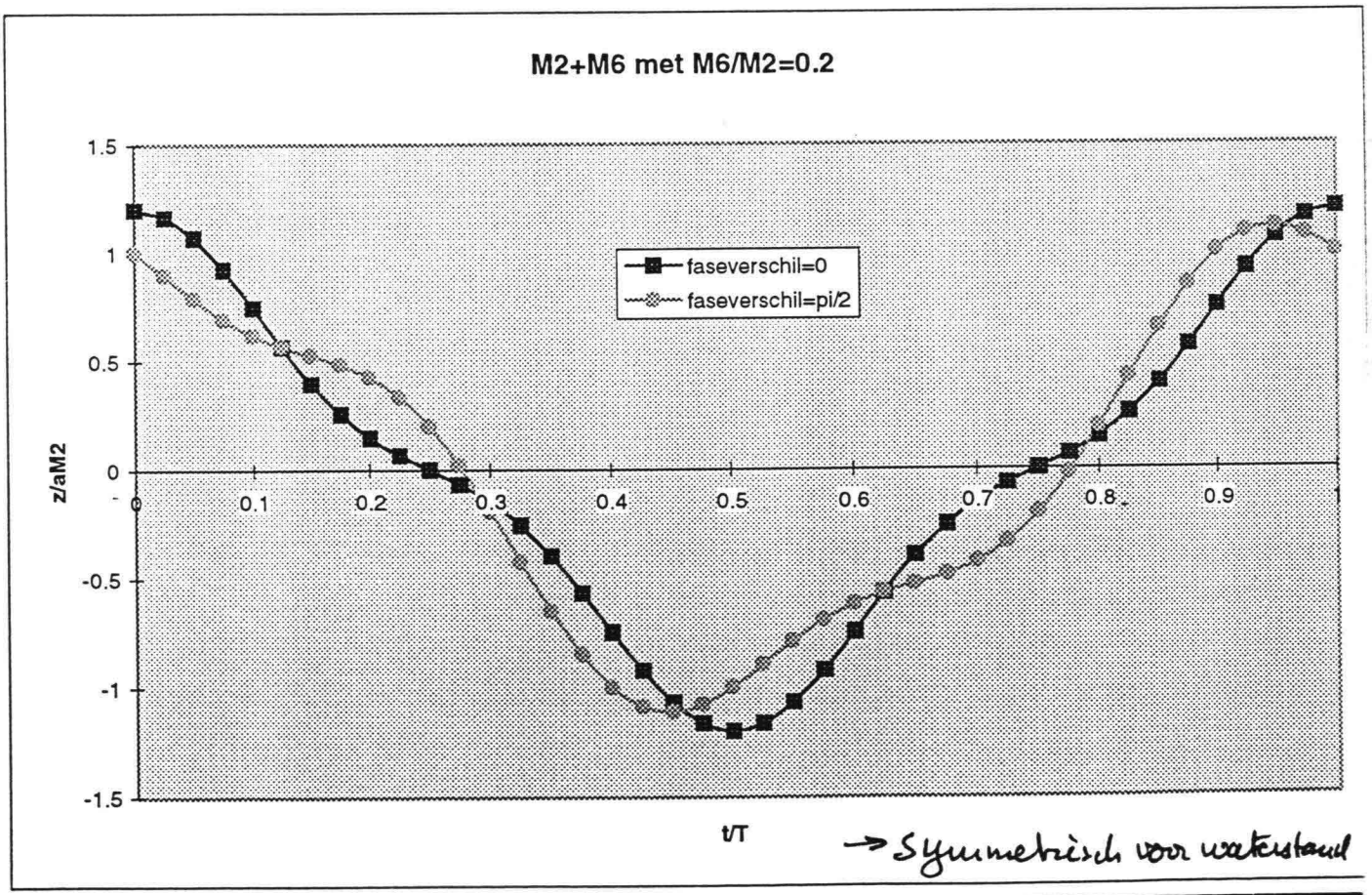
- Speer et al. (1991):
  invloed estuarium geometrie op intern opgewekte niet-lineaire getijkomponenten

- Ideaal ondiep kanaal 7 km; hellende IGG's
- Variatie amp(M2)/H van ingaande M2 getij
- Variatie Vs/Vc (getijprisma / geulvolume)
- 84 parametervariaties onderzocht
- => deze bepalen karakter intern gegenereerde getijkomponenten in D4 band

nr. 16



– asymmetrie voor waterstand



→ Symmetrisch voor waterstand

Illustratie effect fase verschil van M4 en M6 t.o.v. M2

(Zie sheet 15)

Z2671

april 1999

WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. 10

Estuarium karakterisering (2)

- **Kwantitatieve resultaten Speer:**

- **Voor a/H > 0.3: vloed-dominantie**
- **Voor a/H < 0.2: eb-dominantie**
- **0.2< a/H < 0.3: bepaald door waarde Vs/Vc**

- **6 US East Coast estuaria bevestigen de hypothese; dit zijn "simpele" estuaria**
- **=> niet rechtstreeks toepasbaar op WS**

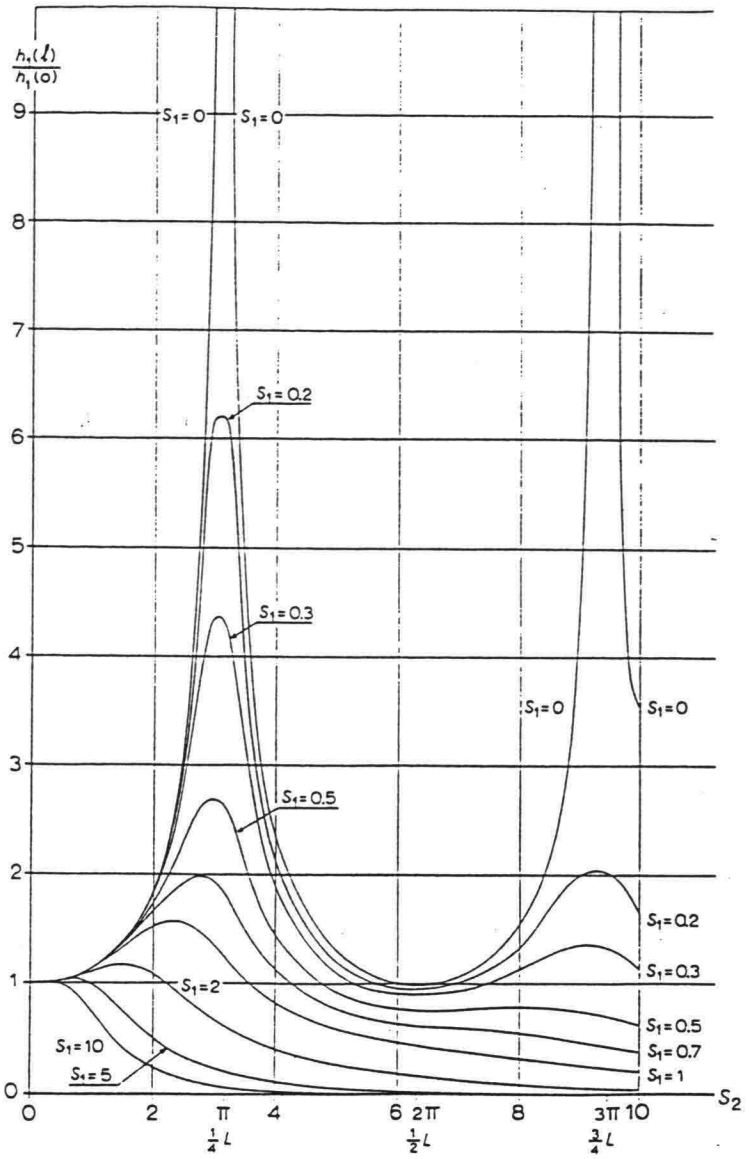
nr. 17

Toepassing Westerschelde

	Middendeel		Oostelijk deel	
	1970	1985	1970	1985
Vs/Vc	0,40	0,39	0,5	0,43
a/h	0,200	0,202	0,26	0,22

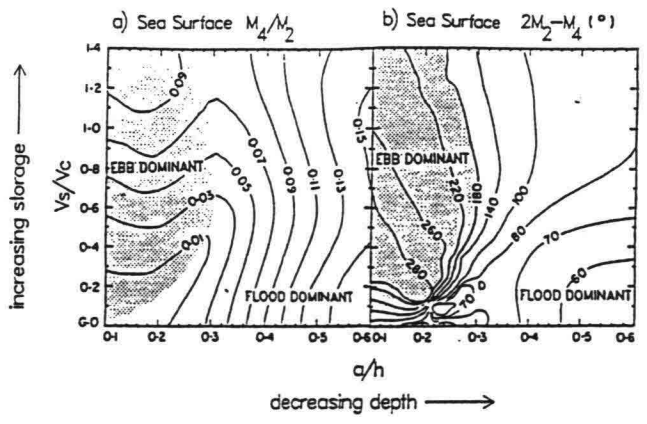
- *Kwalitatief* klopt de theorie van Speer; *kwantitatief niet* vanwege de complexiteit van deWesterschelde

nr. 18



- Gelinearisseerde vergelijkingen
- Resonantie in termen van:
  S_1 = verhouding weerstand / tijdsvariatie
  S_2 = verhouding bekkenlengte / getijpolflengte

8



9

- Niet-lineaire beschouwing:
- a/H en Vs/Vc

Figuur 8 (Dronkers, 1964) Figuur 9 (Speer et al., 1991) / Zie sheets 16 en 17	Z2671
	april 1999
WL | DELFT HYDRAULICS	Fig.

Conclusies Getij - Morfologie

- Getij in HW (MID) is eb dominant
- Getij in BA (OOST) in vloed-dominant
- Beide dominanties nemen af
- Voor beiden correleert de verandering van getij-asymmetrie met de eerder besproken netto 5-jaarlijkse transporten
- *Idem* gedrag getij-asymmetrie met vergroting gemiddelde plaathoogte en (minder sterk) de uitbreiding van plaatareaal

nr. 19

Voorstel vervolgonderzoek

- 1) Verdere analyse getij-asymmetrie en toepassing op Westerschelde

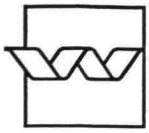
  (burostudie en geschematiseerd modelonderzoek)

- 2) Deterministisch Modelonderzoek met een realistisch geschematiseerde Westerschelde voor een analyse van de overall interactie tussen (horizontaal) getij en morfologie

  (twee-richtingen gevoeligheidsanalyse)

nr. 20

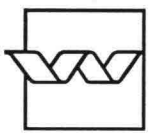
Modelonderzoek (1)



- Kwantitatief gevoeligheidsonderzoek
- Gebruik van een springtij-doodtij sturing
- Analyse van varierend gedrag snelheden als vectoren
- Inclusief inverse modellering; gevoeligheid voor compenserende maatregelen
- M.b.v. 2-dimensionale modellen
- 2D: Fysisch meer realistisch en de vertaalslag effect -> oorzaak is eenvoudiger

nr. 21

Modelonderzoek (2)



- De tools zijn aanwezig (WAQAD)
- Er is toepassingservaring
- Numeriek is 2D plus WAQAD behapbaar
- Aanpak is toegesneden op de achterliggende vraagstelling ("compenserende maatregelen")
- De aanpak leidt tot een objectieve en kwantitatieve vergelijking van varianten
- De aanpak is *state-of-the-art* en dat is voor deze complexe vraagstelling noodzakelijk

nr. 22