

**De invloed van WAQUA versies en de verschillende kruinhoogten op de berekende
waterstanden voor het Ketelmeer en de IJsseldelta**

Q. Gao WSH/RIZA

De studie is uitgevoerd in het kader van de Randvoorwaarden voor de IJsseldelta

05 december 2002

het RIZA werkdocument 2002-179X

Samenvatting

In 1997 heeft EDS, in opdracht van het RIZA, modelberekeningen uitgevoerd t.b.v. het vullen van de database voor HYDRA-M. Hiervoor is destijds gebruik gemaakt van de WAQUA versie van 1995 (oude versie) voor HP. In de loop der jaren is de functionaliteit van het model WAQUA verbeterd en uitgebreid. Het onderzoek naar de release-informaties van WAQUA versies tussen 1996 en 2002 geeft aan dat twee wijzigingen in het rekenhart van WAQUA een mogelijk gevolg hebben voor de berekende waterstanden.

De ene wijziging heeft te maken met de rekenprocedure voor het droogvallen en onderlopen, waarin de kruinhoogte(of drempelhoogte) van de overlaat ook als maat wordt genomen voor het bepalen van waterdiepte; de andere heeft te maken met de rekenprocedure voor het overstromen van de overlaat. Dit laatste is uitgevoerd na de ontdekking van het probleem met de overlaat in de buurt van Rheden in de IJssel.

Het dijktraject tussen de Ramspolkering en IJsselmuiden is in de invoerfile voor WAQUA m.b.v. overlaten geschematiseerd, waarbij het water over dijk kan overstromen als de waterstand hoger is dan de kruinhoogte. Na de ontdekking van het probleem met de overlaat werd vermoed dat er te weinig water over het dijktraject is gestroomd tijdens een superorkaan. Bovendien was destijds de instelling van de kruinhoogten voor dit traject niet correct. Dit alles was de aanleiding tot het huidige onderzoek.

Om te bekijken wat het gevolg zou zijn voor de database van HYDRA-M, zijn modelberekeningen met zowel de oude als de nieuwste WAQUA versie uitgevoerd. De modelberekeningen betroffen een situatie onder maatgevende omstandigheden voor het Ketelmeer.

We hebben eerst met de oude versie een aantal berekeningen uitgevoerd op SUN machine. Hieruit is gebleken dat de functionaliteit van de overlaat niet werkt. Daarna hebben we MX. Systems (vroeger EDS) gevraagd om een berekening uit te voeren op HP machine waarmee destijds de database voor HYDRA-M is gecreëerd. Het betreft een scenario zoals dat voor HYDRA-M, n.l.: de oude waarden voor kruinhoogten en de defaultwaarden voor de coëfficiënten voor de overlaat. De functionaliteit van de overlaat in de oude versie werkt wel goed op HP. Vervolgens is gebleken dat deze functionaliteit in de nieuwste WAQUA versie op SUN ook werkt. De volgende conclusies worden getrokken door het vergelijken van de resultaten van de oude WAQUA versie op HP met de resultaten van de nieuwste versie op SUN.

- 1) Vóór de overlaat (aan de kant van het Ketelmeer) is het verschil in de berekende waterstanden tussen de oude en de nieuwste versie minder dan 5cm.
- 2) Het rekenproces van de oude WAQUA versie is niet stabiel voor sommige locaties. Dit komt vermoedelijk door het gecombineerde effect van de overlaat en onderlopen. Het rekenproces van de nieuwste versie is stabiel.
- 3) Achter de overlaat(aan de kant van het Kampereiland) is het verschil niet gering, de waterstanden aldaar worden door de oude versie onderschat. De onderschatting komt door het effect van de coëfficiënten voor overlaat alsmede de nieuwe waarden voor de kruinhoogten.

Inhouden

1. Inleiding	4
1.1 Probleembeschrijving	4
1.2 Probleemstelling voor het inundatiegebied Kampereiland	4
1.3 Doelstelling	4
1.4 Indeling	5
2. Het verschil tussen WAQUA versies	5
3. HYDRA-M en de WAQUA versies	5
4. Opzet voor modelberekeningen	6
4.1 Kruinhoogten voor het traject tussen IJsselmuiden en de Ramspolkering	7
4.2 Rand- en initiële voorwaarden, beheer van de kering	7
4.3 Het verloop voor wind	8
4.4 Opzet voor numerieke coëfficiënten	9
5. Vergelijking van de berekende resultaten	9
5.1 Modelberekening met INTRO9513	11
5.2 Modelberekening met de nieuwste versie	11
5.3 Vergelijking tussen de versie INTRO9513 en de nieuwste versie	14
5.4 Opmerking	15
6. Berekende resultaten uit HP	15
6.1 vergelijking tussen de scenario's O1.1 en N1.1	15
6.2 vergelijking tussen de scenario's O1.1 en N2.2	16
6.3 opmerking	17
7. Conclusies en aanbevelingen	18
7.1 Conclusies	18
7.2 Aanbevelingen	18
Literatuur	19
Figuur	20

1. Inleiding

1.1 Probleembeschrijving

Ten behoeve van het berekenen van waterstand wordt het programmapakket WAQUA (hieronder wordt als WAQUA genoemd) gebruikt. Modelberekening met WAQUA kan worden uitgevoerd op een vast, kromlijinig rekenrooster waarbij de ruimtelijke resoluties voor interesse gebieden veel fijner kunnen zijn dan het gehele rekengebied. Het model is ook inzetbaar voor het berekenen van niet permanente stromingsomstandigheden, zoals onderlopen en droogvallen.

WAQUA werd in de jaren 1980 ontwikkeld. In deze periode was de rekensnelheid van computer traag en de computergeheugen was nog bijzonder kostbaar. Efficiëntie en robuust waren destijds de belangrijkste aandachtspunten voor het programmeren. In de loop der jaren is de functionaliteit van het model verbeterd en uitgebreid. Na toevoeging van nieuwe functies werd het model getest voor een aantal beperkte gevallen. Het is ook een onmogelijke taak om het aangepaste model voor alle onvoorzienbare gevallen te testen. Het gevolg daarvan is dat impliciete problemen in het model langdurig zullen blijven zitten.

Een van deze problemen is het effect van de overlaat. Deze functionaliteit is aanvankelijk ontworpen voor het modelleren van de overstroming van kribben in rivieren of kades langs rivieroeveren waarbij verondersteld wordt dat de overlaat een veel kleinere breedte heeft dan de roosterlengte. De overlaat-routines werden oorspronkelijk ontwikkeld door Wijbenga(1990). In 1997 werden deze routines verder aangepast in het kader van de implementatie van een verbeterd algoritme voor het droogvallen en het onderlopen, zie ook van Kester en de Goede(1997).

Tijdens testberekeningen met WAQUA voor de IJssel in oktober 2000 was geconstateerd dat in buurt van Rheden bij een toename van de afvoer de waterstand daalt. Vervolgens is door Beyer (2001) een aantal testen uitgevoerd waarbij de berekende waterstanden gecheckt kunnen worden op basis van de theoretische resultaten. Uit modelberekening met WAQUA release 2000-02 is een aantal problemen geconstateerd. Dit zijn: sprongen in de waterstanden nabij de overlaat; dalende waterstand bij de toenemende afvoer; instabiliteit in de overgangperiode tussen onvolkomen en volkomen toestand.

Inmiddels zijn deze problemen in de nieuwe release, WAQUA 2002-01, opgelost (zie van Kester 2001). In dit verslag wordt deze release als **de nieuwste versie** aangeduid.

1.2 Probleemstelling voor het inundatiegebied Kampereiland

Naar aanleiding van de hoogwaters in jaren 1990 is besloten tot een versnelde uitvoering van de dijk-versterkingen in het IJsselmeergebied. Daarbij is in 1995 ook besloten om de hydraulische belasting van de dijken voor dat gebied opnieuw te bepalen. Een belangrijk onderdeel hiervan is het berekenen van waterstanden die het gevolg zijn van opwaaiing en afwaaiing door wind. Hiervoor is destijds gebruik gemaakt van het model WAQUA, welk geijkt is voor enkele stormen, zie ook Bak & Vlag (1999).

Het inundatiegebied Kampereiland bevindt zich tussen het Ketelmeer, de beneden IJssel en het Zwarte Meer (zie figuur 1). Het bepalen van de hydraulische belasting voor het dijktraject tussen Ramspolkering en IJsselmuiden was ook een onderdeel van het project geweest. Destijds werd dit traject in WAQUA als overlaat geschematiseerd waarbij de kaden overgestroomd kunnen worden als de waterstand hoger is dan de kruinhoogte. Na de ontdekking van het probleem met overlaat werd vermoed dat er in het inundatiegebied te weinig water is overgestroomd tijdens een superorkaan.

1.3 Doelstelling

Het onderzoeksgebied bestaat uit het Ketelmeer, het Vossemeer, de IJssel en het Kampereiland. Het hoofddoel van deze studie is het onderzoek naar de invloed van **de overlaat** op de berekende waterstanden in de omgeving van het dijktraject tussen de Ramspolkering en IJsselmuiden (de dijkvakken

38K~M, 25 en 26, zie figuur 1). De modelberekeningen zullen worden uitgevoerd met twee verschillende WAQUA versies.

Voor de toepassing van WAQUA in de IJsseldelta zal in dit verslag nog een aantal aanbevelingen worden gegeven.

1.4 Indeling

Eerst wordt in Hoofdstuk 2 een onderzoek verricht naar de WAQUA release-informaties vanaf 1996-01 t/m 2002-01. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 een korte beschrijving voor de oude versie gegeven. Daarna wordt in hoofdstuk 4 de opzet voor modelberekening beschreven. Hierbij wordt de opzet zo veel mogelijk met HYDRA-M afgestemd. In hoofdstuk 5 worden de resultaten uit SUN geanalyseerd en gepresenteerd. In hoofdstuk 6 zullen de resultaten uit HP met die van SUN worden vergeleken. Ten slotte worden in hoofdstuk 7 conclusies en aanbevelingen gegeven.

2. Het verschil tussen WAQUA versies

In 1993 werd WAQUA ondergebracht in het systeem SIMONA. Het model WAQUA, alsmede het systeem SIMONA, is in de loop der jaren voortdurend geüpdatet. Sinds 1996 worden voor ieder jaar twee releases uitgebracht. Het onderzoek naar de release-informaties van 1996-01 t/m 2002-01 geeft aan dat twee wijzigingen in het rekenhart van WAQUA grote gevolgen hebben tot de berekende waterstanden voor het onderzoeksgebied.

De eerste wijziging heeft plaats gevonden in de release 1998-02, waarin een nieuwe methode, upwind-schema, werd geïntroduceerd in de rekenprocedure voor het droogvallen en onderlopen. De methode verbetert de functionaliteit van het model in een gebied dat vanwege bodemligging wordt overstroomd of is drooggevallen tijdens het proces van modelberekening. In deze release werd de kruinhoogte van de overlaat ook als maat genomen voor het bepalen van waterdiepte. In een rekenpunt wordt de waterdiepte nu niet alleen bepaald door deze in de bodemschematisatie, maar ook mede door de kruinhoogte of drempelhoogte van de overlaat. Hoewel we details daarvan niet verder zullen ingaan, zal dit zeker het effect hebben op de berekende resultaten van dit onderzoek.

Wij zullen ons concentreren op de andere wijziging, namelijk de wijziging in **de overlaat** die in de release 2002-01 is uitgebracht waarin een aantal nieuwe routines voor de overlaat is toegevoegd (zie van Kester 2001). De wijziging houdt in: het vergroten van de stabiliteit van de modelberekening; een beter criterium voor de overlaat; nieuwe overlaatroutines voor volkomentoestand. De resultaten ten gevolge van deze wijziging zijn ook door Beyer (2001) beschreven.

3. HYDRA-M en de WAQUA versies

De hydraulische randvoorwaarden voor de dijken in het IJsselmeergebied zijn door de minister van Verkeer en Waterstaat in 1986 vastgesteld. Om de randvoorwaarden te kunnen vertalen in de benodigde kruinhoogte werd in 1999 door het RIZA het rekenprogramma HYDRA-M ontwikkeld. Een belangrijke onderdeel van HYDRA-M is het berekenen van de waterstanden. Hiervoor is destijds gebruik gemaakt van het model WAQUA.

Het model WAQUA, een onderdeel van het systeem SIMONA, is in de loop der jaren voortdurend geüpdatet. Vanwege de computeropslagruimte wordt bij het RIZA de oude WAQUA versie niet altijd bewaard als er een nieuwe WAQUA release wordt geïnstalleerd. Wel is de versie, die destijds voor de productiesommen werd gebruikt, op een magnetische datatape bewaard, maar hedendaags kan deze niet meer op SUN worden teruggezet. Daarom werd MX.systems(voormalig EDS), die destijds de modelberekeningen met WAQUA had uitgevoerd t.b.v. het aanmaken van database voor HYDRA-M, gevraagd om dezelfde versie opnieuw te installeren. Dit is gedaan onder contract nr. P4076-O-9. Omdat deze versie niet meer standaard is, is deze geïnstalleerd onder een lokale directory.

Of deze de juiste versie is, die destijds gebruikt werd voor het aanmaken van de database, is een terechte vraag. Twee controles zijn gedaan, de ene is de controle naar de administratie-dossier(a), de andere is naar de berekende resultaten(b).

(a) *de dossiercontrole.* Uit het administratiedossier van MX. Systems is gebleken dat de WAQUA versie, die destijds gebruikt werd t.b.v. het vullen van de database voor HYDRA-M, de moederversie van 1995 is. Deze versie werd uitgebracht in het najaar van 1995 en is in het dossier geregistreerd als INTRO9513, d.d. 09-11-1995. In de logsheet staat dat de laatste wijziging van deze versie in mei 1995 plaats had gevonden (User's guide WAQUA, Appendices, EDS, 1995). Hieronder wordt deze versie als **INTRO9513** aangeduid.

Verder heeft MX.systems (toenmalig EDS) bevestigd dat ze in 1996 gebruikmaking van dezelfde versie, de voorlopige berekeningen had uitgevoerd. Maar de modelberekeningen zijn uitgevoerd op een **HP** machine. In 1997 heeft MX. Systems, in opdracht van het RIZA, met dezelfde versie de definitieve modelberekeningen voor de productiesommen gedraaid t.b.v. het vullen van de database voor HYDRA-M(ook op HP).

(b) *De controle van de berekende waterstanden.* Gelukkig is er een testbank voor deze versie nog bewaard. De testbank bestaat uit de gegevens voor de invoer en de berekende resultaten voor het IJsselmeergebied. Een modelberekening in de testbank is in september 1995 gemaakt voor het stormgeval van december 1993. De waterstanden uit 12 locaties in het IJsselmeergebied zijn als functie van tijd in vorm van tabel uitgevoerd. Na de installatie van INTRO9513 is het model getest met de invoergegevens van de testbank. Hieruit is gebleken dat de waterstanden voor de 12 locaties precieze dezelfde als de testbank zijn berekend.

Hoewel de versie INTRO9513 zorgvuldig is gecontroleerd, is gebleken dat **de functionaliteit van de overlaat in deze versie niet werkt** (zie ook het hoofdstuk 5 van dit rapport). Na contact met MX. Systems is gebleken dat het vullen van de database voor HYDRA-M destijds is uitgevoerd op HP machine in plaats van SUN, zoals wij in deze studie zullen gebruiken. Daarom is MX. Systems gevraagd om alsnog een berekening op HP uit te voeren. De resultaat daarvan zal in het hoofdstuk 6 worden gepresenteerd.

4. Opzet voor modelberekeningen

Dit onderzoek heeft nauwe relaties met HYDRA-M en het hydraulische randvoorwaardenboek 2001. De opzet zal zo veel mogelijk met deze twee projecten afstemmen.

Modelberekeningen zullen worden uitgevoerd met twee WAQUA versies, de versie INTRO9513 en de nieuwste versie. De invoerfile voor WAQUA bestaat hoofdzakelijk uit het rekenrooster, de bodem-schematisatie, wind, de constructies zoals dijken, dam en sluizen, de coëfficiënten voor fysische en numerieke parameters en een aantal uitvoerparameters. De invoerfile, die voor deze studie wordt gebruikt, wordt genoemd als WAQUA-95 waarin een aantal coëfficiënten en parameters door modelijking is vastgesteld (zie Bak & Vlag). Hierin is destijds ook een aantal uitbreidingen en verbeteringen t.b.v. de productiesommen¹ aangebracht.

De invoerfile voor deze studie is voornamelijk gebaseerd op de invoerfile voor de productiesommen, behalve de overlaat, het beheer van de keersluizen ter Ramspol en het verloop van wind. De bepaling daarvan zal in de volgende paragrafen worden behandeld.

¹ Een verschil tussen de invoerfiles voor modelijking/verificatie en voor productiesommen is de bodemhoogte voor het natuurgebied (ten westen van het Kampereiland). In de invoerfile voor productiesommen is de bodemhoogte $-0,1\text{m}+\text{NAP}$, maar voor modelijking/verificatie is $-0,45\text{m}+\text{NAP}$. Door dit verschil zal er afwijking ontstaan tussen de berekende waterstanden. Meer details zijn te vinden in het rapport van Bak & Vlag.

4.1 Kruinhoogten voor het traject tussen IJsselmuiden en de Ramspolkering

In de invoerfile WAQUA-95 wordt het dijktraject, dijkvak nr.38K, 38L, 38M, 25 en 26 (figuur 1), als overlaat geschematiseerd waarbij de kaden worden overgestroomd als de waterstand hoger is dan de kruinhoogten. Destijds was er onzeker over de precieze hoogten omdat er van plan was om deze dijken te verhogen. In WAQUA-95 zijn de kruinhoogten van de dijkvakken nr.25 en nr.26 als 3,0+NAP aangenomen. De hoogten voor de dijkvakken nr.38K~M variëren tussen 3,0 en 3,1m+NAP, met uitzondering van enkele locaties waarin de kruinhoogten lager zijn dan 3,0m+NAP. Deze kruinhoogten worden hieronder als de **oude kruinhoogten** genoemd.

Naar aanleiding van dit project is het waterschap Salland gevraagd naar de precieze kruinhoogten van het traject. De door het waterschap verstrekte kruinhoogten zijn als volgt:

Het dijkvak nr.26 heeft een theoretische hoogte van 2,5m+NAP, met een overhoogte van 10~20cm. Het dijkvak nr.25 heeft een theoretische hoogte van 2,6m+NAP, met dezelfde overhoogte. De hoogten van de dijkvakken nr.38K~38M varieert tussen 3,2m en 3,4m+NAP, met een gemiddelde hoogte van 3,3m+NAP. De plaats waar de dijkvakken nr.25 en 38M op elkaar aansluiten, is iets lager. De hoogten aldaar variëren tussen 2,08m en 2,20m +NAP.

In de nieuwe instelling voor WAQUA wordt de kruinhoogte voor de dijkvakken 25~26 voor 2,5m +NAP aangehouden. Voor de dijkvakken 38K~38M wordt een gemiddelde hoogte 3,3m+NAP aangenomen. Deze worden als **nieuwe kruinhoogten** genoemd. De drempelhoogten zijn overgenomen uit de invoerfile WAQUA-95, maar deze worden stuksgewijs verlaagd of verhoogd.

Modelberekeningen zullen worden uitgevoerd voor zowel de oude als de nieuwe kruinhoogten voor de overlaat. Duidelijkheidshalve worden in tabel 1 de instellingen zowel voor de oude als voor de nieuwe kruinhoogten gegeven. De kadehoogten van de overige overlaten zijn ongewijzigd.

	Oude kruinhoogte [m]	Nieuwe kruinhoogte [m]
Dijkvakken 25~26	3,0	2,5
Dijkvakken 38K~M	3,0~3,1	3,3

Tabel 1 De instellingen van de oude en de nieuwe kruinhoogten voor de dijkvakken 25~26 en 38K~M.

4.2 Rand- en initiële voorwaarden, beheer van de kering

De aanvoer uit de IJssel, indien het meerpeil van het IJsselmeer beneden -0,22m+NAP, wordt de jaarlijks gemiddelde IJsselaanvoer van 395m³/s aangehouden (zie Vlag e.a. 1999). Voor die aanvoer wordt de aanvoer uit de Vecht 60m³/s verondersteld. Deze hoeveelheid watermassa wordt afgevoerd via de sluizen van de Afsluitdijk waarvan de afvoercapaciteit van de sluis Stevin (Den Oever) 273m³/s is en de sluis Lorenz (Kornwerderzand) 182 m³/s. Initieel is het meerpeil -0,35m+NAP, uniform in het hele rekegebied. Er wordt geen rekening gehouden met neerslag.

Modelberekeningen zullen worden uitgevoerd voor de bovenstaande rand- en initiële voorwaarden.

De beheerregels voor de keersluizen Ramspol zijn als volgt: De kering wordt gesloten alleen als de waterstand bij de locatie Ramspol (controlepunt) hoger is dan 0,5m+NAP en de stroming zich richt naar het Zwarte Meer. Anders zijn de keringen altijd open.

Ten tijde van HYDRA-M konden de keringen in het model WAQUA alleen werden gestuurd op vooraf opgegeven tijdstippen. Deze werden geschat op basis van een zgn. repro-functie, gecombineerd met een formule voor wind op het openwater (zie Vlag e.a., 1999). Het sluiten van de keringen duurt 60 min. Voor een noordwestelijke storm met een maximale windsnelheid van 34m/s beginnen de keer-

sluizen te sluiten om 04 uur 50min na de start van de modelberekening, zijn volledig gesloten om 05uur 50 min. Deze zullen worden toegepast in de oude versie.

Inmiddels kunnen de keringen worden gestuurd op de beheerregels. Deze worden toegepast in de nieuwste versie.

4.3 Het verloop voor wind

In het hydraulische randvoorwaardenboek 2001 worden de keersluizen ter Rampol als verbindende waterkering aangeduid. De frequentie(overschrijdingskans) voor de keringen is 1/4000. De frequentie voor het dijktraject tussen de Ramspolkeringen en IJsselmuiden worden in het boek niet gegeven, wel was er tijdens het project HYDRA-M afgesproken dat het traject een frequentie van 1/500 zou krijgen.

De keringen langs de zuidelijke en noordelijke oevers van het Ketelmeer hebben een normfrequentie van 1/4000. In deze studie zal een frequentie van 1/4000 voor het hele onderzoeksgebied worden aangehouden.

Uit resultaten van HYDRA-M is gebleken dat voor de gegeven normfrequentie van 1/4000 de volgende combinatie van storm en meerpeil bij elkaar hoort:

De maximale windsnelheid	34 m/s	potentiële wind van Schiphol
De windrichting	300°	t.o.v. het Noorden
Meerpeil van het IJsselmeer	-0,35m	t.o.v. NAP.

waarbij de windrichting van 300° een 'slechtste scenario' voor het onderzoeksgebied kan veroorzaken. Het verloop van storm is als volgt: Initieel is de windsnelheid 1m/s, gedurende 9 uur neemt de windsnelheid stadig toe tot het maximum(34m/s). Vervolgens blijft deze constant voor 2 uur (zie ook figuur 3).

De wind in het IJsselmeer heeft ook een ruimtelijk aspect. In HYDRA-M is verondersteld dat de wind op de 8 locaties rondom het IJsselmeer (zie ook figuur 4) een relatie heeft met deze op Schiphol. Tabel 2 geeft de genormeerde coëfficiënten voor de 8 locaties weer (t.o.v. de wind op Schiphol).

Locaties	A	B	C	D	E	F	G	H
Coëfficiënt	0,970	0,955	0,960	0,993	0,977	0,988	0,992	1,013

Tabel 2 Genormeerde coëfficiënten (t.o.v. de wind op Schiphol) op 8 locaties voor een windsnelheid van 34m/s en windrichting van 300° t.o.v. het Noorden.

Voor de hoofdrichting tussen 180° en 360° verandert de windrichting tijdens storm. Initieel is windrichting de hoofdrichting – 40°. Daarna draait de windrichting met de wijzer van klok mee in een tempo van 4,4° per uur. Als de windrichting de hoofdrichting heeft bereikt, draait deze in een tempo van 1,1° per uur (zie figuur 3). Voor de hoofdrichting tussen 0° en 150° verandert de windrichting niet. Er is geen ruimtelijke verdeling voor windrichting(dus deze is uniform in het hele IJsselmeer-gebied).

In HYDRA-M is de ruimtelijk variërende wind toegepast. Om een dergelijk windveld aan te maken is er een aantal handmatige procedures nodig (zie ook Bak & Vlag). In feite wordt de waterstand in het Ketelmeer voornamelijk door de wind op het IJsselmeer bepaald. Wind aldaar wordt bepaald door de wind op de locaties CDEFGH(zie ook figuur 4). Hieruit kan worden geconstateerd dat de wind goed kan worden benaderd door de gemiddelde wind op dit gebied. Dit kan gemakkelijk worden berekend door de vermenigvuldiging van de potentiële wind en de gemiddelde waarde van de coëfficiënten voor de locaties CDEFGH. De gemiddelde waarde daarvan is 0,9888.

De maximale windsnelheid is 34m/s (de potentiële wind ter Schiphol). De gemiddelde wind op de zes locaties CDEFGH, na vermenigvuldiging van 34m/s met de gemiddelde waarde van de coëfficiënten, is 33,6m/s. De maximale windsnelheid op het openwater is, na transformatie van het opland naar het opwater(zie Bak & Vlag), 35,3m/s.

In dit onderzoek is de opzet voor wind voor modelberekening als volgt: Initieel is de windsnelheid 1m/s, windrichting 260°. Na start van de modelberekening neemt de windsnelheid gestaag toe, in 9 uren tot 35,3m/s. De windrichting draait naar de noordwestelijke richting in 4,4° per uur en in 9 uren tot de hoofdrichting(300° t.o.v. het Noorden). Daarna blijft de windsnelheid 2 uur constant, de windrichting draait verder naar het Noorden in een tempo van 1,1° per uur. De windsnelheid en de windrichting zijn beide uniform in het IJsselmeergebied.

4.4 Opzet voor numerieke coëfficiënten

In de loop der jaren zijn er veel wijzigingen in het rekenhart van WAQUA geweest. Niet alleen zijn er bij de toevoeging van nieuwe functionaliteiten nieuwe numerieke coëfficiënten geïntroduceerd, maar ook zijn er nieuwe aanbevelingen gedaan voor de bestaande numerieke coëfficiënten.

Zoals gegeven in het hoofdstuk 2 zijn er twee wijzigingen in WAQUA die groot gevolg hebben voor de berekende resultaten. Een daarvan is de overlaat. In modelberekening kunnen de waarden van de coëfficiënten voor de overlaat, THETAC en OTHER_REDUCTION_FACTOR, door gebruikers worden gekozen.

In WAQUA-95 werden voor deze twee coëfficiënten de defaultwaarden gegeven, t.w.: THETAC=1 en OTHER_REDUCTION_FACTOR=0. In de nieuwste release worden de advieswaarden voor deze twee coëfficiënten gegeven, t.w.: THETAC=0,6 en OTHER_REDUCTION_FACTOR =1. Deze advieswaarden kunnen natuurlijk ook worden gebruikt in de oudere versies. Voor duidelijkheidshalve worden zowel de defaultwaarden als de advieswaarden in tabel 3 gegeven.

	Defaultwaarde	advieswaarde
θ_c	1	0,6
η_w	0	1

Tabel 3 De instelling van de defaultwaarden en de advieswaarden voor de coëfficiënten voor overlaat, waarin θ_c : THETAC; η_w : OTHER_REDUCTION_FACTOR.

De overige coëfficiënten zoals deze voor convergentiecriteria, viscositeit, bodemwrijving, windschuifspanning en droogvallen/onderlopen zijn dezelfde zowel voor de oude versie als voor de nieuwste versie.

De ruimtelijke resolutie van WAQUA-95 wordt gebaseerd op een vast, kromlijng rekenrooster. De afstand tussen twee roosterlijnen varieert van enkele tientallen tot duizenden meters. Het tijdvak voor modelberekening is **11 uur**(dezelfde als HYDRA-M). De tijdsstap kan door gebruiker worden gekozen. In deze studie zal de tijdsstap voor de oude als de nieuwste versie **1 minuut** worden aangehouden.

(In HYDRA-M werd het tijdvak gesplit in twee delen, t.w.: het deel waarin de windsnelheid toeneemt en het deel waarin de windsnelheid constant blijft. De grootte van tijdsstap is 5 minuten voor het eerste deel en 1 minuut voor het tweede deel. In dit onderzoek wordt deze splitsing niet overgenomen gezien dat de taak het onderzoek naar de overlaat langs het dijktraject tussen de Ramspolkering en IJsselmuiden is, niet de tijdstap.)

5. Vergelijking van de berekende resultaten

De versie INTRO9513 en de nieuwste WAQUA versie zullen voor verschillende scenario's worden getest. De resultaten in dit hoofdstuk zijn uit de modelberekeningen op SUN. Bekeken wordt niet

alleen de berekende waterstanden in de omgeving van de overlaat, maar ook de waterstanden in het hele onderzoeksgebied. Hiervoor wordt 8 locaties(zie figuur 2) gekozen en de resultaten daarvan worden geanalyseerd en gepresenteerd. De coördinaten en bodemhoogten van deze locaties worden gegeven in tabel 4 waarbij de locatie met negatieve bodemhoogte boven NAP ligt.

Daarnaast worden ook de berekende waterstanden in de omgeving van de overlaat gepresenteerd. Hiervoor worden 12 locaties gekozen die net vóór en net achter het dijktraject 25~26, 38K~M liggen (zie ook figuur 5). De coördinaten en bodemhoogten voor deze locaties worden in tabel 5 gegeven.

Locatie nr	01	03	04	05	06	07	08	09
Coördinaten t.o.v. Parijs (x, y)	X=185135 Y=513596	X=184950 Y=511900	X=185720 Y=512010	X=187450 Y=510450	X=190850 Y=508850	X=184576 Y=509970	X=180700 Y=510540	X=18110 Y=513570
Coördinaten t.o.v. WAQUA [m,n]	M=129 N=76	M=126 N=59	M=132 N=59	M=139 N=42	M=155 N=43	M=123 N=33	M=109 N=43	M=108 N=79
Bodemhoogte (t.o.v. NAP)[m]	0,84	0,10	-0,52	3,92	0,27	0,80	3,59	3,15
Tabel 4 Coördinaten voor de 8 locaties. Locatie nr.01 ligt voor de Ramspolkering; locatie nr.03 ligt ongeveer 520m ten westen van het dijkvak 25; nr.04 net acht het dijkvak; nr.05~06 in de IJssel; nr.07 in het Vossemeer; nr.08 nabij Ketelhaven en nr.09 nabij Schokkerhaven.								

Locaties net voor het dijktraject	133-70	131-62	130-55	129-48	135-40	143-45
Coördinaten t.o.v. Parijs(x, y)	X=185680 Y=513160	X=185530 Y=512280	X=185510 Y=511640	X=185480 Y=511160	X=186330 Y=510590	X=188370 Y=510620
Coördinaten in WAQUA[m,n]	M=133 N=70	M=131 N=62	M=130 N=55	M=129 N=48	M=135 N=40	M=143 N=45
Bodemhoogte (t.o.v.NAP)[m]	0,01	0,09	0,10	1,87	7,39	-0,22
Locaties net achter het dijktraject	134-70	132-62	131-55	130-48	135-41	143-46
Coördinaten t.o.v. Parijs (x, y)	X=185810 Y=513180	X=185670 Y=512300	X=185641 Y=511660	X=185580 Y=511170	X=186320 Y=510670	X=188410 Y=510720
Coördinaten in WAQUA[m,n]	M=134 N=70	M=132 N=62	M=131 N=55	M=130 N=48	M=135 N=41	M=143 N=46
Bodemhoogte (t.o.v.NAP)[m]	-0,27	0,01	0,01	0,06	6,23	0,52
Tabel 5 De coördinaten van de locaties die net vóór en net achter het dijktraject 25~26, 38K~M liggen (zie ook figuur 5).						

Kruinhoogten voor de overlaat	Coëfficiënten overlaat voor de versie INTRO9513		Coëfficiënten overlaat voor de nieuwste versie 2002-01	
	defaulte waarden	advies waarden	defaulte waarden	Advies Waarden
Oude kruinhoogte	O1.1	O1.2	N1.1	N1.2
Nieuwe Kruinhoogte	O2.1	O2.2	N2.1	N2.2
Tabel 6 Scenario's voor het onderzoek naar de twee verschillende WAQUA versies.				

De berekende waterstanden en het totale overstroomde watervolume zullen, indien mogelijk is, worden vergeleken. De twee WAQUA versies zullen worden getest voor 8 scenario's. Deze variëren met de WAQUA versies, kruinhoogten voor de overlaat en de instellingen van de coëfficiënten voor overlaat(zie tabel 6).

5.1 Modelberekening met INTRO9513

Er is iets onverwachts gebeurd in de modelberekeningen met de versie INTRO9513 op SUN. Het is gebleken dat de overlaat helemaal niet gefunctioneerd heeft. Dit kan worden geïllustreerd met de berekende waterstanden voor de locaties nr.03 en nr.04 (zie figuur 6) waarbij de locatie nr.04 achter het dijkvak nr.25 ligt. Figuur 7 geeft de ruimtelijke verdeling van de berekende waterstanden voor het scenario O1.1 weer. Hierin is duidelijk te zien dat een stuk gebied achter het dijktraject overstroomd is.

Figuur 6 geeft ook weer dat de berekende waterstanden voor de locatie nr.04 hoger zijn dan die voor de locatie nr. 03. Dit komt misschien door het probleem met onderlopen. Er ontstaat een grote vloedgolf tussen de droge en natte gebieden, zie ook figuur 7. Voor duidelijkheid wordt daarbij het dijktraject tussen de Ramsplkering en IJsselmuiden met de vette, zwarte lijnen gemarkeerd. (N.B.: de posities van het dijktraject in de figuur 6 komen redelijk overeen met de overlaatposities in de invoerfile, maar niet exact).

Verder is gebleken dat de berekende waterstanden uit de scenario's O1.2, O2.1 en O2.2 precieze dezelfde zijn als het scenario O1.1. Het model is ook getest waarbij alle overlaten in de invoerfile werden uitgeschakeld. Weer zijn de dezelfde waterstanden als het scenario O1.1 berekend. Hierbij wordt geconcludeerd dat de functionaliteit van de overlaat in INTRO9513 niet werkt.(gezien dat de versie INTRO9513 voor alle vier scenario's dezelfde resultaten geeft, is hierbij alleen de berekende waterstand voor het scenario O1.1 worden gepresenteerd).

Geconstateerd moet worden dat de bovenstaande modelberekeningen op een SUN zijn uitgevoerd. In het hoofdstuk 6 zullen de berekende resultaten uit HP worden gepresenteerd.

5.2 Modelberekening met de nieuwste versie

Eerst worden vergelijkingen tussen het scenario N1.2 (de oude kruinhoogten) en N2.2 (de nieuwe kruinhoogte) gepresenteerd waarbij de modelberekeningen zijn uitgevoerd met de advieswaarden voor overlaat. Daarna worden vergelijkingen gegeven voor het scenario N2.1(defaultwaarden voor de overlaat) en N2.2(advieswaarden) waarbij modelberekeningen met de nieuwe kruinhoogte zijn uitgevoerd.

Vergelijking zal niet alleen worden gedaan voor de locaties die net vóór en net achter de overlaat liggen (zie ook figuur 5), maar ook voor de 8 gekozen locaties in het onderzoeksgebied (figuur2).

5.2a. vergelijkingen tussen de scenario's N1.2 en N2.2

In dit stuk zal de invloed van de kruinhoogte op de berekende waterstanden worden gepresenteerd. Figuur 8-11 geven vergelijking van het verloop van de berekende waterstanden voor de scenario's N1.2 en N2.2 weer waarin modelberekeningen zijn uitgevoerd met zowel de oude als de nieuwe kruinhoogten (advieswaarden voor de overlaat).

Tabel 7 geeft vergelijking van de berekende waterstanden net vóór het dijktraject tussen de Ramspolkering en IJsselmuiden(aan de kant van het Ketelmeer en de rivier de IJssel). Alle berekende waterstanden zijn die van het laatste tijdstip (11 uur na de start van modelberekening). Het verschil in de waterstanden is minimaal. Langs de dijkvakken 25~26(eerste 4 locaties in tabel 7) heeft het scenario N2.2 iets lagere waterstanden berekend dan het scenario N1.2. Langs de dijkvakken 38K~M(laatste twee locaties in tabel 7) heeft N2.2 iets hogere waterstanden berekend. De situatie achter het dijktraject is omgekeerd (aan de kant van het Kampereiland; zie tabel 8). Dit geeft de invloed van de kruinhoogte op de totaal hoeveelheid overstroomd water weer.

Tabel 9 geeft voor de 8 locaties de berekende waterstanden van het laatste tijdstip. Behalve locatie nr. 04 (achter de overlaat) is het verschil in de waterstanden niet groot (kleiner dan 10cm). Tijdens de stormpiek treedt er langs het dijktraject de overstroming op. Het overstroomde watervolume is in tabel 10 gegeven. Het is duidelijk dat bij de nieuwe kruinhoogten er meer water is overgestroomd. Bij de oude kruinhoogte treedt de overstroming voornamelijk langs de dijkvakken 38K ~M op terwijl voor de nieuwe het water over de dijkvakken 25~26 zijn gestroomd. Figuur 12-13 geven de vergelijkingen van het overstroomde watervolume als functie van tijd voor de dijkvakken 25~26 resp. dijkvakken 38K~M weer.

Locatie	133-70	131-62	130-55	129-48	135-40	143-45
Scenario N1.2 ws[m]	3,05	3,10	3,13	3,12	3,19	3,26
Scenario N2.2 ws[m]	3,01	3,07	3,10	3,11	3,19	3,33
ΔH [m]	-0,04	-0,03	-0,03	-0,01	0	0,07
Tabel 7 De berekende waterstanden voor de scenario's N2.2 en N1.2. De locaties liggen net vóór het dijktraject tussen de Ramspolkering en IJsselmuiden(aan de kant van het Ketelmeer en de IJssel). $\Delta H = N2.2 - N1.2$						

Locatie	134-70	132-62	131-55	130-48	135-41	143-46
Scenario N1.2 ws[m]	0,14	0,22	0,46	0,87	1,19	0,61
Scenario N2.2 ws[m]	0,88	1,19	1,34	1,40	1,39	0,43
ΔH [m]	0,74	0,97	0,88	0,53	0,20	-0,21
Tabel 8 De berekende waterstanden voor de scenario's N2.2 en N2.1. De locaties liggen net achter het dijktraject(aan de kant van het Kampereiland). $\Delta H = N2.2 - N1.2$						

Locatie Nr.	01	03	04	05	06	07	08	09
N1.2 Ws[m]	2,92	3,05	0,26	3,20	3,46	3,10	2,77	2,58
N2.2 Ws[m]	2,89	3,02	1,27	3,25	3,54	3,08	2,75	2,56
ΔH [m]	-0,03	-0,03	1,01	0,05	0,08	-0,02	-0,02	-0,02
Tabel 9 De berekende waterstanden voor de scenario's N1.2 en N2.2 voor de locaties in het Ketelmeer, het Vossemeer en de IJssel, waarin het verschil $\Delta H = N2.2 - N1.2$.								

	Dijkvakken 25~26 [m ³]	Dijkvakken 38K~M [m ³]	Totaal [m ³]
Scenario N1.2	$4,30 \cdot 10^4$	$1,55 \cdot 10^6$	$1,59 \cdot 10^6$
Scenario N2.2	$2,35 \cdot 10^6$	$3,18 \cdot 10^5$	$2,67 \cdot 10^6$
$\Delta V = N2.2 - N1.2$			$1,08 \cdot 10^6$
Tabel 10 Het overstroomde watervolume over de dijkvakken 25~26 resp. 38K~M.			

5.2b vergelijkingen tussen de scenario's N2.1 en N2.2

In de modelberekeningen zijn de kruinhoogten voor de overlaat dezelfde (nieuwe instelling, zie tabel 1). De gevoeligheid van de berekende waterstanden zal voor de coëfficiënten voor de overlaat worden onderzocht. Dit is ook een van de doelen van dit project. Hiervoor zullen modelberekeningen worden uitgevoerd voor twee verschillende waarden voor de overlaattoëfficiënten (zie ook tabel 3).

Figuur 14-16 geven vergelijking van de berekende waterstanden net vóór het dijktraject 25~26 en 38K~M weer (aan de kant van het Ketelmeer en de rivier de IJssel). De berekende waterstanden net achter het dijktraject worden in figuur 17-19 weergegeven.

Hoewel het waterstandverschil vóór de overlaat (aan de kant van het Ketelmeer en de IJssel) klein is, is het verschil achter de overlaat (aan de kant van het Kampereiland) groot. Voor het scenario N2.1 (defaultwaarden voor de overlaat, tabel 3) stroomt er bij sommige locaties geen water over hoewel de waterstanden vóór de overlaat veel hoger is dan 2,5m+NAP (zie figuur 17 en 19 links). Dit wordt verder geïllustreerd met de berekende waterstanden (figuur 20) voor de locaties nr.03 en nr.04 waarvan de locatie nr.04 net achter het dijkvak nr.26 ligt.

Tabel 11 geeft de verschillen in de berekende waterstanden net vóór de overlaat (alle waterstanden zijn die van het laatste tijdstip). Het scenario N2.2 berekende lagere waterstanden uit dan het scenario N2.1 en de verschillen in de waterstanden zijn ongeveer 10cm. De waterstanden voor de 6 locaties, die net achter de overlaat liggen, worden in tabel 12 weergegeven. Het verschil in waterstanden zijn groot en varieert tussen 0,66 m tot 1,73m. Met defaultwaarden voor de overlaat worden de waterstanden achter het dijktraject door het scenario N2.1 onderschat. Tabel 13 geeft de berekende waterstanden voor de 8 gekozen locaties in het Ketelmeer, het Vossemeer en de IJssel.

De ruimtelijke verdelingen voor de berekende waterstanden worden in figuur 21-22 geïllustreerd (de scenario's N2.1 en N2.2). De gevoeligheid van de hoeveelheid overgestroomd water voor de overlaattoëfficiënten is duidelijk geworden. Vergelijking met het scenario N2.1 stroomt er voor het scenario N2.2 meer water het dijktraject over dan het scenario N2.1, waardoor de waterstanden vóór het traject lager is geworden (de kleuren van deze twee figuren hebben dezelfde waterstand).

Locatie	133-70	131-62	130-55	129-48	135-40	143-45
Scenario N2.1 ws[m]	3,12	3,18	3,21	3,22	3,29	3,43
Scenario N2.2 ws[m]	3,01	3,07	3,10	3,11	3,19	3,33
ΔH [m]	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11	-0,10	-0,10

Tabel 11 De berekende waterstanden voor de scenario's N2.2 en N2.1. De locaties liggen net vóór de dijkvakken 25~26, 38K~M (aan de kant van het Ketelmeer). $\Delta H = ws[N2.2] - ws[N2.1]$

Locatie	134-70	132-62	131-55	130-48	135-41	143-46
Scenario N2.1 ws[m]	0,14	0,32	0,34	0,74	-0,34	0,43
Scenario N2.2 ws[m]	0,88	1,19	1,34	1,40	1,39	0,43
ΔH [m]	0,74	0,87	1,00	0,66	1,73	0

Tabel 12 De berekende waterstanden voor de scenario's N2.2 en N2.1. De locaties liggen net achter de dijkvakken 25~26, 38K~M (aan de kant van het Kampereiland). $\Delta H = ws[N2.2] - ws[N2.1]$

Locatie Nr.	01	03	04	05	06	07	08	09
Scenario N2.1 Ws[m]	3,02	3,13	0,23	3,35	3,65	3,04	2,78	2,61
Scenario N2.2 [m]	2,89	3,02	1,27	3,25	3,54	3,08	2,75	2,56
ΔH [m]	-0,13	-0,11	1,04	-0,10	-0,11	0,04	-0,03	-0,05

Tabel 13 het verschil in de berekende waterstanden voor 8 locaties in het Ketelmeer, het Vossemeer, de IJssel en het Kampereiland . $\Delta H = N2.2 - N2.1$.

	Dijkvakken 25~26 [m ³]	Dijkvakken 38K~M [m ³]	Totaal [m ³]
Scenario N2.2	$2,35 \cdot 10^6$	$3,18 \cdot 10^5$	$2,67 \cdot 10^6$
Scenario N2.1	$5,56 \cdot 10^4$	$3,25 \cdot 10^4$	$8,81 \cdot 10^4$
$\Delta V = N2.2 - N2.1$			$2,58 \cdot 10^6$

Tabel 14 De berekende hoeveelheid overstroomd watervolume voor de scenario's N2.2 en N2.1.

Tabel 14 geeft het totale overstroomde watervolume voor scenario's N2.2 en N2.1. Met de default-waarden voor de overlaat is het totale overstroomde water een fractie van dat van de advieswaarden.

De resultaten geven ook aan dat de functionaliteit van de overlaat in de nieuwste versie, WAQUA release 2002-01, werkt. De berekende waterstanden nabij de overlaat en het overstroomde watervolume zijn gevoelig voor zowel de kadehoogte als de coëfficiënten voor de overlaat.

5.3 Vergelijking tussen de versie INTRO9513 en de nieuwste versie

Tabel 15 geeft de maximale berekende waterstanden voor de scenario's Q1.1, N1.1 t/m N2.2. Alle berekeningen zijn uitgevoerd op SUN. Het verschil tussen INTRO9513 en het scenario N2.2 wordt ook in deze tabel gegeven. Behalve locatie nr.04 berekent INTRO9513 kleine waterstanden. Dit komt doordat de overlaat in deze versie niet heeft gefunctioneerd. De onderschatting varieert tussen 0,24m t/m 0,28m.

Locatie Nr.	01	03	04	05	06	07	08	09
O1.1 ws[m]	2,62	2,76	2,83	2,97	3,30	2,84	2,51	2,31
N1.1 Ws[m]	3,01	3,12	0,29	3,30	3,59	3,04	2,77	2,60
N1.2 Ws[m]	2,92	3,05	0,26	3,20	3,46	3,10	2,77	2,58
N2.1 Ws[m]	3,02	3,13	0,23	3,35	3,65	3,04	2,78	2,61
N2.2 Ws[m]	2,89	3,02	1,27	3,25	3,54	3,08	2,75	2,56
N2.2-O1.1 [m]	0,27	0,26	-1,56	0,28	0,24	0,24	0,24	0,25

Tabel 15 De berekende waterstanden van INTRO9513 en de nieuwste versie van WAQUA voor de locaties in het Ketelmeer, het Vossemeer en de IJssel.

5.4 Opmerking

De functionaliteit van de overlaat werkt niet in de versie INTRO9513, maar deze werkt wel goed in de nieuwste versie(ook op SUN). Hierbij kunnen we alleen vermoeden dat de functionaliteit destijds alleen op HP is geïmplementeerd (zie het volgende hoofdstuk), niet op SUN. Wanneer de functionaliteit op een SUN werd ingebracht, kan hedendaags niet meer worden achtergehaald, maar we weten zeker dat de functionaliteit in de WAQUA versie 2000-02(op SUN) wel werkt (zie Beyer, 2001).

6. Berekende resultaten uit HP

De functionaliteit van de overlaat heeft niet alleen grote invloed op de waterstanden nabij de dijken, maar ook in het hele onderzoeksgebied. Gelukkig is dat de modelberekeningen t.b.v. het vullen van de database voor HYDRA-M op HP zijn uitgevoerd. Bij het RIZA is er geen HP beschikbaar voor modelberekening. Daarom werd MX.Systems gevraagd om het scenario O1.1 op HP uit te voeren, met de WAQUA versie die destijds voor HYDRA-M is gebruikt (de oude versie). De resultaten worden in volgende paragrafen gepresenteerd.

6.1 vergelijking tussen de scenario's O1.1 en N1.1

De resultaten van HP worden als O1.1_HP aangeduid en die van SUN als N1.1_SUN. Tabel 16 geeft de berekende maximale waterstanden voor de 8 gekozen locaties weer, de coördinaten daarvan zijn te vinden in tabel 4. Figuur 23-26 geven vergelijkingen van het verloop van de waterstanden voor deze 8 locaties weer.

Behalve de locaties nr. 06 (in de IJssel) en nr. 04(achter de overlaat) zijn de verschillen in de waterstanden niet erg groot, deze variëren tussen -7cm (nr. 07) en 7cm(nr. 01). Gebleken is dat op HP hogere waterstand voor de locatie nr.04 werden berekend. Dit betekent dat er meer water over het dijktraject is afgevoerd. De berekende waterstand voor de locatie nr.06 is vermoedelijk veroorzaakt door de instabiliteit tijdens het rekenproces.

Locatie	01	03	04	05	06	07	08	09
O1.1_HP Ws[m]	2.94	3.06	0.61	3.26	-0.38	3.11	2.77	2.59
N1.1_SUN Ws[m]	3.01	3.12	0.28	3.30	3.59	3.04	2.77	2.60
$\Delta H = \text{SUN-HP}$ [m]	0.07	0.06	-0.33	0.04	3.97	-0.07	-0.00	0.01

Tabel 16 De berekende waterstanden en het verschil tussen scenario's O1.1_HP en N1.1_SUN voor de 8 gekozen locaties in het Ketelmeer, het Vossemeer en de IJssel.

Locatie	133-70	131-62	130-55	129-48	135-40	143-45
O1.1_HP Ws[m]	-0.05	3.11	3.14	3.14	3.23	3.32
N1.1_SUN Ws[m]	3.11	3.17	3.19	3.20	3.19	3.34
$\Delta H = \text{SUN-HP}$ ws[m]	3.16	0.06	0.05	0.06	-0.04	0.02

Tabel 17 De berekende waterstanden en het verschil tussen scenario's O1.1_HP en N1.1_SUN. De locaties liggen net vóór het dijktraject tussen de Ramspolkering en IJsselmuiden.

Locatie	134-70	132-62	131-55	130-48	135-41	143-46
O1.1_HP Ws[m]	0.14	0.30	0.71	0.98	1.33	1.01
N1.1_SUN Ws[m]	0.25	0.14	0.26	0.83	1.28	0.43
$\Delta H = \text{SUN-HP}$ [m]	0.11	-0.16	-0.45	-0.15	-0.05	-0.58

Tabel 18 De berekende waterstanden en het verschil tussen scenario's O1.1_HP en N1.1_SUN . Deze locaties liggen net achter het dijktraject.

In HYDRA-M is er een toetsenpunt dat vóór het Kampereiland ligt. De coördinaten van dit punt zijn $x=184850$ resp. $y=511950$, ongeveer op de plaats waar locatie nr. 03 ligt. Voor dezelfde wind en hetzelfde meerpeil is de waterstand uit HYDRA-M 2,98m+NAP. Voor locatie nr. 03 van deze studie is de waterstand 3,06m+NAP(resultaat van HP). Afgezien aantal benaderingen in deze studie (zie hoofdstuk 4) komen deze resultaten redelijke overeen.

Tabel 17 geven de berekende waterstanden voor de locaties die net vóór de overlaat liggen. Behalve de locatie nr 133-70, is het verschil in de berekende waterstanden kleiner dan 6cm. De verschillen net achter de overlaat zijn iets groter(tabel 18). Het maximale verschil is 58cm (absolute waarde). Behalve de locatie nr.134-70 berekent de oude versie voor de locaties achter de overlaat hogere waterstanden.

De resultaten van HP geven aan dat de functionaliteit van de overlaat in de oude WAQUA versie ook goed heeft gewerkt.

Locatie nr. 133-70 (ook de locatie nr.06) ligt in ondiepte, de instabiliteit is ontstaan vermoedelijk door de combinatie van de overlaat met een slechte formulering voor het onderlopen. Figuur 27-28 geven de ruimtelijke verdeling van de berekende waterstanden en stromingsrichtingen voor O1.1_HP en N1.1_SUN weer. Het resultaat uit HP geeft duidelijk weer dat drie stuk gebieden, t.w.: Keteleiland, IJsselmuiden en Ramspol, niet worden overstroomd. De instabiliteit treedt in de nieuwste versie niet meer op.

6.2 vergelijking tussen de scenario's O1.1 en N2.2

De resultaten van SUN worden als N2.2_SUN aangeduid. Figuur 29-32 geven vergelijking van het verloop van waterstanden voor de 8 gekozen locaties voor scenario's O1.1_HP en N2.2_SUN weer. Tabel 19 geeft de maximale berekende waterstanden voor deze 8 gekozen locaties. Behalve de locaties nr. 04 en nr. 06, varieert het verschil in de berekende waterstanden tussen -5cm en -1cm. De nieuwste WAQUA versie berekent iets lagere waterstanden dan de oude.

Locatie	01	03	04	05	06	07	08	09
O1.1_HP Ws[m]	2.94	3.06	0.61	3.26	-0.38	3.11	2.77	2.59
N2.2_SUN Ws[m]	2.89	3.02	1.27	3.25	3.54	3.08	2.75	2.56
$\Delta H = \text{SUN-HP}$ [m]	-0.05	-0.04	0.66	-0.01	3.92	-0.03	-0.02	-0.03

Tabel 19 De berekende waterstanden en het verschil tussen scenario's O1.1_HP en N2.2_SUN voor de 8 gekozen locaties in het Ketelmeer, het Vossemeer en de IJssel.

Locatie	133-70	131-62	130-55	129-48	135-40	143-45
O1.1_HP Ws[m]	-0.05	3.11	3.14	3.14	3.23	3.32
N2.2_SUN Ws[m]	3.01	3.07	3.10	3.11	3.19	3.33
$\Delta H = \text{SUN} - \text{HP}$ [m]	3.06	-0.04	-0.04	-0.03	-0.04	0.01

Tabel 20 De berekende waterstanden en het verschil tussen scenario's O1.1_HP en N2.2_SUN. De locaties liggen net voor het dijktraject tussen de Ramspolkering en IJsselmuiden.

Locatie	134-70	132-62	131-55	130-48	135-41	143-46
O1.1_HP Ws[m]	0.14	0.30	0.71	0.98	1.33	1.01
N2.2_SUN Ws[m]	0.88	1.19	1.34	1.40	1.39	0.43
$\Delta H = \text{SUN} - \text{HP}$ [m]	0.74	0.89	0.63	0.42	0.06	-0.58

Tabel 21 De berekende waterstanden en het verschil tussen scenario's O1.1_HP en N2.2_SUN. Deze locaties liggen net achter het dijktraject.

Tabel 20 geven de berekende waterstanden voor de locaties die net vóór het dijktraject liggen. Het verschil tussen de oude en de nieuwe varieert tussen -4 cm en 1cm (behalve locatie nr. 133-70). Achter het dijktraject berekent de nieuwste versie veel hogere waterstanden (tabel 21) dan die van de oude versie, behalve de locatie nr. 143-46 waarvoor iets lagere waterstand is uitgerekend.

6.3 opmerking

Vóór de overlaat zijn de waterstanden door de oude WAQUA versie goed berekend (zie tabel 16~17, 19 ~20), maar in de oude versie treedt er voor sommige locaties numerieke instabiliteit op. Deze zijn vermoedelijk veroorzaakt door de slechte formulering voor het onderlopen in combinatie met de overlaat.

Het verschil in de berekende waterstanden achter het dijktraject is niet gering (zie tabel 21). Als de hydraulische belasting voor dit dijktraject opnieuw moet worden bepaald, moet er rekening worden gehouden met deze verschillen.

Voor het vullen van de database voor HYDRA-M zijn alle berekende waterstanden aan het proces van kwaliteitscontrole onderworpen. De waterstanden die niet correct zijn berekend zijn door het proces afgewezen waardoor de kwaliteit van HYDRA-M is gewaarborgd (in HYDRA-M werd er geen rekening gehouden met de waterstanden achter het dijktraject).

Hierbij wordt geconcludeerd dat de functionaliteit van overlaat destijds alleen op HP geïmplementeerd is, niet op SUN.

T.o.v. de oude versie zijn er verbeteringen voor de nieuwste versie plaatsgevonden. Een daarvan is dat het rekenproces meer stabiel is geworden.

7. Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Uit het onderzoek naar de WAQUA's release-informaties zijn er sinds 1996 twee belangrijke wijzigingen in het rekenhart aangebracht die groot gevolg hebben tot de berekende waterstanden voor het onderzoeksgebied. De ene heeft plaatsgevonden in de release 1998-02 waarin het upwindschema voor het droogvallen of onderlopen is geïntroduceerd. Voor het bepalen van de waterdiepte wordt ook rekening gehouden met de kruinhoogten van de overlaat. De andere wijziging heeft in de release 2002-01 plaatsgevonden waarin een aantal nieuwe routines voor de overlaat is toegevoegd.

De WAQUA versie INTRO9513 is op SUN getest voor 4 scenario's. Modelberekeningen zijn op de invoerfile WAQUA-95 gebaseerd. Vergelijking van de berekende waterstanden voor deze vier scenario's geeft eraan dat de functionaliteit van de overlaat in deze versie niet werkt. Berekeningen met deze versie voor verschillende overlaatcoëfficiënten en voor verschillende overlaathoogten geven dezelfde waterstanden(het is daarom in dit verslag alleen O1.1 gepresenteerd). Bij deze versie is er een stuk gebied achter het dijktraject overstroomd.

MX.Systems is gevraagd om het scenario O1.1 op HP uit te voeren, gebaseerd op de WAQUA versie die destijds voor het vullen van de database voor HYDRA-M is gebruikt. Vergelijking met de nieuwste versie voor het scenario N2.2, is het verschil in de berekende waterstanden vóór de overlaat (aan de kant van het Ketelmeer en de rivier de IJssel) kleiner dan 5cm. Maar het verschil achter de overlaat(aan de kant van het Kampereiland) is niet gering. De waterstanden aldaar worden door de oude versie onderschat. De onderschatting komt door het effect van de coëfficiënten voor overlaat alsmede door de nieuwe waarden voor de kruinhoogten.

Het rekenproces van de oude versie is niet stabiel. Dit komt vermoedelijk door het gecombineerde effect van de overlaat en onderloopproces.

De nieuwste versie, WAQUA 2002-01, is ook getest voor 4 scenario's. Het verschil in de berekende waterstanden vóór het dijktraject is klein, maar het onderlinge verschil achter de dijken niet gering. Uit de testen wordt geconcludeerd dat de functionaliteit van de overlaat in de nieuwste versie werkt. Het rekenproces is stabiel. Dit kan ook worden verklaard door de inhoudelijke updaten van het model WAQUA in de afgelopen jaren.

De functionaliteit van overlaat van de versie INTRO-9513 werkt niet op SUN, maar wel op HP. Hieruit geconcludeerd kan worden dat deze functionaliteit destijds alleen op HP is geïmplementeerd, niet op SUN. Echter werkt de functionaliteit in de nieuwste versie op SUN wel goed. Wanneer de functionaliteit in een SUN versie werd aangebracht, kan hedendaags niet worden achtergehaald (dit is ook niet het doel van deze studie).

7.2 Aanbevelingen

In deze studie zijn de modelberekeningen gebaseerd op de invoerfile WAQUA-95, waarbij rekening is gehouden met verschillende kruinhoogten en verschillende coëfficiënten voor overlaat. Voor een betere modellering van waterstanden in het gebied, waar de overlaat de invloed heeft op de berekende waterstanden, moet er nog een aantal onderzoeken worden verricht.

De functionaliteit van de overlaat in de nieuwste versie is voldoende voor het berekenen van waterstanden in de omgeving van het dijktraject tussen de Ramspolkering en IJsselmuiden, maar of de advieswaarden voor de overlaat het best is, is nog een vraag. Verder onderzoek is nodig om dit uit te wijzen.

In de invoerfile WAQUA-95 wordt een aantal locaties van het bovenstaande dijktraject als diagonale overlaat geschematiseerd. Maar de formulering van een diagonale overlaat is niet consistent met het

rekenschema van WAQUA (van Kester 2001). In dat geval is het bepalen van afvoerdebiet niet meer realistisch. Een alternatief voor de diagonale overlaat is dat deze wordt vervangen met twee loodrechte overlaten, of door de combinatie van een overlaat met een loodrechte dam.

Door hoogwaterstand is er mogelijk dat het Kampereiland wordt overstroomd. Het verdient aan te bevelen om het upwind-schema in te schakelen en de drempeldiepte voor het schema te bepalen. In dat geval zijn de berekende waterstanden zeer gevoelig voor de parameter IDRYFLAG. De beste waarde voor deze parameter moet nog worden onderzocht.

In huidige WAQUA worden alle overlaten door één set coëfficiënten bepaald (een voor THETAC en een voor OTHER_EDUCTION_FACTOR). Het verdient aan te bevelen dat voor verschillende overlaat verschillende coëfficiënten gebruikt kunnen worden (voor de programmeurs).

Het zou ook beter zijn geweest dat de modelberekening wordt gestart met een inspeeltijd. Dit komt door de volgende overwegingen. In dit onderzoek (ook voor HYDRA-M) is een initiële waterstand van $-0,35\text{m} + \text{NAP}$, uniform voor het hele gebied gebruikt. Deze waterstand komt uit de statistiek tussen het meerpeil en de afvoer in de IJssel. In feit staat de waterstand in het IJsselmeergebied altijd schuif en door de afvoer uit de IJssel is de waterstand in het oostendeel van het Ketelmeer altijd hoger dan het IJsselmeer. Modeltest is uitgevoerd met een inspeeltijd van 10 uur en het resultaat wijst uit, zelfs voor het geval van een gemiddelde afvoer en een stilweer, dat de waterstand in het oostendeel van het Ketelmeer 10 cm ~ 20 cm hoger is dan het IJsselmeer. In de IJssel is het verschil nog groter. Het verschil is ook in het einde resultaat te vinden. Gezien dat in de statistiek de zuidwestelijke wind de hoogste frequentie heeft, zal een nog grotere verschil in de berekende waterstanden in het Ketelmeer worden verwacht.

Literatuur

Bak C.I., Vlag D.P., 1999. Achtergronden Hydraulische Belastingen Dijken IJsselmeergebied, Modellerings Waterbeweging (WAQUA). Deel rapport 5, RIZA Rapport 99.042, maart 1999.

Beyer D., 2001. Testverslag nieuwe overlaatroutines WAQUA. RIZA werkdokument 2001.099X.

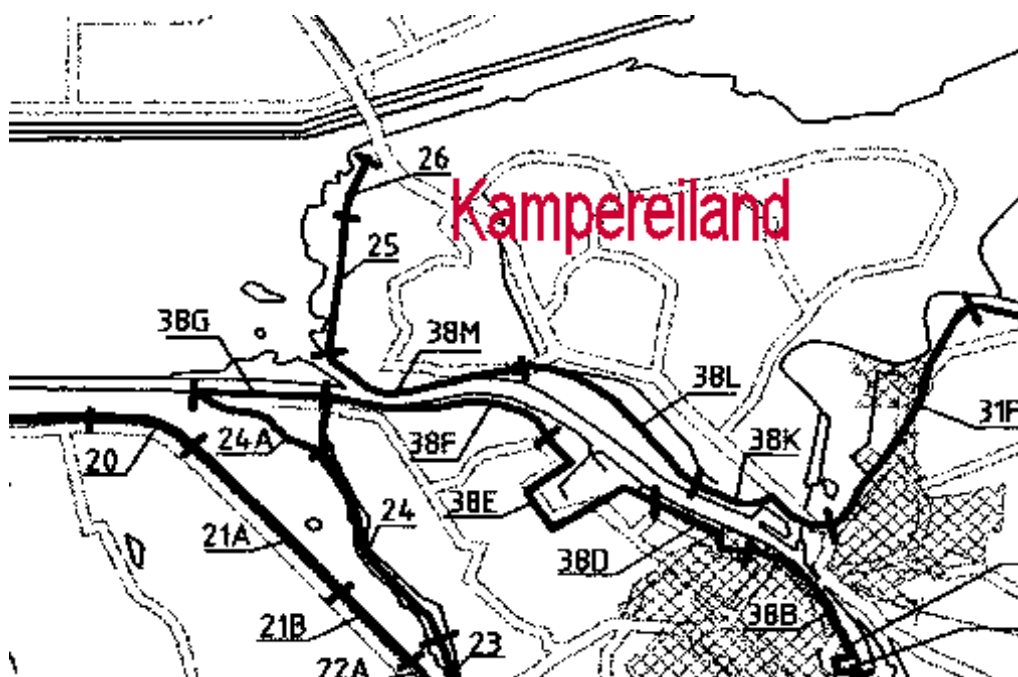
Van Kester J., De Goede E. D., 1997. Verbeteren van algoritme voor het droogvallen en onderlopen in WAQUA en TRIWAQ, WL Rapport, Z2292

Van Kester J., Beoordeling nieuwe overlaatroutines WAQUA, juli 2001, WL Rapport, Z3063.

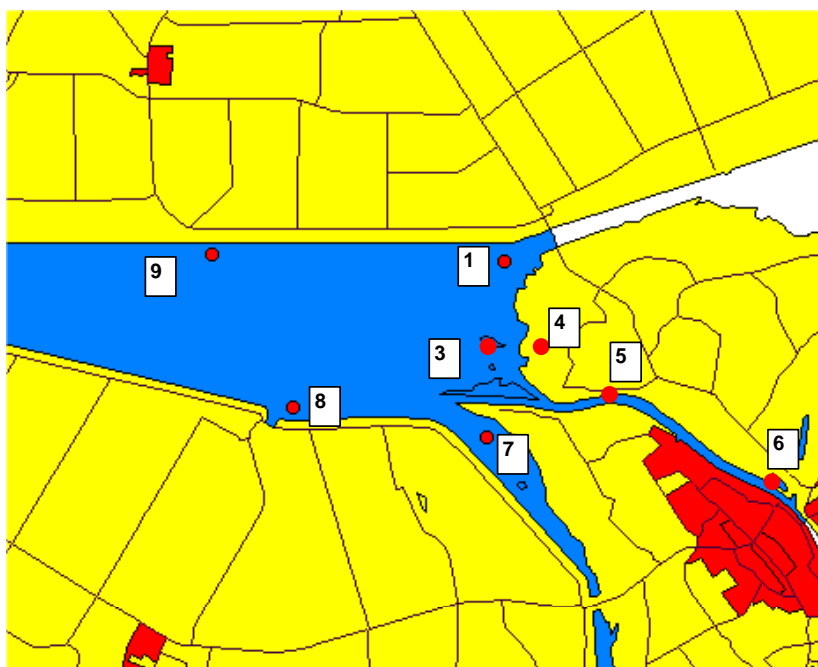
Vlag D.P., Bak C.I., Westphal R., Achtergronden Hydraulische Belastingen Dijken IJsselmeergebied, Productiesommen Waterbeweging en Windgolven. Deel rapport 7, RIZA Rapport 99.044, maart 1999.

Wijbenga, J., 1990. Weergave van extra energieverlies in RIVCUR. WL Rapport Q910.

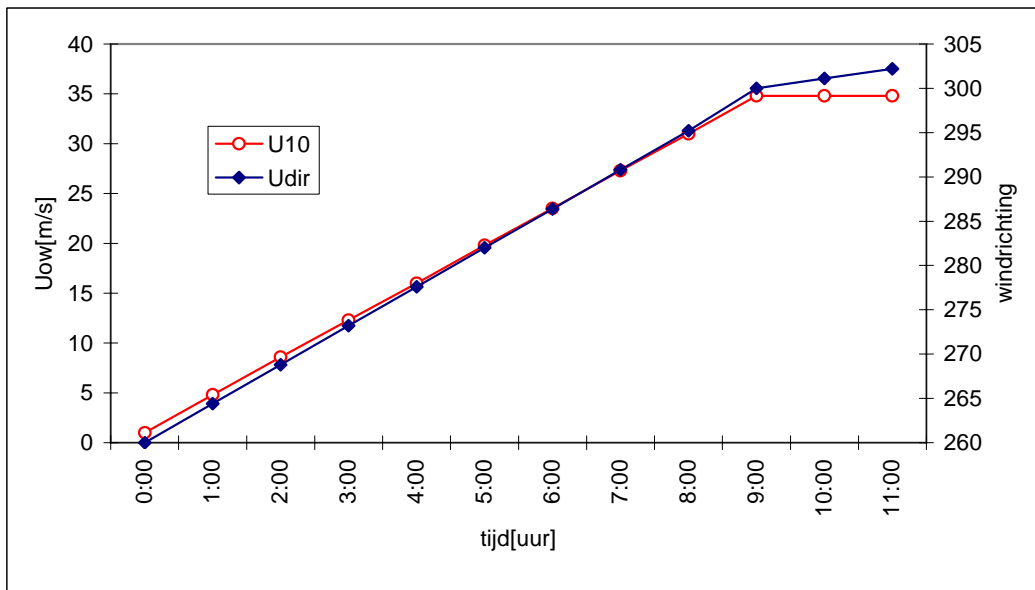
Figuur



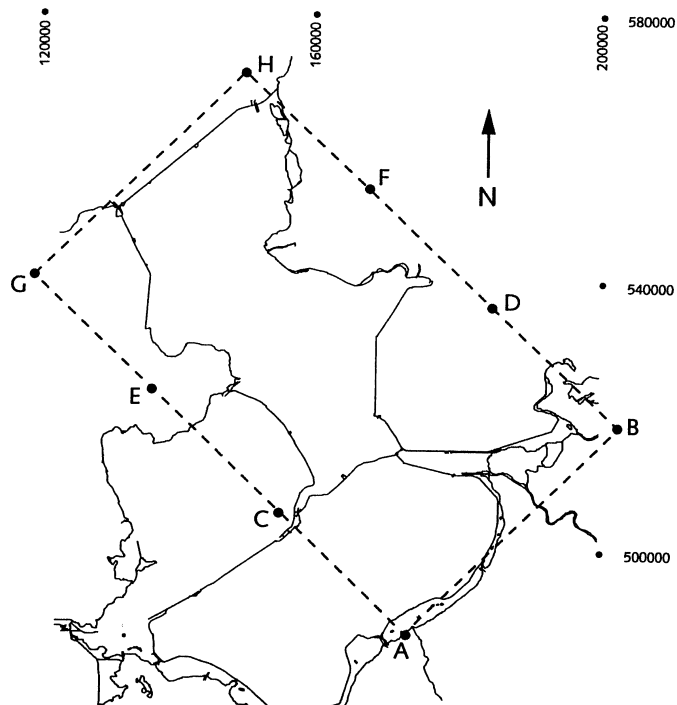
Figuur 1 Het dijktraject tussen de Ramspolkering en IJsselmuiden. De dijkvakken worden gemarkeerd met nr. 38K~M en nr.25~26.



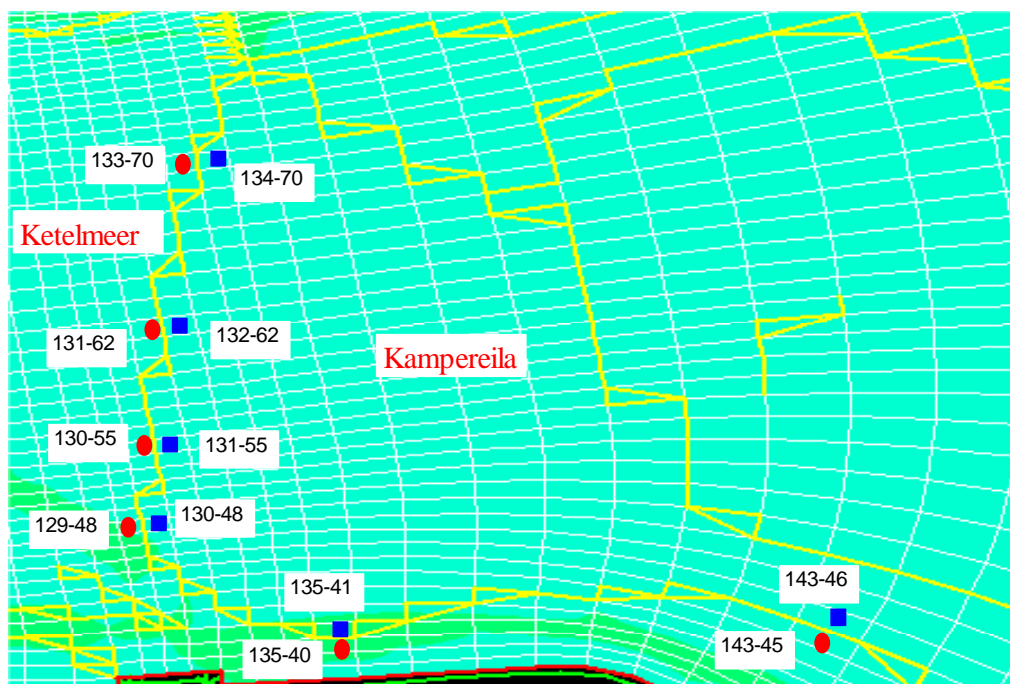
Figuur 2 Locaties in het Ketelmeer, het Vossemeer en de rivier de IJssel voor het onderzoek naar de berekende waterstanden tussen de oude en de nieuwste WAQUA versies.



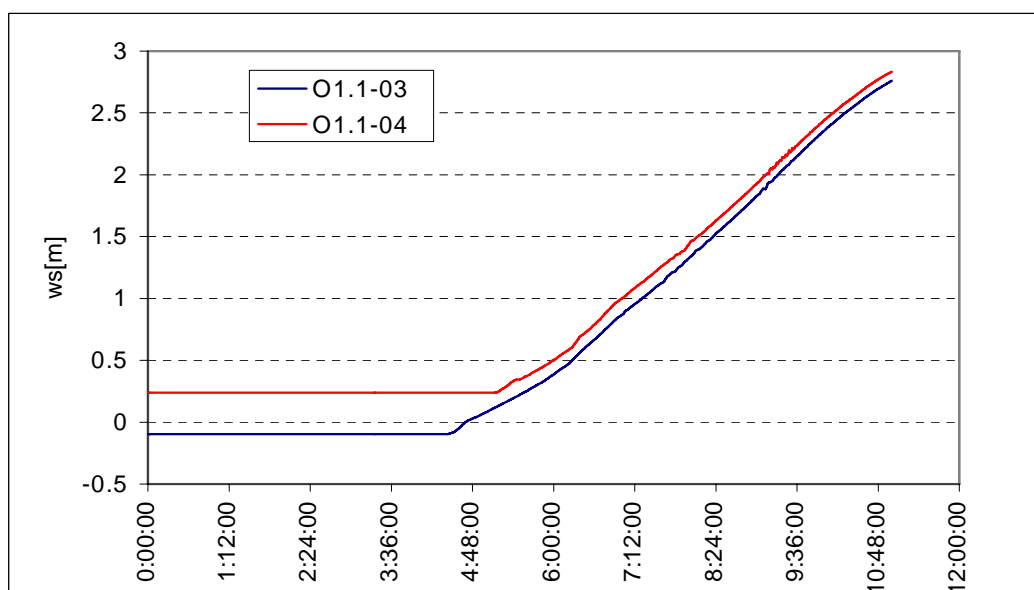
Figuur 3 Het verloop van de windsnelheid en de windrichting tijdens een storm. Uow: windsnelheid op het openwater; Udir: windrichting.



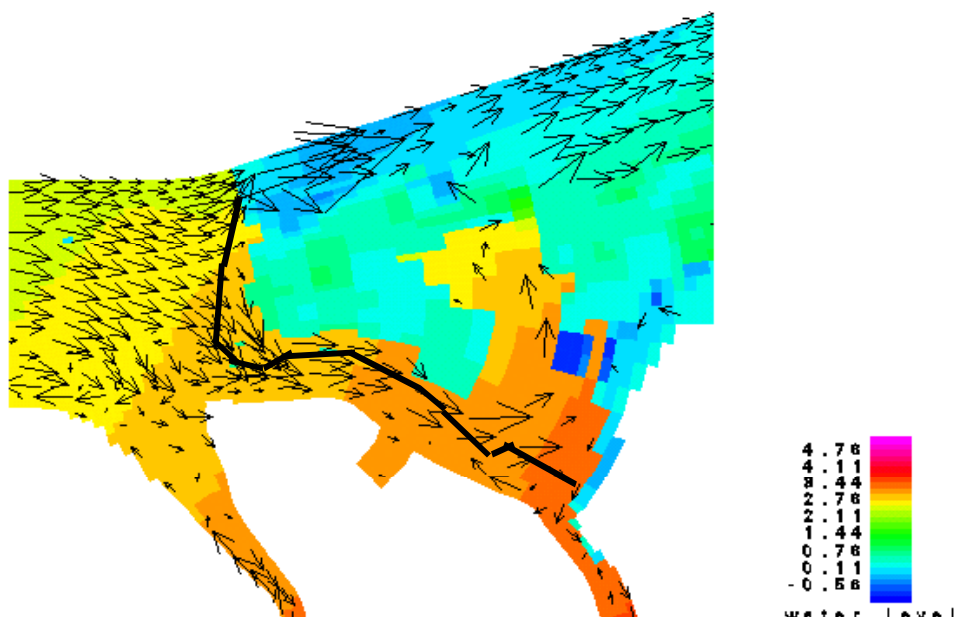
Figuur 4 Overzicht van de ruimtelijke posities (ABCDEFGH) voor het bepalen van de windsnelheid.



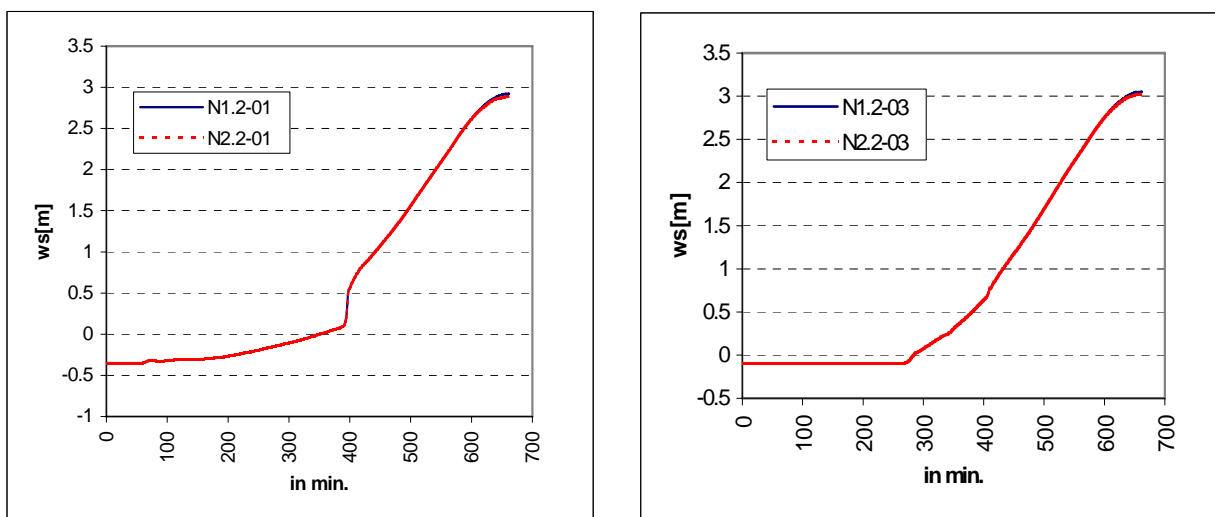
Figuur 5 De locaties die net vóór en net achter het overlaattraject liggen. De gele doorgetrokken lijnen zijn de dijken die in WAQUA-95 als overlaat geschematiseerd zijn. De rode punten geven de locaties aan die net vóór de overlaat liggen en de blauwe punten de locaties die net achter de overlaat liggen.



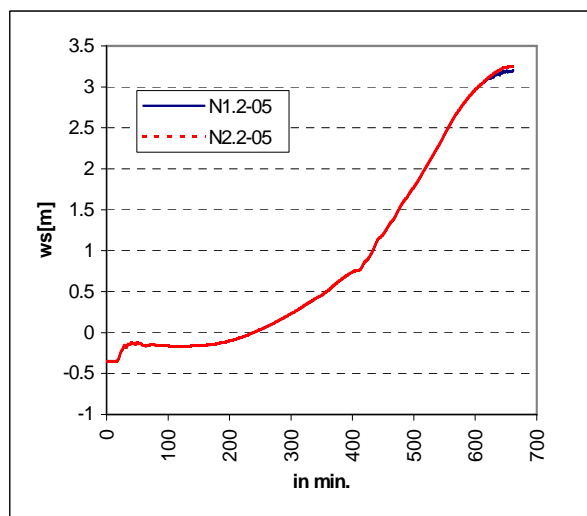
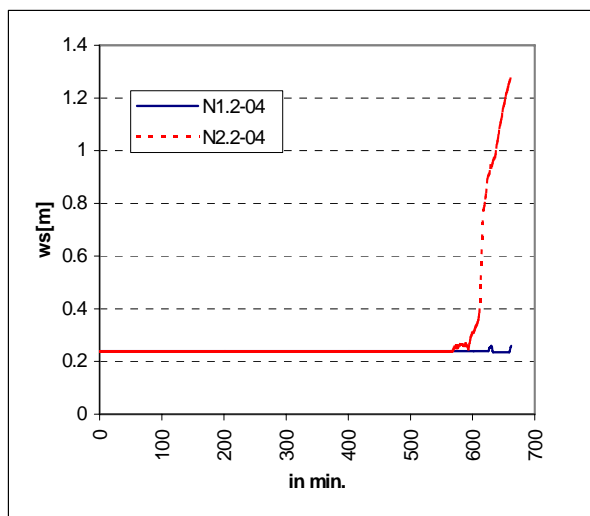
Figuur 6 Het scenario O1.1. De waterstanden voor de locaties nr. 03 en nr. 04 zijn berekend met de versie INTRO9513 op SUN.



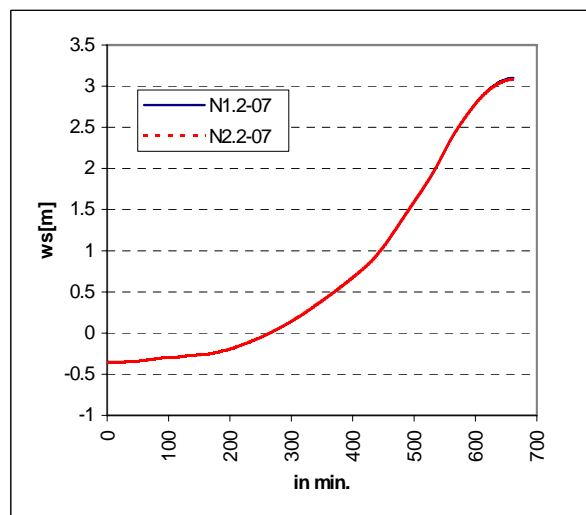
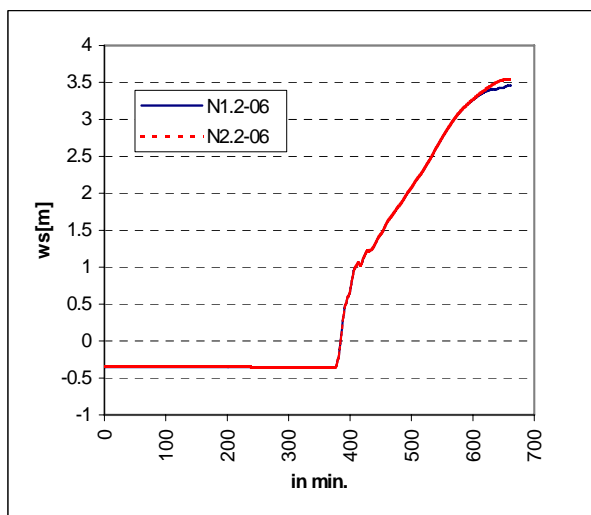
Figuur 7 Het scenario O1.1. De ruimtelijke verdeling van de berekende waterstanden en stromingsrichting op het tijdstip 11 uur, waarin het dijktraject tussen de Ramspolkering en IJsselmuiden met de vette, zwarte lijnen wordt gemarkeerd. De modelberekening is op SUN uitgevoerd met de versie INTRO9513.



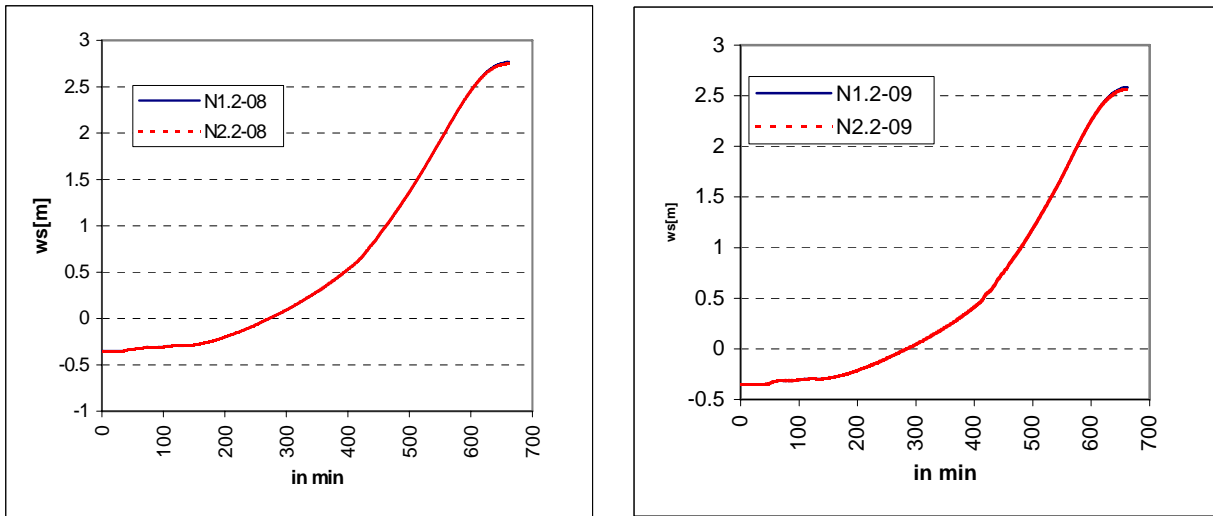
Figuur 8 Vergelijkingen van het verloop van de berekende waterstanden tussen de scenario's N1.2 (de oude kruinhoogten) en N2.2 (de nieuwe kruinhoogten). Modelberekeningen zijn op SUN uitgevoerd met de nieuwste versie van WAQUA. Links: locatie nr.01; rechts: locatie nr.03.



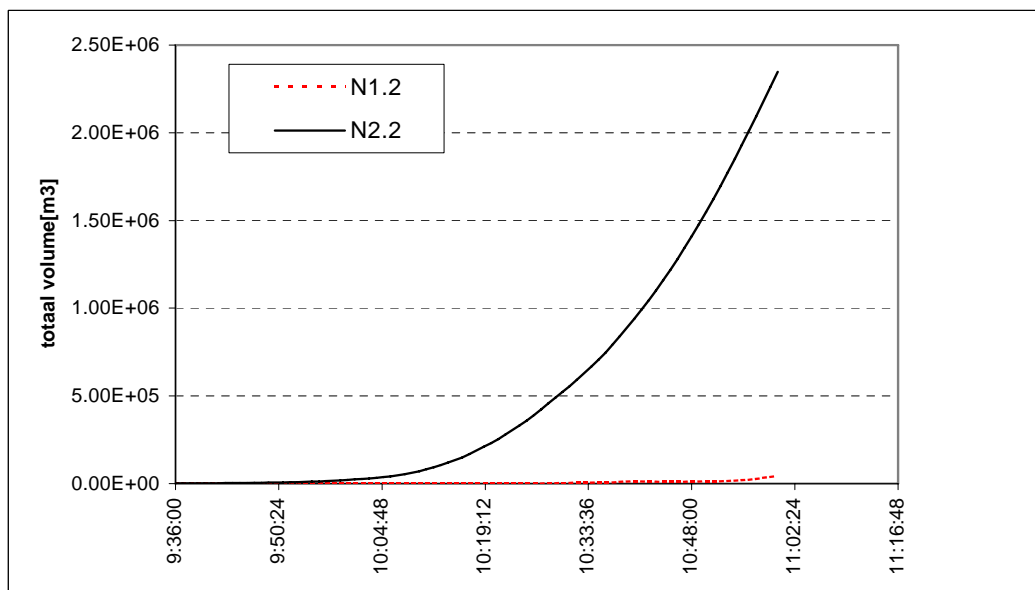
Figuur 9 Vergelijkingen van het verloop van de berekende waterstanden tussen de scenario's N1.2 en N2.2. Links: locatie nr.04; rechts: locatie nr.05.



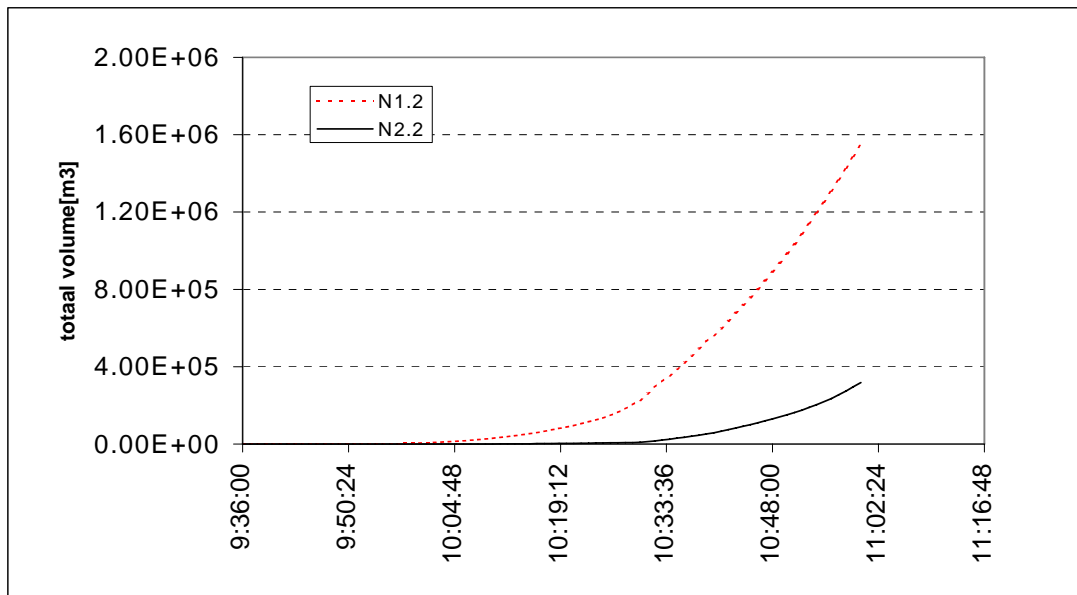
Figuur 10 Vergelijkingen van het verloop van de berekende waterstanden tussen de scenario's N1.2 en N2.2. Links: locatie nr.06; rechts: locatie nr.07.



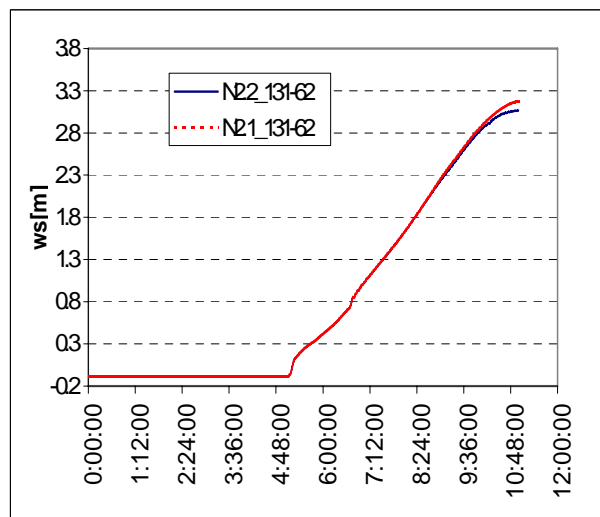
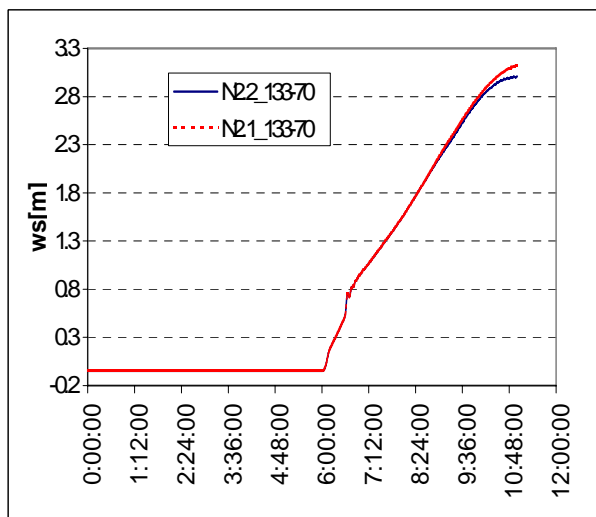
Figuur 11 Vergelijkingen van het verloop van de berekende waterstanden tussen de scenario's N1.2 en N2.2. Links: locatie nr.08; rechts: locatie nr.09.



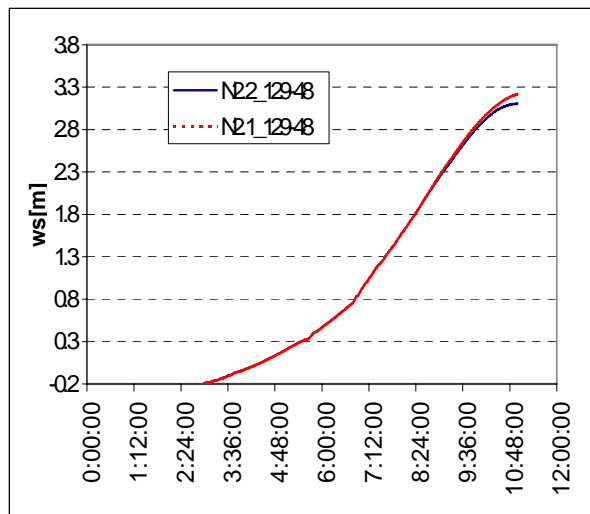
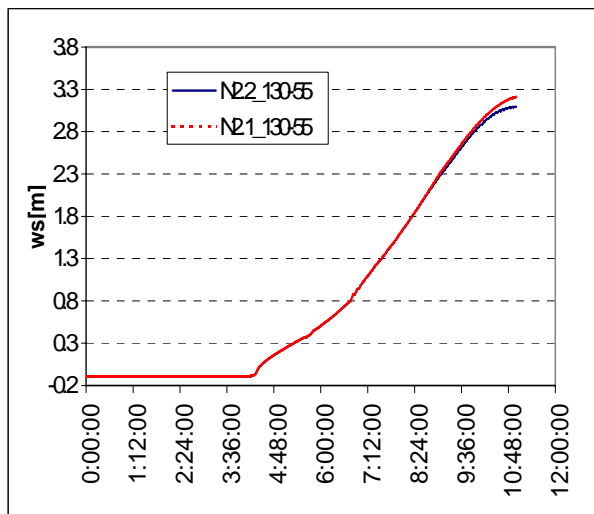
Figuur 12 Voor de scenario's N1.2 en N2.2, vergelijking van het totale overstroomde watervolume over de dijkvakken 25~26 als functie van tijd.



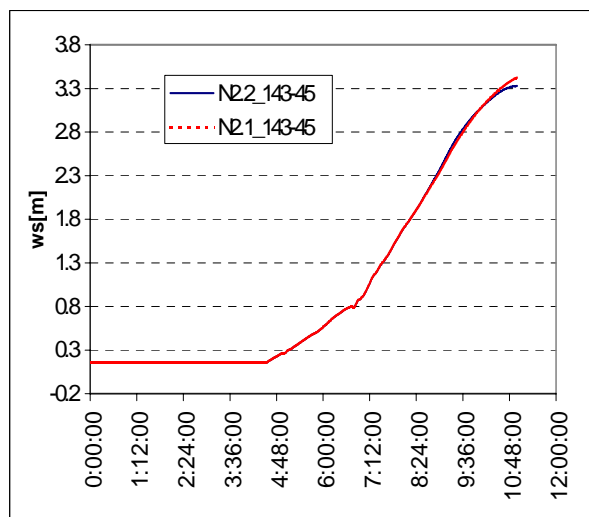
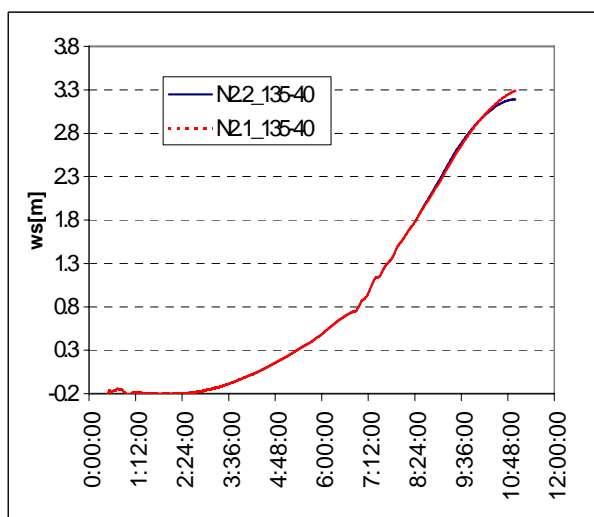
Figuur 13 Voor de scenario's N1.2 en N2.2, vergelijking van het totale overstroomde watervolume over de dijkvakkan 38K~M als functie van tijd.



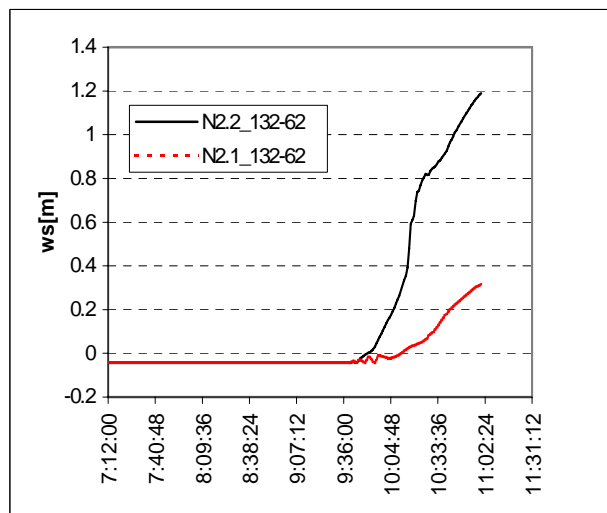
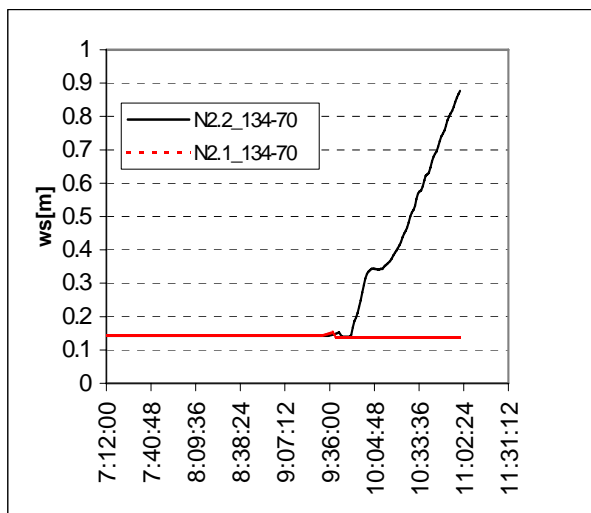
Figuur 14 De berekende waterstanden voor de scenario's N2.1 (defaultwaarden voor de overlaat) en N2.2 (advieswaarden voor de overlaat). De twee locaties liggen net vóór het dijkvak 26.



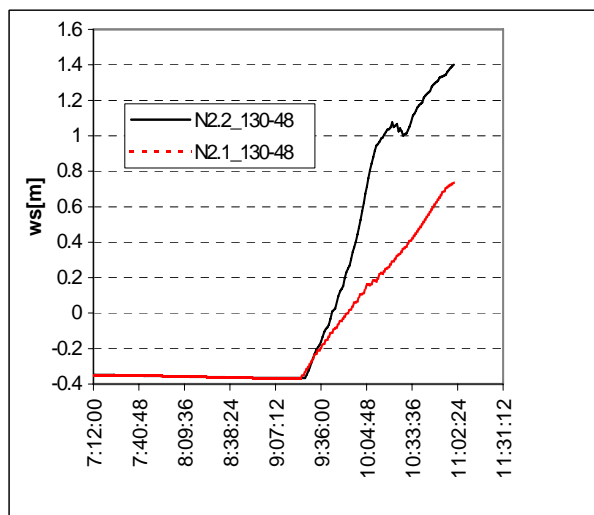
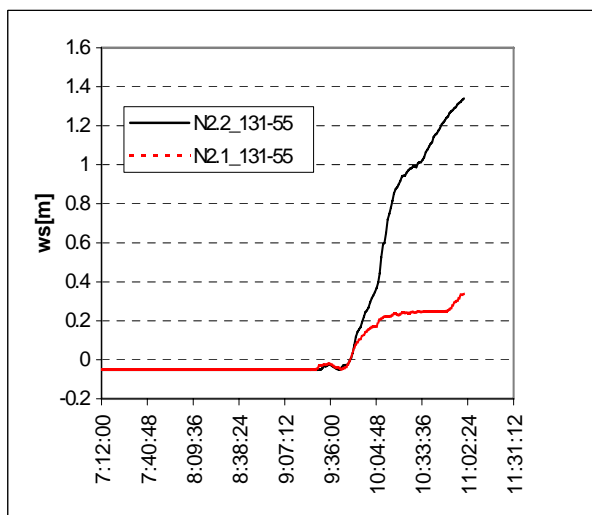
Figuur 15 De berekende waterstanden voor de scenario's N2.1 en N2.2. De twee locaties liggen net vóór het dijkvak 25.



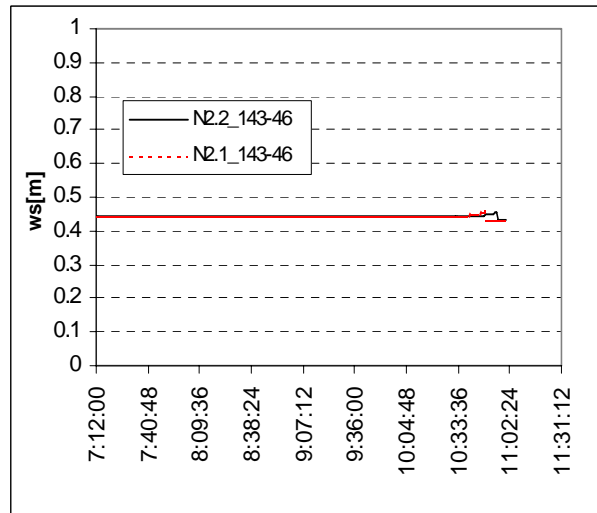
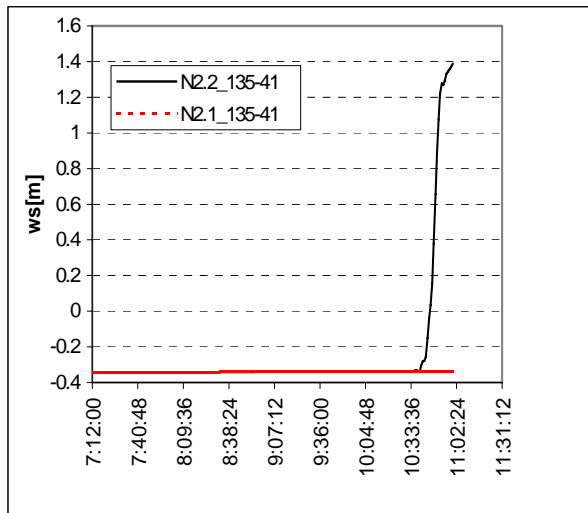
Figuur 16 De berekende waterstanden voor de scenario's N2.1 en N2.2. De twee locaties liggen net vóór het dijktraject 38K-M.



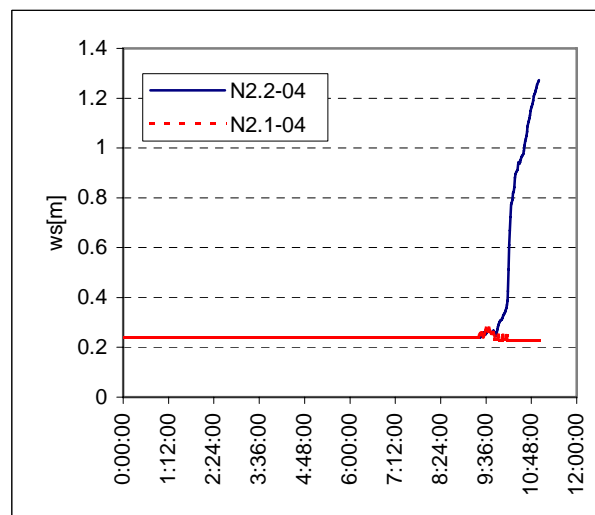
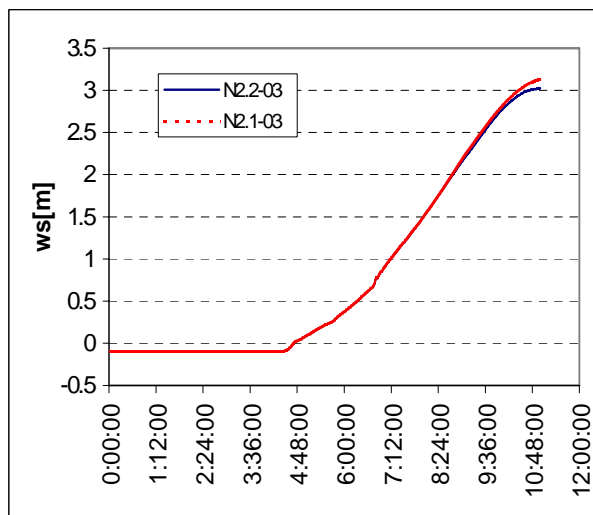
Figuur 17 De berekende waterstanden voor de scenario's N2.1 en N2.2. De twee locaties liggen net achter het dijkvak 26.



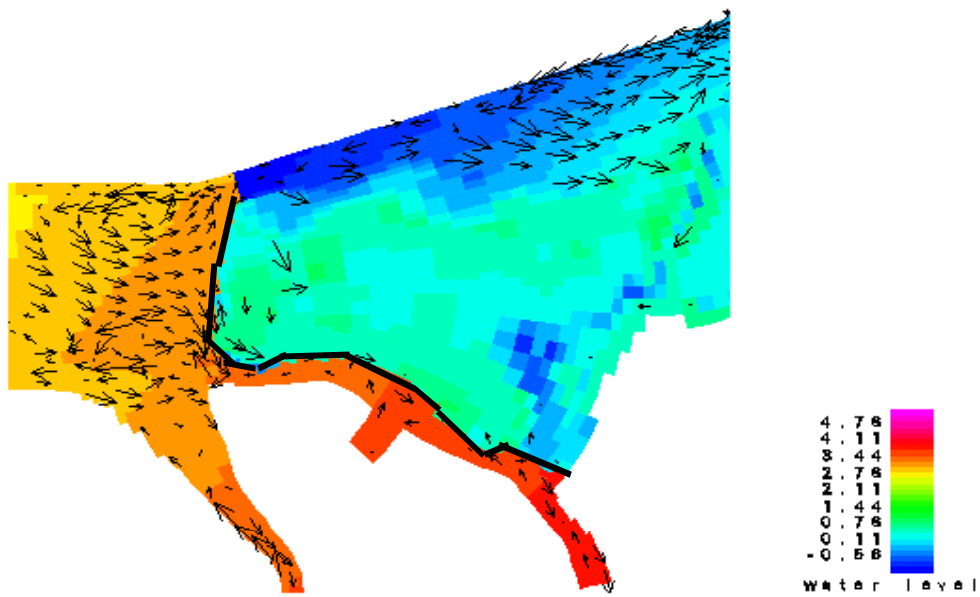
Figuur 18 De berekende waterstanden voor de scenario's N2.1 en N2.2. De twee locaties liggen net achter het dijkvak 25.



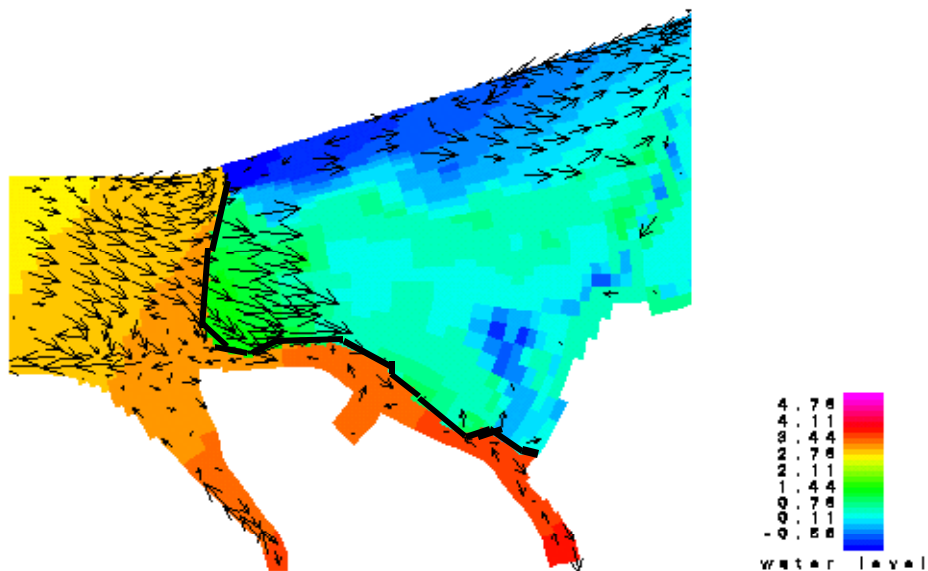
Figuur 19 De berekende waterstanden voor de scenario's N2.1 en N2.2. De twee locaties liggen net achter het dijktraject 38K~M.



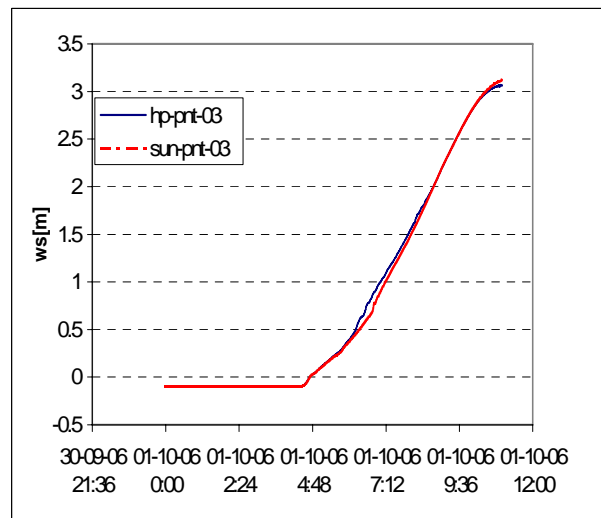
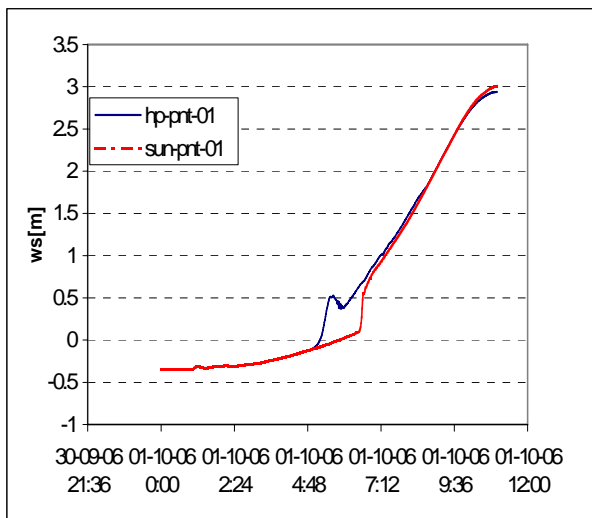
Figuur 20 De berekende waterstanden voor de scenario's N2.1 en N2.2. De locatie nr.03 ligt iets ten westen van het dijkvak 25 en de locatie nr.04 ligt net achter het dijkvak.



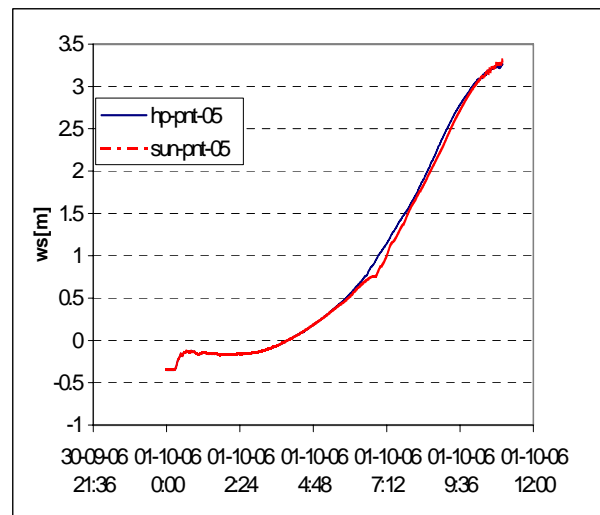
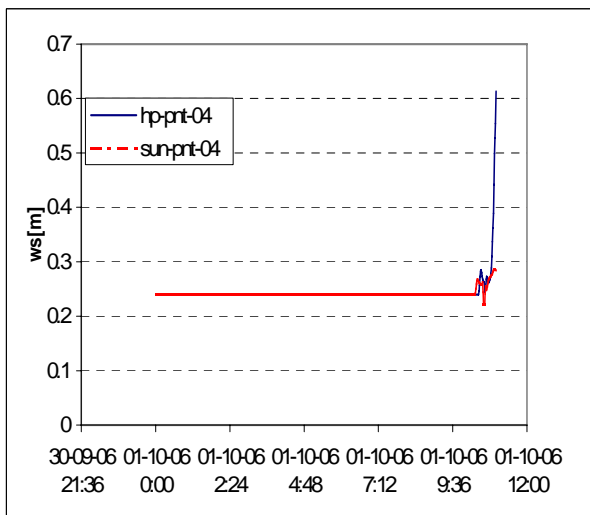
Figuur 21 Het scenario N2.1(defautwaarden voor de overlaat). De ruimtelijke verdeling van de berekende waterstanden en stromingsrichting op het tijdstip 11 uur. De modelberekening wordt op SUN uitgevoerd met de nieuwste versie, waarin het dijktraject tussen de Ramspolkering en IJsselmuiden met de vette, zwarte lijnen wordt weergegeven.



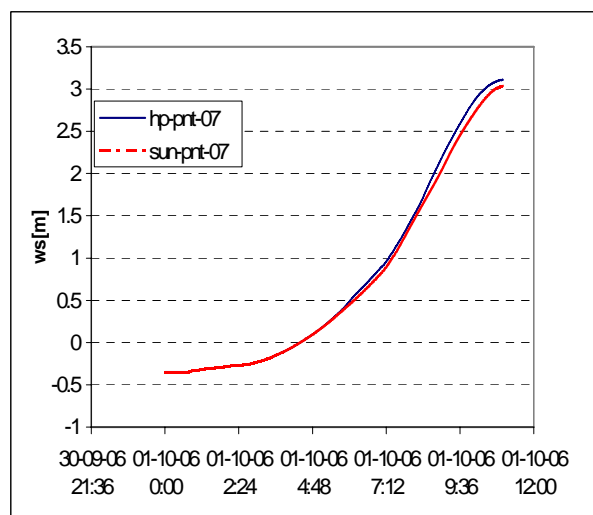
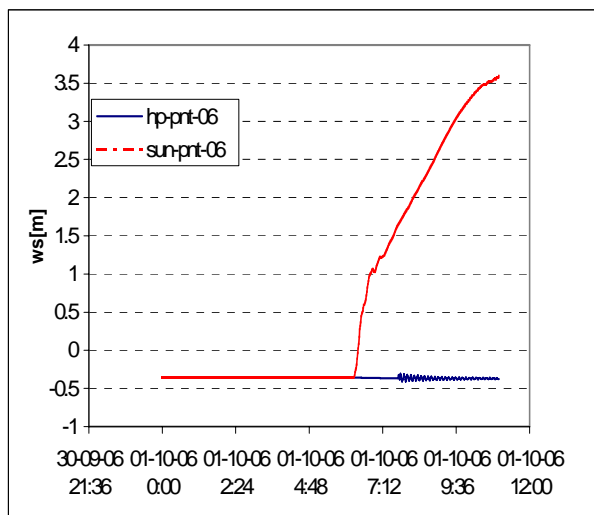
Figuur 22 Het scenario N2.2(advieswaarden voor de overlaat). De ruimtelijke verdeling van de berekende waterstanden en stromingsrichting op het tijdstip 11 uur. De modelberekening wordt uitgevoerd met de nieuwste versie op SUN.



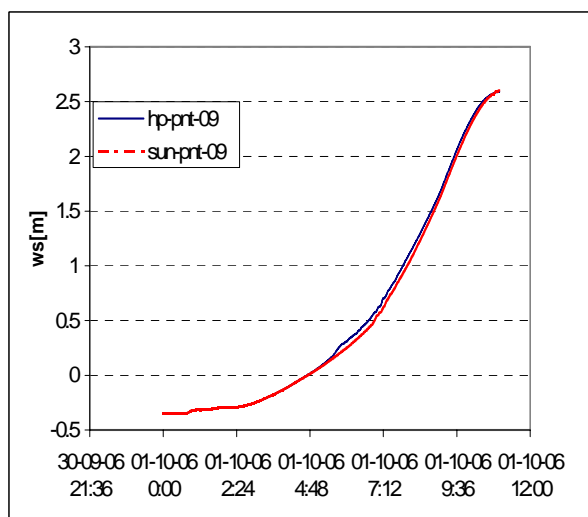
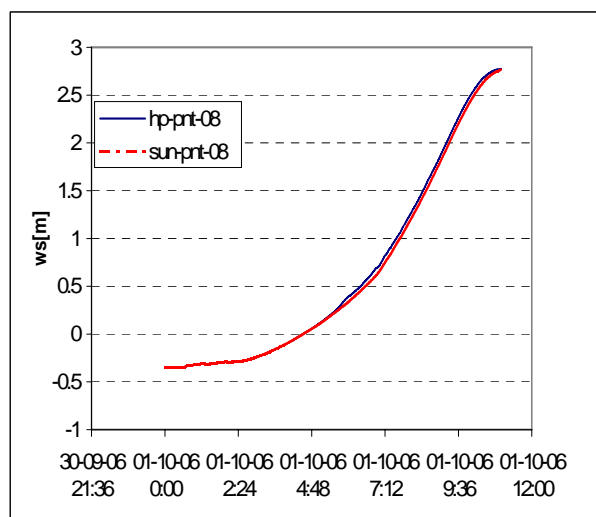
Figuur 23 Vergelijking van de berekende waterstanden tussen de oude en de nieuwste versies. Modelberekeningen zijn uitgevoerd voor de scenario's O1.1(op HP) en N1.1(op SUN). Links: de berekende waterstanden voor de locatie nr 01; rechts: voor de locatie nr.03. De legenda's hebben de volgende betekenis: hp: modelberekening is uitgevoerd op HP machine; sun: modelberekening is uitgevoerd op SUN.



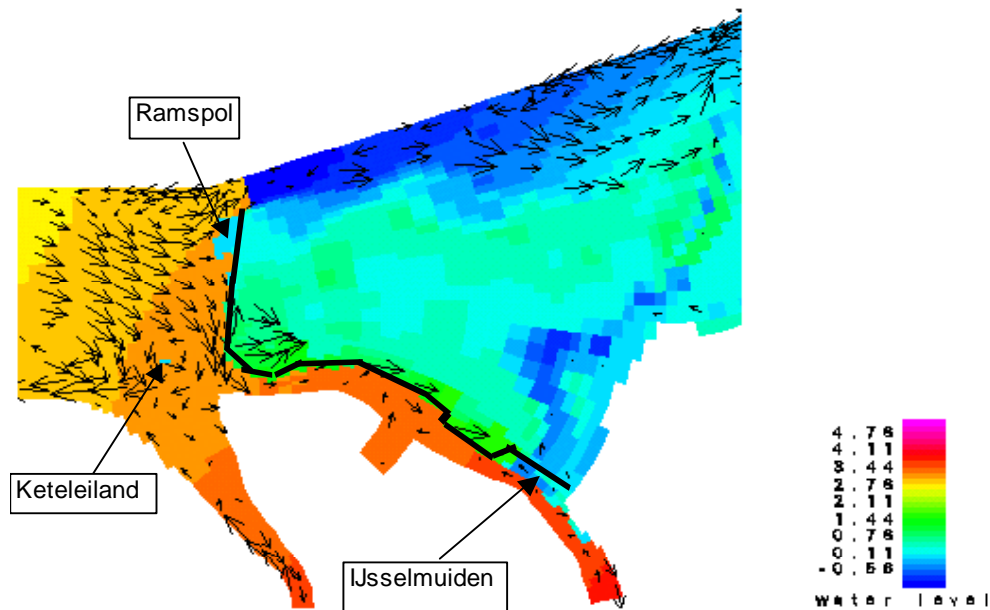
Figuur 24 Vergelijking van de berekende waterstanden tussen de oude en de nieuwste versies (zie ook de ondertitel van figuur 23). Links: de berekende waterstanden voor de locatie nr 04; rechts: voor de locatie nr.05. De legenda's hebben dezelfde betekenis als figuur 23.



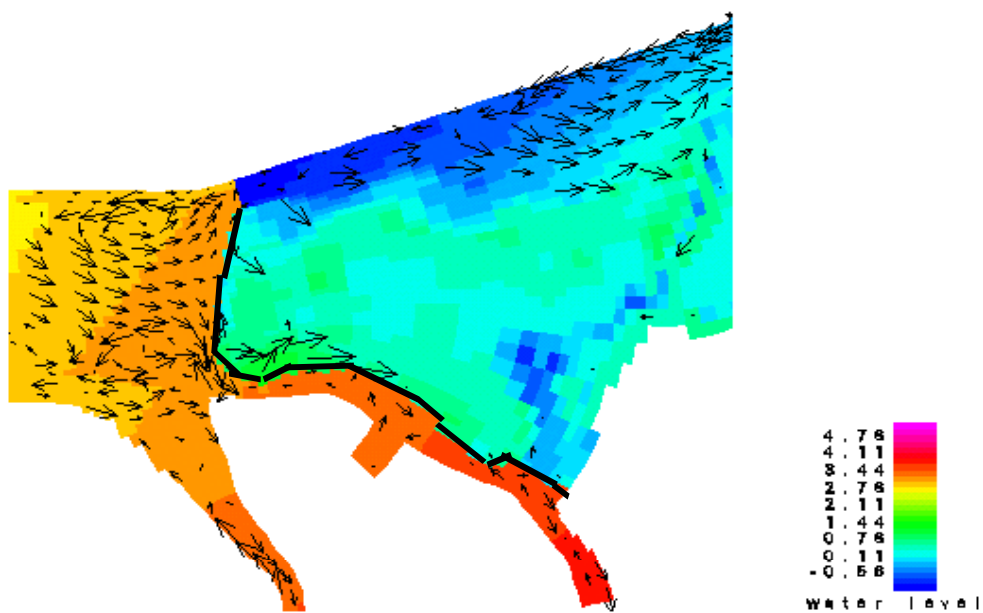
Figuur 25 Vergelijking van de berekende waterstanden tussen de oude en de nieuwste versies(zie ook de ondertitel van figuur 23). Links: de berekende waterstanden voor de locatie nr.0 6; rechts: voor de locatie nr.07.



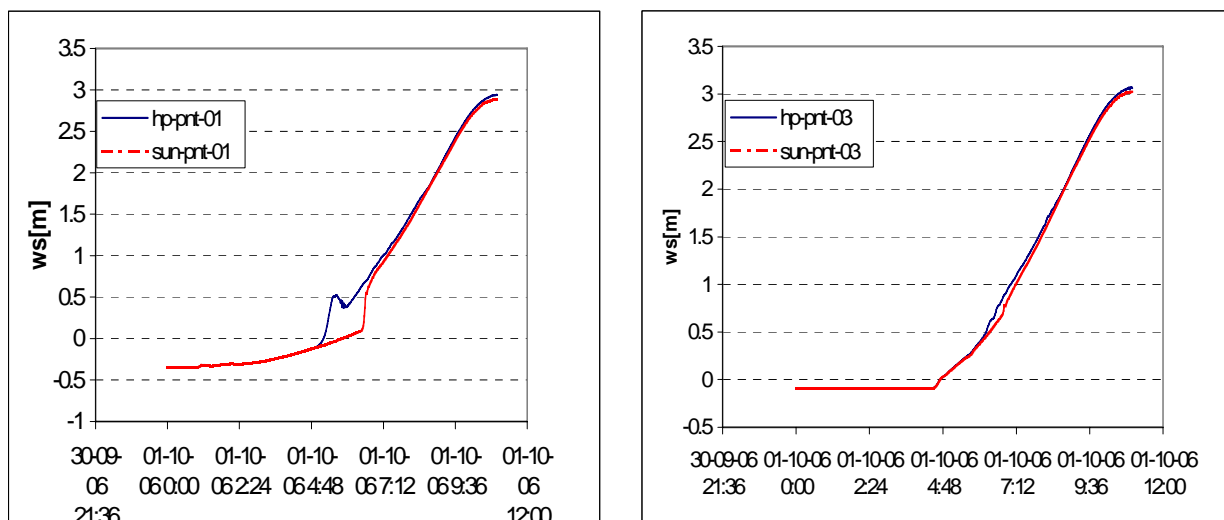
Figuur 26 Vergelijking van de berekende waterstanden tussen de oude en de nieuwste versies(zie ook de ondertitel van figuur 23). Links: de berekende waterstanden voor de locatie nr 08; rechts: voor de locatie nr.09.



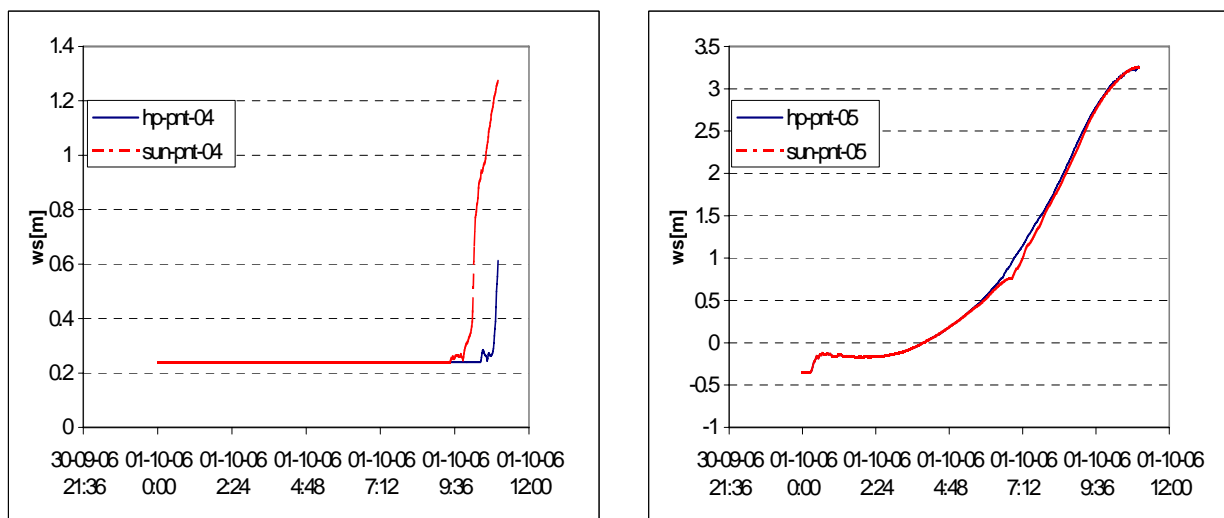
Figuur 27 Het scenario O1.1(defaultwaarden voor de overlaat) van HP berekening. De ruimtelijke verdeling van de berekende waterstanden en stromingsrichting op het tijdstip 11 uur waarbij het dijktraject tussen de Ramspolkering en IJsselmuiden met de vette, zwarte lijnen wordt weergegeven(indicatief). De drie stuk gebieden, die niet worden overstroomd door het model, worden aangeduid met Ramspol, Keteleiland en IJsselmuiden.



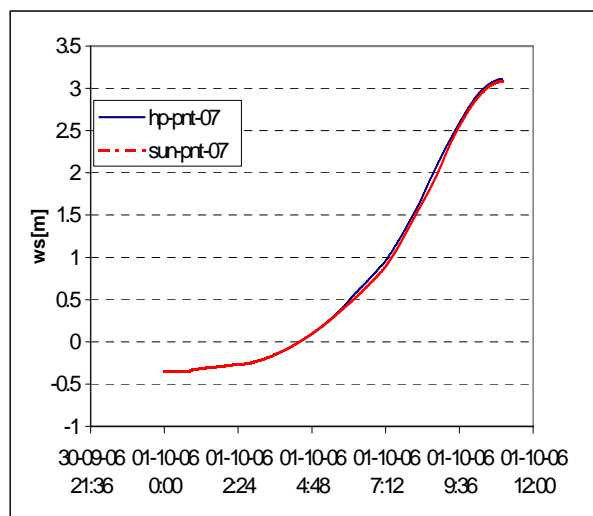
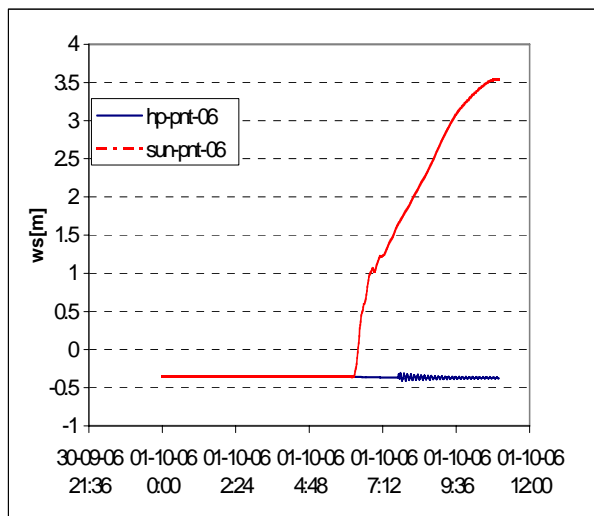
Figuur 28 Het scenario N1.1(defaultwaarden voor de overlaat) van SUN berekening. De ruimtelijke verdeling van de berekende waterstanden en stromingsrichting op het tijdstip 11 uur waarbij het dijktraject tussen de Ramspolkering en IJsselmuiden met de vette, zwarte lijnen wordt weergegeven.



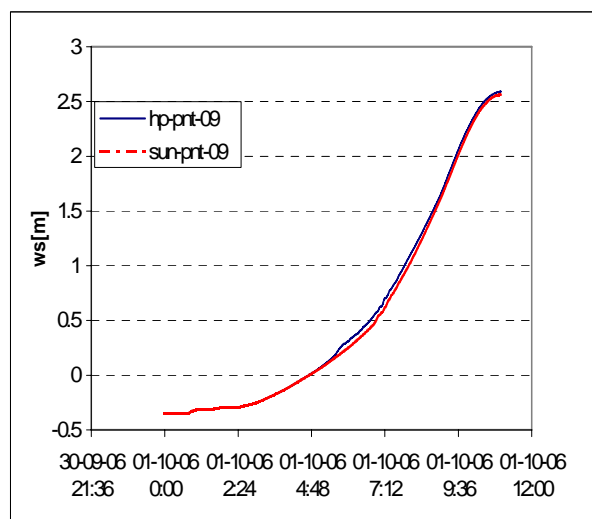
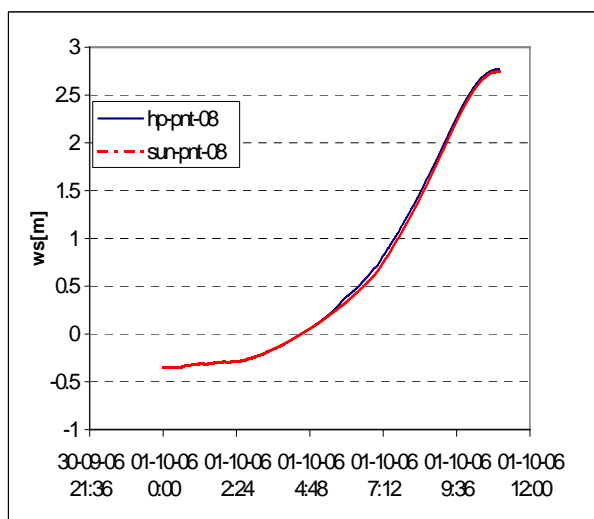
Figuur 29 Vergelijking van de berekende waterstanden tussen de oude en de nieuwste versies. Op HP zijn de modelberekening uitgevoerd voor het scenario O1.1(de oude kruinhoogten en de defaultwaarden voor de overlaat). Op SUN zijn de modelberekeningen uitgevoerd voor N2.2(de nieuwe kruinhoogten en de advieswaarden voor de coëfficiënten van de overlaat). Links: de berekende waterstanden voor de locatie nr 01; rechts: voorde locatie nr.03. Legenda's hebben de volgende betekenis: hp: berekend op HP; sun: berekend op SUN.



Figuur 30 Vergelijking van de berekende waterstanden tussen de oude en de nieuwste versies(zie ook de ondertitel in figuur 27). Links: de berekende waterstanden voor de locatie nr 04; rechts: voor de locatie nr.05. Legenda's hebben dezelfde betekenis als figuur 27.



Figuur 31 Vergelijking van de berekende waterstanden tussen de oude en de nieuwste versies(zie ook de ondertitel in figuur 27). Links: de berekende waterstanden voor de locatie nr 06; rechts: voor de locatie nr.07. Legenda's hebben dezelfde betekenis als figuur 27.



Figuur 32 Vergelijking van de berekende waterstanden tussen de oude en de nieuwste versies(zie ook de ondertitel in figuur 27). Links: de berekende waterstanden voor de locatie nr 04; rechts: voor de locatie nr.05. Legenda's hebben dezelfde betekenis als figuur 27.