



Rijkswaterstaat

Waterloopkundige berekeningen TMR 2006 Benedenrivierengebied

Beschrijving van de waterloopkundige methode

RWS RIZA rapport 2007.017



Rijkswaterstaat

Waterloopkundige berekeningen TMR 2006 Benedenrivierengebied

Beschrijving van de waterloopkundige methode

RWS RIZA rapport 2007.017

Colofon

Dit is een uitgave van Rijkswaterstaat
April 2007

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat
Uitgevoerd door: Ing. H. de Deugd
Druk: Thieme Deventer
Document: RWS RIZA rapport 2007.017
ISBN 978-90-369-1472-7

Inhoudsopgave

Samenvatting 5

1 Inleiding 7

- 1.1 Randvoorwaardenboek 2006 7
- 1.2 Probleembeschrijving 7
- 1.3 Modellerings 8

2 Computerapplicaties 9

- 2.1 PRIS 9
- 2.2 TOF 11

3 Modelschematisatie 13

- 3.1 Geometrieschematisatie en overige instellingen 13
 - 3.1.1 Uitgangssituatie en aanpassingen 13
 - 3.1.2 Projecten 16
 - 3.1.3 Verificatie 16
 - 3.1.4 Bewerkingen 16
- 3.2 Randvoorwaarden 16
 - 3.2.1 Zeeranden 17
 - 3.2.2 Afvoerranden 22
 - 3.2.3 Windveld 24
 - 3.2.4 Lozingen op de Maas 26
 - 3.2.5 Lozingen op Nederrijn/Lek 27
 - 3.2.6 Lozingen op de rest van het gebied 28
- 3.3 Kunstwerken 29
 - 3.3.1 Haringvlietsluizen 29
 - 3.3.2 Stormstuw Hollandsche IJssel 30
 - 3.3.3 Maeslantkering 31
 - 3.3.4 Hartelkering 35
 - 3.3.5 Keersluis Heusdensche Kanaal 38
 - 3.3.6 Stuwen in de Nederrijn/Lek 39
 - 3.3.7 Stuwen in de Maas 41

4 Modelresultaten 43

- 4.1 Gemodelleerde belastingsgevallen 43
 - 4.1.1 Westelijk segment 43
 - 4.1.2 Oostelijk segment 44
 - 4.1.3 Samenhang afvoeren Bovenrijn en Maas 44
- 4.2 Verwerking 45
 - 4.2.1 Uitvoerlocaties 45
 - 4.2.2 Maximale waterstanden 45
 - 4.2.3 Waterstandgrids 46
 - 4.2.4 Sluitfuncties 46
- 4.3 Verificatie 47
 - 4.3.1 Eerste stap 47
 - 4.3.2 Tweede stap 49
- 4.4 Levering 50

5 Conclusies / aanbevelingen 51

Literatuur 53

Bijlage A Schematisatie Aakvlaai 55

Bijlage B Schematisatie noordwaard (NOP variant) 59

Bijlage C Bewerkingen 67

Samenvatting

In de Wet op de Waterkering staat aangegeven dat periodiek (elke 5 jaar) de primaire waterkeringen op veiligheid getoetst dienen te worden. Voor deze toetsing zijn hydraulische randvoorwaarden noodzakelijk. Elke 5 jaar worden nieuwe randvoorwaarden berekend. Deze rapportage beschrijft de waterloopkundige berekeningen en de verificatie daarvan voor het Benedenrivierengebied. Het resultaat is geschikt om opgenomen te worden in Hydra-B, het probabilistische model voor het Benedenrivierengebied.

Opgemerkt wordt dat de hier gerapporteerde waterloopkundige berekeningen uiteindelijk niet zijn gebruikt voor de Hydraulische Randvoorwaarden 2006 (HR2006), maar voor de Thermometerrandvoorwaarden 2006 (TMR2006), die de actuele toestand van het gebied weergeven. De Thermometerrandvoorwaarden kunnen bij het toetsen alleen voor het beheerdersoordeel gebruikt worden.

De standaard modelschematisatie **SOBEK-NDB1_1_0** vormde het uitgangspunt. Enkele onderdelen van deze modelschematisatie zijn geactualiseerd en verbeterd. Dit zijn de vervanging van het gedeelte Nieuwe Merwede, Beneden Merwede en Brabantse Biesbosch door een recentere geometrie, de uitbreiding van het geschematiseerde gebied stroomopwaarts van de Lek tot IJsselkop, van de Waal tot Pannerdense Kop en van de Maas tot Mook en tenslotte de opname van het Project Noordwaard (NOP-variant). Het resultaat wordt **SOBEK-RVB3_1_0** genoemd.

Voor het probabilistische model Hydra-B is een groot aantal waterloopkundige berekeningen noodzakelijk, namelijk voor combinaties van diverse stormsituaties op zee met diverse afvoerniveaus van de bovenrivieren, met lokale windvelden met diverse windsnelheden en diverse windrichtingen en met de beheerstoestand van de Maeslant- en Hartelkering (open respectievelijk gesloten). In totaal zijn er voor 6.768 belastingscombinaties waterloopkundige berekeningen uitgevoerd

Het doorrekenen van waterloopkundige berekeningen is geautomatiseerd. Het Probabilistisch Reken Interface **SOBEK (PRIS)** genereert de modelrandvoorwaarden en besturing van de kunstwerken en reguleert de waterloopkundige (**SOBEK**) berekeningen. Het systeem Tijdelijke Opslag Fysische grootheden (**TOF**) selecteert en herleidt de gewenste informatie uit de berekeningsresultaten en slaat deze tijdelijk op in een geschikt format.

De berekende waterstandsreeksen zijn voor iedere belastingscombinatie en voor elke uitvoerlocatie op de as van de rivier verwerkt tot maximale waterstanden. Bovendien zijn de resultaten per belastingscombinatie herleid tot waterstandgrids van maximale

waterstanden, waaruit informatie afgeleid is voor de oeverlocaties van de riviersystemen. Uit de maximale waterstanden van de rekenlocaties Rotterdam en Dordrecht zijn de sluitfuncties voor de Maeslant- en Hartelkering afgeleid, die eveneens nodig zijn voor Hydra-B. De maximale waterstanden van as- en oeverlocaties en de sluitfuncties zijn geschikt voor opname in Hydra-B en vormen de basis van de TMR2006.

Voor de verificatie zijn met dezelfde modelschematisatie waterstanden voor 54 belastingcombinaties berekend met het **PRIS** en de **TOF**. Deze resultaten zijn vergeleken met resultaten van berekeningen voor het Randvoorwaardenboek 2001 (HR2001) en met het uiteindelijke resultaat van de berekeningen met HYDRA-B (TMR2006). De verificatie leidt tot de conclusie dat de modelresultaten acceptabel en op betrouwbare wijze berekend zijn. Aanbevelingen worden gedaan ten aanzien van de modellering van de waterbeweging, registratie van waarnemingen voor zeerand Maasmond en de optimalisatie van het aantal belastingsgevallen.

1. Inleiding

1.1 Randvoorwaardenboek 2006

In de Wet op de Waterkering staat aangegeven dat de minister van Verkeer en Waterstaat elke vijf jaar hydraulische randvoorwaarden publiceert ten behoeve van het toetsen van de veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland. De hydraulische randvoorwaarden, het laatst vastgesteld in 2001, zijn gepubliceerd in het 'Randvoorwaardenboek 2001'. In 2006 dient hiervan de volgende versie te verschijnen, het 'Randvoorwaardenboek 2006'.

Het actualiseren van het Randvoorwaardenboek wordt gerealiseerd in het project 'Hydraulische Randvoorwaarden 2006'. Opdrachtgever is DGW en opdrachtnemer de Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW) te Delft. De DWW op haar beurt is weer opdrachtgever voor het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) voor wat betreft de hydraulische randvoorwaarden voor de zoute wateren en het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA) voor de zoete.

Deze rapportage maakt deel uit van de reeks rapporten voor de zoete wateren en beschrijft alleen de waterloopkundige modelberekeningen voor het Benedenrivierengebied. Het vormt daarmee een onderliggende document van het achtergrondrapport HR2006 voor de Benedenrivieren [lit. 22]. Het resultaat van deze berekeningen vormt de basis voor de verdere verwerking met **HYDRA-B** tot hydraulische belastingen, hetgeen in een ander deelrapport [lit. 1] beschreven wordt.

Het Benedenrivierengebied is een van de zoete watersystemen die in de Wet op de Waterkering worden aangemerkt als primaire gevaarbron. Andere zoetwatersystemen zijn het Bovenrivierengebied van de Maas en Rijn, de IJsseldelta, de Overijsselse Vecht en het IJsselmeergebied.

1.2 Probleembeschrijving

Voor de toetsing van de primaire waterkeringen zijn nieuwe hydraulische randvoorwaarden nodig. De hydraulische randvoorwaarden voor het Benedenrivierengebied zijn het resultaat van een probabilistisch rekenproces. Dit proces vereist het modelleren van vele belastingcombinaties, omdat de (hoog)waterstanden in het Benedenrivierengebied bepaald worden door combinaties van (storm) vloedstanden op zee, afvoergolven van de bovenrivieren Rijn en Maas, het lokale windveld in het gebied en de beheerssituatie van de kunstwerken.

In een vrij laat stadium van het project (eind 2006) is bij de bestuurlijke besluitvorming over de vaststelling van de nieuwe HR (voor het Benedenrivierengebied) de keuze gemaakt om Hydraulische

Randvoorwaarden van de vorige editie te handhaven. De Hydraulische Randvoorwaarden 2006 zijn (op een kleine aanpassing na) gelijk aan die van 2001.

De HR2006 zijn dus gebaseerd op de waterloopkundige berekeningen van 2001 [lit. 2]. De hier beschreven waterloopkundige berekeningen zijn verwerkt tot Thermometerrandvoorwaarden 2006, die niet beschikbaar worden gesteld voor de toetsing van de waterkeringen maar alleen ten behoeve van een beheerdersoordeel gebruikt kunnen worden.

1.3 Modelling

Met het wiskundig, ééndimensionale waterbewegingsmodel **SOBEK** zijn de gedefinieerde belastingsgevallen doorgerekend. Voor deze toepassing is het **PRIS** en **TOF** ontwikkeld. Het Probabilistisch Reken Interface **SOBEK** en Tijdelijke Opslag Fysische grootheden zijn een samenstel van bestaande en voor dit doel ontwikkelde computerapplicaties (-programma's). De werking van de applicaties is in hoofdstuk 2 globaal behandeld.

De basis voor de waterloopkundige modelberekeningen vormt de modelschematisatie van het Benedenrivierengebied (Noordelijk Deltabekken). De modelschematisatie **SOBEK-NDB** bestaat uit een beschrijving van de geometrie, randvoorwaarden en kunstwerken. In hoofdstuk 3 zijn geometrie en schematisatie aanpassingen, keuzes van de randvoorwaarden voor de gemodelleerde belastingsgevallen en het beheer van de kunstwerken in de toegepaste modelschematisatie beschreven.

In hoofdstuk 4 zijn de uitgevoerde modelberekeningen en –resultaten besproken. De modelresultaten zijn met het **TOF** verwerkt tot ruimtelijk verdeelde hoogwaterstanden bij een zekere belastingscombinatie. Dit tussenresultaat voor de thermometer randvoorwaarden is geverifieerd en aan HKV_{LIJN IN WATER} opgeleverd voor verdere verwerking met het belastingmodel **HYDRA-B**.

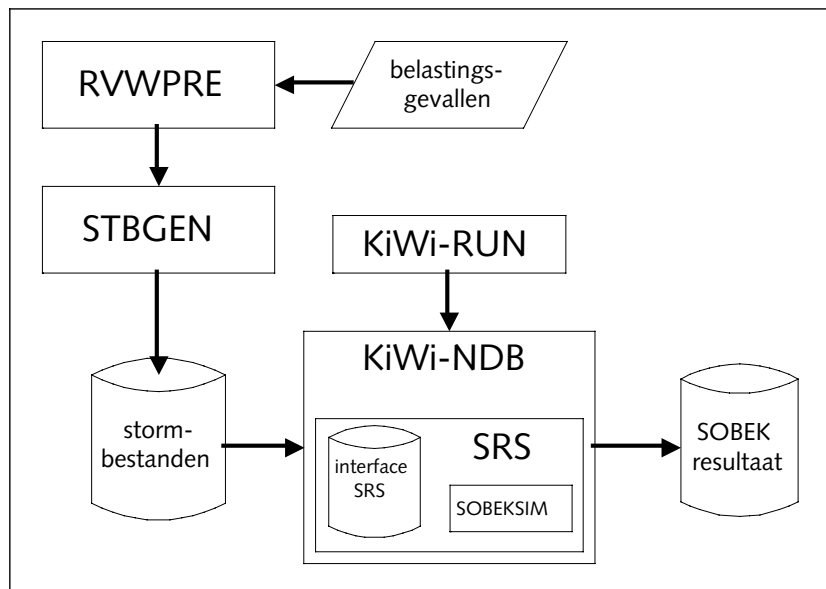
2. Computerapplicaties

De fysische berekeningen van de waterbeweging onder diverse omstandigheden in het Benedenrivierengebied voor de thermometerrandvoorwaarden zijn uitgevoerd met SOBEK (SOBEK-RE versie 2.50.041 en SOBEKSIM versie 2.118). **SOBEK** is een wiskundig computermodel dat waterstanden en debieten berekent in een ééndimensionaal geschematiseerd netwerk van open waterlopen. De diverse omstandigheden die de waterstanden en stroomsnelheden in het gebied bepalen zijn (hoog)waterstanden op zee, het afvoerniveau van de bovenrivieren, het lokale windveld, lozingen of onttrekkingen en de beheerssituatie van de kunstwerken in het gebied. De zee- en afvoerrandvoorwaarden en de windsnelheid en –richting van het lokale windveld worden beschouwd als stochastische variabelen, die bij een zekere combinatie een bepaald belastingsgeval vormen. De discrete keuzes van de stochastische variabelen, die uiteindelijk de modelrandvoorwaarden beschrijven, leiden tot een veelheid van door te rekenen belastingsgevallen. De automatisering van dit probabilistisch rekenproces is gerealiseerd door het **PRIS** en **TOF** [lit. 3].

2.1 PRIS

Het **PRIS** staat voor **P**roBABilistisch **R**eken **I**nterface **S**OBEK en is een samenstel van een aantal (samenhangende) computerapplicaties [lit. 3]. Figuur 2.1 geeft een schematische weergave van dit systeem.

Figuur 2.1
Het **PRIS**-systeem



De applicatie **RVWPRE** converteert de opgegeven tabel met diverse door te rekenen belastingsgevallen naar een invoerbestand voor de randvoorwaardengenerator **STBGEN**.

Een belastingsgeval wordt gekarakteriseerd door gekozen waarden van stochastische variabelen en de toestandspaarparameter van de Maeslant- en Hartelkering. De stochastische variabelen zijn de afvoer van de Bovenrijn te Lobith, de stormtop op zee (geparameteriseerd door de maximale stormopzethoogte, de stormopzetduur én de fase astronomisch hoogwatertop en maximale stormopzet), maximale windsnelheid van het lokale windprofiel en de windrichting. De toestandspaarparameter geeft aan of de Maeslant- en/of Hartelkering gesloten (bestuurd) dienen te worden dan wel gedurende de berekening, ondanks de stormvloed geopend blijven.

De applicatie **STBGEN** genereert voor elk aangeboden belastingsgeval een zogenaamd stormbestand met randvoorwaardenreeksen voor het waterstandsverloop in de tijd ter plaatse van Maasmond en HA10-paal aan de buitenzijde van de Haringvlietsluizen, de afvoerniveaus bij IJsselkop (Lek), Pannerdense Kop (Waal) en Mook (Maas) en het verloop van de windsnelheid en -richting in de tijd, zoals die respectievelijk in de paragrafen 3.2.1, 3.2.2 en 3.2.3 beschreven worden.

Het stormbestand vormt de invoer voor **KiWi-NDB**, de beslismodule die het mogelijk maakt in combinatie met **SOBEKSIM** en **SRS** de waterbeweging in het Benedenrivierengebied (Noordelijk Deltabekken) in stormsituaties te simuleren.

SOBEKSIM is het rekenhart van **SOBEK**. Deze applicatie berekent uitgaande van opgegeven randvoorwaarden de waterbeweging in het beschouwde modelgebied en wordt door **SRS** aangestuurd.

SRS staat voor **S**chil **R**ond **S**obek en stuurt het **SOBEK**-model aan. Naast het opstarten en bewaken van de berekening, zorgt de applicatie onder andere voor het samenstellen van de zee-, afvoer- en windrandvoorwaarden en de besturingsreeksen van de Maeslant- en Hartelkering en het invullen van deze reeksen in de modelschematisatie. De randvoorwaardenreeks voor de noordgeul aan de buitenzijde van de Haringvlietsluizen wordt door **SRS** afgeleid uit die van de HA10-paal door een faseverschuiving (20 minuten later). De afvoerafhankelijke openingen van de Haringvlietsluizen volgens het beheersprogramma LPH-'84 worden telkens voor een spuiperiode ook door **SRS**, zoals aangegeven in § 3.3.1, bepaald.

SRS selecteert informatie voor de opbouw van de randvoorwaarden- en besturingsreeksen uit het **Interface SRS**, een database waarin naast de informatie van het beslismodule ook de informatie van het stormbestand is opgeslagen. Bovendien bevat deze database eigenschappen van de keringen, zoals open- en sluitsnelheden, lekopeningen, kerende hoogten, initiële breedten, hefhoogten en drempelhoogten etc. **SRS** wordt door **KiWi-NDB** aangestuurd.

KiWi-NDB staat voor **K**eringsprocedures voor **W**aterbewegingsmodellen in het **N**oordelijk **D**eltabekken en is de beslismodule voor de besturing van de stormvloedkeringen Maeslant-

en Hartelkering. De applicatie bevat de keringsprocedures, waarin de beslisregels, de sluitstrategieën en –criteria, zoals beschreven in de paragrafen 3.3.3 en 3.3.4, zijn vastgelegd en voert deze uit. Tijdens de berekeningsperiode van een belastingsgeval (stormperiode) wordt telkens **SOBEKSIM** via **SRS** aangestuurd om verwachtingen van de waterbeweging te laten uitrekenen. De verwachte waterbeweging wordt geëvalueerd, op grond waarvan de module een beslissing neemt voor de besturing van de keringen. Met de gerealiseerde besturing van de keringen wordt de uiteindelijke waterbeweging uitgerekend.

Aangezien de genomen beslissingen invloed hebben op het verdere verloop van de waterbeweging is het niet mogelijk de gehele berekeningsperiode in één keer door te rekenen, waardoor het uiteindelijke resultaat per locatie bestaat uit meerdere deeltijdreeksen die aan elkaar gekoppeld worden tot één reeks per rekenlocatie in een **SOBEK**-resultatenbestand.

KiWiRUN is een gereedschap om berekeningen met **KiWi-NDB** van grote sets belastingsgevallen automatisch uit te voeren. De **KiWi-NDB**-runs kunnen optioneel hetzij sequentieel of parallel in gekozen (dal) uren op een UNIX-platform uitgevoerd worden.

2.2 TOF

TOF staat voor **T**ijdelijke **O**pslag **F**ysische grootheden [lit. 3]. Deze applicatie heeft als belangrijkste functie om berekeningsresultaten uit het **SOBEK**-resultatenbestand van een zeker belastingsgeval (een randvoorwaardencombinatie) te converteren naar een tijdelijke opslagstructuur ten behoeve van de definitieve opslag met **RAND2001** in Microsoft Access database, de invoerdatabase voor het belastingsmodel **HYDRA-B**. Bij deze functie gaat het om locaties ter plaatse van de as van de rivier. Het database-management (inlezen en controle) geschiedt met **RAND2001**. Een tweede functie is het vullen van een tweedimensionaal waterstandgrid van elk belastingsgeval op basis van het ééndimensionaal berekeningsresultaat ten behoeve van hoogwaterstands-informatie aan de oevers van de rivier.

Voor ieder belastingsgeval worden op alle uitvoerlocaties resultaatparameters bepaald en tezamen met de karakteristieken van het betreffende belastingsgeval en de ligging (Parijse coördinaten t.o.v. RD) van de uitvoerlocatie in een zogenaamde FIF- (Flexible Interface File, **DONAR**-opslagstructuur) structuur opgeslagen. De uitvoerlocaties zijn op gehele kilometterraaien van de riviertakken gelegen. De parameters die worden bepaald zijn parameters gerelateerd aan de maximale waterstand, aan de maximale windsnelheid en aan beide [lit. 3]. Het verloop in de tijd van de waterstanden ter plaatse van de uitvoerlocaties is eventueel, als het geen rekenlocatie is, gegenereerd door lineaire interpolatie van de berekende waterstandsverlopen in de tijd uit omliggende rekenlocaties. De parameters worden binnen een instelbaar tijdvenster uit de geïnterpoleerde, berekende resultaatreeksen gezocht.

Optioneel kan een tweedimensionaal waterstandgrid berekend worden. Bij iedere rekenlocatie wordt een dwarsraai gedefinieerd. De waterstand langs de dwarsraai wordt door TOF berekend uitgaande van de maximale hoogwaterstand van de rekenlocatie. Hierbij wordt desgewenst het dwarsverhang in rekening gebracht. De berekening van het dwarsverhang wordt met behulp van een formule uit de TAW-leidraad uitgevoerd en aangenomen wordt dat het windverhang kantelt om de rekenlocatie op de as van de rivier. De raaien worden vervolgens geïnterpoleerd in Arc/Info tot het gedefinieerde waterstandgrid.

3. Modelschematisatie

De modelschematisatie van het Benedenrivierengebied (Noordelijk Deltabekken) bestaat enerzijds uit dynamische informatie, zoals de randvoorwaarden en besturing van de kunstwerken en anderzijds uit statische data, zoals de schematisatie van de geometrie en diverse parameters (instellingen). De randvoorwaarden variëren in de tijd en/of per berekening. De besturing van kunstwerken is tijdens een berekening afhankelijk van de momentaan optredende hydraulische situatie. De geometrieschematisatie en overige instellingen zoals, stuur- en rekenparameters zijn voor alle berekeningen constant.

3.1 Geometrieschematisatie en overige instellingen

Het stelsel rivieren van het Noordelijk Deltabekken (NDB) is geschematiseerd tot een netwerk van takken en knopen. In de takken worden de bodemligging, stroomvoerende en bergende profielen, de hydraulische ruwheid en ten behoeve van de zoutbeweging de dispersie gedefinieerd. Dit vormt tezamen met de informatie van de kunstwerken, zoals ligging, afmetingen en verliescoëfficiënten, de geometrieschematisatie.

De overige instellingen bestaan uit de numerieke parameters, tijdstellingen, zoals rekentijdstap en –periode, definitie van het ruimtelijke rekengrid en gewenste informatie voor de uitvoerrapporten van berekende grootheden in tijd en ruimte.

De modelschematisatie versie **SOBEK-NDB1_1_0** [lit. 4] vormt het uitgangspunt voor de berekeningen. In deze modelschematisatie zijn enkele onderdelen aangepast. Voor toepassing in het **PRIS** dient de modelschematisatie enkele bewerkingen te ondergaan. Dit wordt hieronder toegelicht.

De uiteindelijke modelschematisatie, die voor deze berekeningen is toegepast, staat bekend onder versie **SOBEK-RVB1_3_0**.

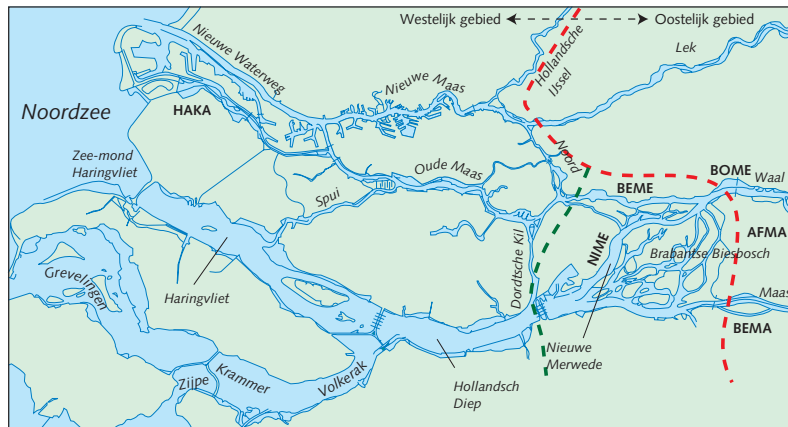
3.1.1 Uitgangssituatie en aanpassingen

De toegepaste modelschematisatie is gebaseerd op het **SOBEK**-model welk in het najaar van 2002 beschikbaar is gekomen onder de naam **NDB1_1_0**. Deze versie is de opvolging van **NDB1_0_0** [lit. 5], die voor het Randvoorwaardenboek 2001 is toegepast. In het model **NDB1_1_0** is de zoutbeweging geoptimaliseerd. De wijzigingen ten opzichte van **NDB1_0_0** zitten hoofdzakelijk in de dispersiefactoren en op enkele trajecten in de ruwheden ter verbetering van de restdebieten. De nauwkeurigheid van de waterstanden is nauwelijks veranderd.

In de modelschematisatie zijn ten behoeve van de waterloopkundige berekeningen voor deze thermometer randvoorwaarden aanpassingen aangebracht. Voor de beschrijving van en de aanpassingen in de modelschematisatie wordt onderscheid gemaakt tussen westelijk en

oostelijk gebied (zie figuur 3.1). De grens tussen oostelijk en westelijk is de denkbeeldige lijn Krimpen aan de Lek, Werkendam-splitsingspunt en Keizersveer (in de figuur met een rode stippellijn aangegeven). In het westelijk gebied is het gebied rondom Eiland van Dordrecht en Biesbosch ook onderscheidenlijk. In de figuur is dit gebied gelegen tussen de groene en de rode stippellijn.

Figuur 3.1
Modelgebied



Westelijk gebied

In het westelijk gebied zijn geen aanpassingen doorgevoerd. Uit verificatieberekeningen [lit. 6] blijkt de reproductie van de waterstanden in dit deel van het Benedenrivierengebied nog steeds te voldoen aan gestelde nauwkeurigheidseisen.

Vanwege de open Beerdam, een directe open verbinding sinds 1997 tussen het Hartelkanaal en de Noordzee, is de bodemligging in het Hartelkanaal op enkele plaatsen lokaal aanzienlijk veranderd [lit. 7]. In 2000 is de bodemligging van het Hartelkanaal in het Sobek-model NDB1_0_0 nog aangepast aan de hand van lodingen uitgevoerd een jaar na de opening.

De veranderde bodemligging zal lokaal op de debieten in het Hartelkanaal effect hebben, maar op de (hoog)waterstanden zijn de effecten marginaal. Omdat het bij deze berekeningen feitelijk alleen om hoogwaterstanden gaat is de schematisatie van het Hartelkanaal niet aangepast.

Oostelijk gebied

Bovenstrooms van Krimpen aan de Lek en Werkendam (splitsingspunt, kilometerraai 961) zijn resp. de Lek en Waal vervangen en uitgebreid door gedeelten van het SOBEEK-Rijn model [lit. 8] en bovenstrooms Keizersveer is de Bergsche Maas vervangen en uitgebreid met SOBEEK-Maas [lit. 9]. De bovenranden van het model liggen nu op de Nederrijn bij IJsselkop (kiloterraai 878,59), op de Waal bij Pannerdensche Kop (kiloterraai 867,06) en op de Maas bij Mook (kiloterraai 265.8). De SOBEEK schematisatie van deze takken is gebaseerd op dezelfde Baseline bestanden, welke samengesteld zijn voor de bouw van de WAQUA-modellen van Rijn en Maas, die toegepast zijn voor de Themometerrandvoorwaarden 2006.

Voor extreem hoge afvoerniveaus, Maas vanaf 2800 m³/s en Rijn van 10000 m³/s, zijn de riviertakken gekalibreerd op basis van genoemde WAQUA-modellen [lit. 10].

Gebied rond Eiland van Dordrecht en Biesbosch

In de SOBEK-NDB-schematisatie (versie NDB1_0_0 en versie NDB1_1_0) is een probleem bij sterke zijdelingse uitbreidingen in de stroomvoering, zoals bij uiterwaarden. De oorzaak van het probleem ligt in de wijze van schematiseren van de profielen. Sterk zijdelingse uitbreidingen zijn niet in een aparte subsectie maar als één geheel in de mainsectie geschematiseerd, met het gevolg dat, als waterstanden het niveau van de zijdelingse uitbreiding bereiken er een ongewenste toename van de hydraulische weerstand ontstaat, hetgeen een verhogend effect heeft op de waterstanden. Dit probleem is acuut als bij kalibraties de waterstanden onder het niveau van de zijdelingse uitbreiding blijven en standen bijvoorbeeld behorend bij toetspeilen hoger liggen. Een overschatting is dan het gevolg. Uit onderzoek blijkt het probleem het grootst op het bovenstroomse gedeelte van de Nieuwe Merwede [lit. 11].

In 2001 is een pilot-project uitgevoerd om Baseline toe te passen in het Benedenrivierengebied. Dit project heeft een nieuw stuk geometrie schematisatie opgeleverd van de Nieuwe Merwede, Beneden Merwede met Sliedrechtse Biesbosch, het Wantij, de Brabantse Biesbosch, een gedeelte van het Hollandsch Diep (bovenstrooms Moerdijkbruggen), Zuid-Maartensgat, de Amer en een gedeelte van de Bergsche Maas (benedenstrooms Keizersveer) [lit. 12]. Deze nieuwe schematisatie is ingebouwd, gekalibreerd en geverifieerd [lit. 6] om genoemd probleem op te lossen.

Van de aanwezige kunstwerken in de modelschematisatie: de Haringvlietsluizen, de stormstuw Hollandsche IJssel, de Maeslant- en Hartelkering, de keersluis Heusdensch Kanaal worden het doel, de eigenschappen en het beheer, alsmede de implementatie in het model in § 3.3 nader beschouwd. Enkele relevante geometrische aspecten van de schematisatie van de kunstwerken worden vanwege de leesbaarheid bij de aansturing van het betreffende kunstwerk ook in § 3.3 nader behandeld.

Het beheer van de Maeslant- en Hartelkering is afhankelijk van eventueel optredende seiches, die in dit model niet gemodelleerd kunnen worden. Onderzoek heeft aangetoond dat het effect van het beheer op de toetspeilen (MHW's) in het gebied achter de keringen niet significant is [lit. 13]. In het gebied aan de buitenzijde van de keringen zijn de seiches als aparte toeslag op de toetspeilen verwerkt. De modellering van de stuwen op de Maas (Grave en Lith) en Nederrijn/Lek (Driel, Amerongen en Hagestein) is vastgelegd in [Lit. 14] en komen ook aan de orde in § 3.3.

De numerieke parameters en de rekentijdstep zijn t.o.v versie NDB1_0_0 niet meer aangepast. De rekentijdstep is 10 minuten en de ruimtestap is niet constant: in het westelijke deel is de ruimtestap maximaal circa 1.000 m en in het oostelijke deel (Lek, Waal en Maas) circa 500 m. De te berekenen periode van 2 januari 1991 00:00 uur tot 17 januari 1991 12:00 uur is fictief gekozen en wordt via het **PRIS** ingesteld. Aan de gewenste informatie voor de uitvoerrapporten van berekende grootheden in tijd en ruimte worden eisen gesteld. Dit komt onder andere bij de bewerkingen in § 3.1.3 aan de orde.

3.1.2 Projecten

Vanuit de “thermometergedachte” zijn projecten en maatregelen welke op een bepaalde peildatum (december 2003) uitgevoerd zijn in de modelschematisatie ingebouwd. Dit geldt hoofdzakelijk voor het westelijk gedeelte van het model, benedenstrooms Krimpen a/d Lek, Werkendam-splitsingspunt en Keizersveer. De projecten Aakvlaai (Biesbosch) en Dombosch (Bergsche Maas) waren op de peildatum gereed. Het geringe effect op de toetspeilen (enkele mm.) van het project Dombosch en de benodigde inspanning om het in te bouwen vormen de aanleiding dat dit project niet in het model is ingebouwd. Het project Aakvlaai is wel in het model ingebouwd. De details van de schematisatie en inpassing in het model zijn weergegeven in bijlage A. De NOP variant van de Noordwaard is nog niet gereed, maar vanwege het vergevorderde stadium wel in het model ingebouwd. Details hiervan zijn opgenomen in bijlage B.

3.1.3 Verificatie

Een verificatie van het model is uitgevoerd voor het jaar 2004 [lit. 6]. De conclusie luidt dat op de meeste plaatsen en onder de meeste omstandigheden aan de gestelde nauwkeurigheid wat betreft de reproductie van de waterstanden voldaan wordt. Voor de meeste stations is er wel een toenemende trend waar te nemen in de afwijking tussen berekening en meting.

Er is ook een vergelijking gemaakt met het toegepaste model voor HR2001 (NDB1_0_0) [lit. 23]. Uit deze vergelijking blijkt dat de grootste veranderingen in waterstanden plaats vinden op de Bovenrivieren. Met name bij een afvoergolf van 16.000 m³/s van de Bovenrijn worden over het algemeen lagere waterstanden berekend. De afvoerverdeling komt beter met metingen overeen, enerzijds door vernieuwing van de schematisatie rond het Eiland van Dordrecht en Biesbosch en anderzijds als gevolg van de kalibratie op de zoutbeweging.

3.1.4 Bewerkingen

Het systeemonderdeel SRS van de computerapplicatie **PRIS** stelt eisen aan de modelschematisatie. Deze eisen hebben enerzijds betrekking op de versie van het toe te passen SOBEK-UI om de modelschematisatie aan te maken en anderzijds betrekking op de naamgeving van onderdelen van de modelschematisatie en op de instelling van waarden van sommige parameters.

In bijlage C worden de bewerkingen die nodig zijn voor het aanmaken van de modelschematisatie voor het PRIS beschreven.

3.2 Randvoorwaarden

Het model wordt benedenstrooms (westelijk) door de zee begrensd en bovenstrooms (oostelijk) door de bovenrivieren. Op deze plaatsen dienen zee- en afvoerrandvoorwaarden ingevoerd te worden. Figuur

3.2 geeft een overzicht van de ligging van deze modelranden. In de figuur zijn tevens de oorspronkelijke, bovenstroomse randen bij Hagestein (Lek), Tiel (Waal) en Lith (Maas) ingetekend en tonen daarmee het overzicht van de recente bovenstroomse uitbreidingen. In figuur 3.3 wordt de situatie van de zeeranden meer in detail weergegeven.

Figuur 3.2
Situatie ligging modelranden



Op de Maas, Bergsche Maas en Amer zijn lozingen via zijriviertjes en diverse gemalen bij de berekeningen meegenomen. Op de Lek zijn ook lozingen gedefinieerd. Boven het modelgebied wordt een lokaal uniform windveld ingevoerd.

3.2.1 Zeeranden

Het model kent aan de westzijde drie zeeranden (zie figuur 3.3).

Figuur 3.3
Situatie zeeranden



Eén aan de noordrand ter plaatse van de mond Nieuwe Waterweg: locatie Maasmond (**SOBEK** locatie: *MAMO001* op 1.405 m) en twee aan de zuidrand aan de buitenzijde van de Haringvlietsluizen, waarvan één in de zuidgeul ter plaatse van het Slijkgat: locatie HA10-paal (**SOBEK** locatie: *ZEHV104* op 9.551 m) en één in de noordgeul ten zuiden van de Slufter: locatie Gat van de Hawk (**SOBEK** locatie: *ZEHV103* op 4.638 m).

Voor deze randen is informatie van waterstanden en zoutgehalten van het instromende water noodzakelijk.

Waterstanden

- Basisreeksen

De basisreeksen voor de waterstandsrandvoorwaarden zijn afgeleid van de gemiddelde getijkromme 1991.0 van Hoek van Holland en Haringvliet-10 [lit. 15]. Na enige bewerking van die getijkrommen, zie kader 3.1 voor de bewerkingen, zijn voor de locaties Maasmond en HA10-paal een gemiddeld tij- en springtijreeks met 10-minuutwaarden bepaald over een periode van 18 dagen, fictief beginnend op 1 januari 1991 00:00 uur en eindigend op 18 januari 1991 23:50 uur.

.....

Kader 3.1

Bewerking gemiddelde
getijkrommen 1991.0

In [lit. 15] zijn de gemiddelde getijkrommen 1991.0 van Haringvliet-10 en Hoek van Holland weergegeven. Zowel het springtij, doortij als het gemiddeld tij zijn afgebeeld. Deze informatie is door RIKZ ook digitaal toegeleverd en bevat equidistante tijdreeksen van 1-minuutwaarden van de genoemde getijkrommen. Alleen de gemiddeld tij- en springtijreeksen van beide locaties zijn bewerkt. De reeksen zijn cyclisch gemaakt en tussen de locaties onderling gefaseerd tot equidistante tijdreeksen van 10-minuutwaarden. Bij het cyclisch maken is uitgegaan van de gemiddelde getijduur van 12:25 uur (745 minuten) voor het gemiddeld tij en van 12:19 uur (739 minuten) voor het springtij. Voor het faseverschil is uitgegaan van het verschil tussen het havengetal van beide locaties. Voor het gemiddeld tij betekent dit dat het hoogwater bij Hoek van Holland 18 minuten later valt dan bij Haringvliet-10 en voor het springtij is het 16 minuten. Van de geleverde reeksen met 1-minuutwaarden zijn de hoogwaters bepaald. Voor het gemiddeld tij is voor beide locaties een reeks uitgesneden van 1.490 reekselementen voor Hoek van Holland beginnend op het hoogwater en voor Haringvliet-10 beginnend 18 reekselementen na het hoogwater. Van de uitgesneden reeksen worden, beginnende met het 1.486e reekselement en na het 1.490e reekselement weer verdergaand met het 1e reekselement, telkens 10 opvolgende reekswaarden gemiddeld tot één waarde waaraan een 10-minuutlabel gehangen wordt. Op deze wijze zijn voor perioden van meerdere dagen 10-minutenreeksen samengesteld. Bij het springtij verloopt de bewerking op soortgelijke wijze alleen bevatten de uitgesneden reeksen dan 1.478 reekselementen en begint de reeks van Haringvliet-10 16 reekselementen na het hoogwater. Het midden van 10 opvolgende reekselementen met 1-minuutwaarden tot 10-minuutwaarden begint bij het 1.474e reekselement en na het 1.478e reekselement wordt weer vervolgd met het 1e reekselement. Uiteindelijk zijn de getijreeksen van Hoek van Holland voor toepassing op locatie Maasmond met een constante waarde van 5 cm verlaagd.

- Zeespiegelstijging

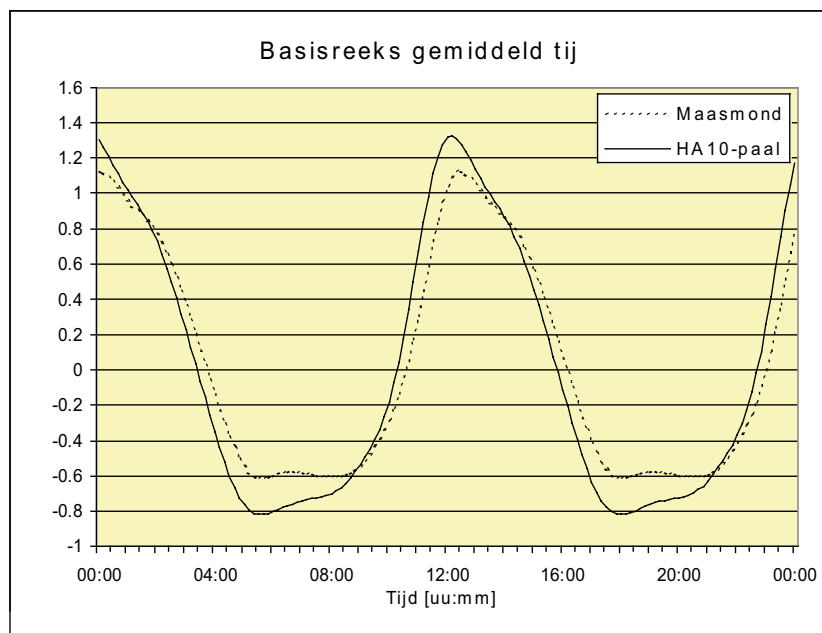
De berekeningen worden uitgevoerd voor de toetsperiode 2006...2011. In het kader van deze berekeningen is aangenomen dat het tempo waarin de toestand verandert in orde is van 0.25 m stijging per eeuw. Over de periode van 1985 tot 2011 is dat een stijging van de zeespiegel van 0.07 m.

Hiervan uitgaande ontstaan de basisreeksen door de middenstanden van de gemiddelde getijkrommen 1991.0 van gemiddeld tij en springtij van locaties Maasmond en HA10-paal alle met +0.07 m te corrigeren. De basisreeksen zijn dan representatief voor het jaar 2011. Met een snellere stijging van het hoogwater t.o.v. de zeespiegelrijzing wordt hier, vanwege het marginale effect, geen rekening gehouden.

Figuur 3.4 geeft het verloop in de tijd over één dag van de basisreeks gemiddeld tij van locatie Maasmond en HA10-paal.

Figuur 3.4

Basisreeks gemiddeld tij bij
Maasmond en HA10-paal



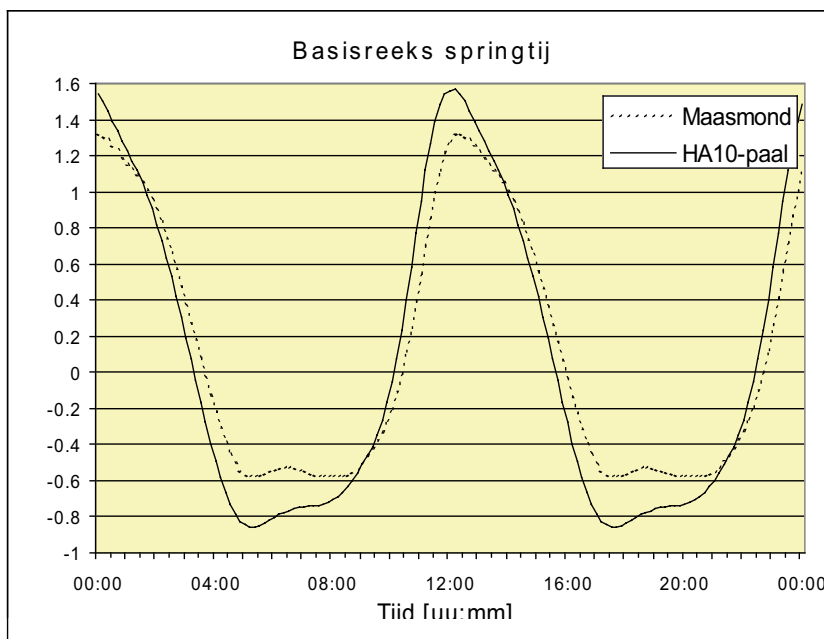
Enkele karakteristieken van deze reeksen zijn:

Maasmond:	Hoogwaterstand	NAP +1,13 m.
	Laagwaterstand	NAP -0,61 m.
	Middenstand	NAP +0,05 m.
HA10-paal:	Hoogwaterstand	NAP +1,33 m.
	Laagwaterstand	NAP -0,82 m.
	Middenstand	NAP +0,03 m.

Figuur 3.5 geeft het verloop in de tijd over één dag van de basisreeks springtij van locatie Maasmond en HA10-paal.

Figuur 3.5

Basisreeks springtij bij Maasmond en HA10-paal



Enkele karakteristieken van deze reeksen zijn:

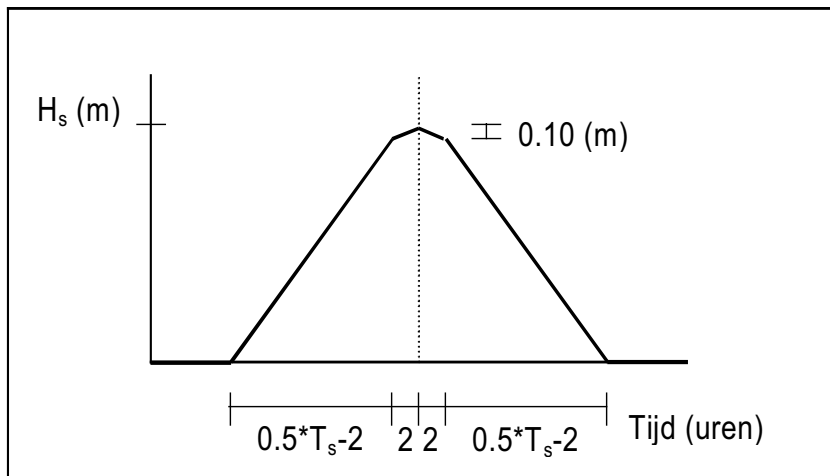
Maasmond:	Hoogwaterstand	NAP +1,32 m.
	Laagwaterstand	NAP -0,58 m.
	Middenstand	NAP +0,12 m.
HA10-paal:	Hoogwaterstand	NAP +1,57 m.
	Laagwaterstand	NAP -0,86 m.
	Middenstand	NAP +0,08 m.

De waterstandsreeks van de HA10-paal wordt voor twee randlocaties toegepast. Enerzijds in de zuidgeul van mond Haringvliet ter plaatse van Slijkgat (zie figuur 3.3) en anderzijds in de noordgeul ter plaatse van Gat van de Hawk. Voor de noordgeul vindt alleen een faseverschuiving van 20 minuten later plaats en de hoogte blijft onveranderd.

- Stormvloeden

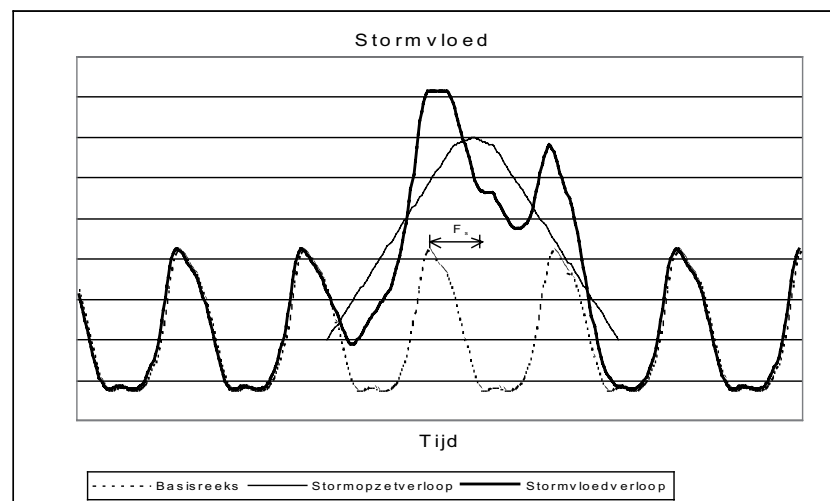
Op de basisreeksen van de zeeranden worden de verschillende stormvloeden gesuperponeerd. De stormvloeden worden bepaald door drie parameters, te weten maximale stormopzet hoogte (H_s), stormopzet duur (T_s) en fase astronomisch hoogwater en maximale stormopzet (F_s). Aangenomen is dat de stormopzet trapeziumvormig verloopt (zie figuur 3.6) en afhankelijk is van de opgegeven duur van de stormopzet (T_s) en maximale stormopzethoogte (H_s).

Figuur 3.6
Schematisering stormopzet



De uiteindelijke zeeranden ontstaan door een zeker stormopzetverloop te superponeren op de basisreeks van het gemiddeld tij van locatie Maasmond en locatie HA10-paal, waardoor voor de betreffende zeerand het stormvloedverloop ontstaat (zie figuur 3.7).

Figuur 3.7
Schematisering stormvloedverloop



Met de fase (F_s) kan het stormopzetverloop over de basisreeks in de tijd verschoven worden. De fase (F_s) is gedefinieerd als het verschil in tijd tussen het op te geven fasenulpunt en tijdstip maximale stormopzet. Het fasenulpunt is gekozen op het fictieve tijdstip 14 januari 1991 om 10:50 uur. Op dit tijdstip valt het fictieve hoogwater bij Maasmond. Opgave van negatieve fase betekent dat de maximale stormopzet (H_s) valt na het (astronomisch) hoogwater van de basisreeks.

- Toepassing

Het gebruik van de springtijreeksen en de gemiddelde getijreeksen, met daarop een aangenomen, gesuperponeerde stormvloed, is voor een zekere berekening afhankelijk van de windrichting van het gekozen windveld. Bij wind uit oostelijke richtingen zijn de springtijreeksen toegepast zonder enige verhoging c.q. verlaging met uitzondering van de eerder besproken verhoging voor zeespiegelstij-

ging. In dit verband zijn de oostelijke richtingen aangenomen vanuit het segment noordnoordoost via oost tot en met zuidzuidwest. Bij wind uit de westelijke richtingen zijn stormvloedreeksen van variabele hoogten, gegenereerd uit de gemiddeld getijreeksen op de eerder besproken wijze, toegepast. De westelijke richtingen zijn aangenomen uit het westelijke segment van zuidwest tot en met noord.

Voor de berekeningen zijn een zestal in hoogte variërende stormvloeden afgeleid door verschillende keuzes van de parameter 'maximale stormopzet hoogte' (H_s). De parameters 'stormopzet duur' (T_s) en 'fase astronomisch hoogwater en maximale stormopzet' (F_s) zijn constant gehouden op resp. 29 uur en $-4\frac{1}{2}$ uur. In de tabel zijn de parameters die leiden tot de zeeranden, waarmee uiteindelijk gecombineerd is met andere variabele randvoorwaarden, weergegeven.

Tabel 3.1

De parameters die leiden tot de zeeranden

windsegment	basisreeks incl. 7 cm zeespiegel-			Fs	zeestand bij Maas- mond [m tov. NAP]
	stijging	Hs	Ts		
oostelijk	springtij	0,0	0	0	+1,32
westelijk	gemiddeld tij	0,00	29	-41/2	+1,13
westelijk	gemiddeld tij	1,21	29	-41/2	circa +2,00
westelijk	gemiddeld tij	2,423	29	-41/2	circa +3,00
westelijk	gemiddeld tij	3,483	29	-41/2	circa +4,00
westelijk	gemiddeld tij	4,512	29	-41/2	circa +5,00
westelijk	gemiddeld tij	5,522	29	-41/2	circa +6,00

Zoutgehalten

Bij Maasmond is een maximaal saliniteitgehalte van 31 kg/m^3 opgegeven. Voor de zuidelijke randen aan de buitenzijde van de Haringvlietsluizen is uitgegaan van 34 kg/m^3 .

De genoemde gehalten zijn maximale waarden van de zogenaamde 'Thatcher- Harleman'-rand.

Dit type randvoorwaarde gaat uit van een berekend gehalte aan het einde van de ebstroom (uitstroming), welk vanaf het begin van de vloedstroom (instroming) gedurende een opgegeven periode van $1\frac{1}{2}$ uur groeit naar het opgegeven maximale gehalte.

3.2.2 Afvoerranden

Aan de oostzijde van het model bevinden zich drie afvoerranden van de bovenrivieren (zie figuur 3.8). Op de Nederrijn/Lek is dit ter plaatse van IJsselkop (**SOBEK** locatie: Nederryn op 0 m.), op de Waal bij Pannerdense Kop (**SOBEK** locatie: Waal___1 op 0 m) en op de Maas bij Mook (**SOBEK** locatie: Zandmas7 op 0 m). Omdat het instromend water is dienen hier ook zoutgehalten gedefinieerd te worden.

.....
Figuur 3.8
Situatie afvoerranden



Debieten

De berekeningen zijn uitgevoerd voor diverse afvoerniveaus, waarbij enerzijds is uitgegaan van de afvoer van de Bovenrijn bij Lobith met de daarbijbehorende afvoer van de Maas bij Lith die met een kans van 50% optreedt en anderzijds is uitgegaan van de afvoer van de Maas bij Lith met de daarbijbehorende 50%-kans afvoer voor de Bovenrijn bij Lobith [lit. 1].

Een zeker afvoerniveau van de Bovenrijn te Lobith leidt tot afvoeren bij Hagestein (Lek) en Tiel (Waal) [lit. 16]. Per berekening wordt gerekend met een permanent afvoerniveau van de bovenrivieren. Hierdoor is het mogelijk de afvoeren van Hagestein, Tiel en Lith ongewijzigd op te leggen bij respectievelijk IJsselkop, Pannerdse Kop en Mook. In de tabellen zijn de afvoerniveaus met de aangenomen verdeling over de Rijntakken, zowel uitgaande van Lobith als van Lith weergegeven. Met die afvoerniveaus is uiteindelijk gecombineerd met de andere variabele randvoorwaarden.

Tabel 3.2

De afvoerniveaus met de aangenomen verdeling over de Rijntakken

	afvoer Bovenrijn te Lobith [m ³ /s]	afvoer Nederrijn/Lek [m ³ /s]	afvoer Waal [m ³ /s]	afvoer Maas (50%) [m ³ /s]
600	25	25	550	55
2.000	308	308	1401	217
4.000	750	750	2.697	687
6.000	1.158	1.158	3.997	1.156
8.000	1.572	1.572	5.296	1.626
10.000	2.062	2.062	6.516	2.095
13.000	2.701	2.701	8.314	2.800
16.000	3.382	3.382	10.012	3.504
18.000	3.868	3.868	11.028	3.974

Tabel 3.3

De afvoerniveaus met de aangenomen verdeling over de Rijntakken

	afvoer Maas [m ³ /s]	afvoer Lek (50%) [m ³ /s]	afvoer Waal (50%) [m ³ /s]	afvoer Bovenrijn (50%) te Lobith [m ³ /s]
10	10	25	550	600
327	327	308	1401	2.000
855	855	750	2.697	4.000
1.382	1.382	1.158	3.997	6.000
1.909	1.909	1.572	5.296	8.000
2.437	2.437	2.062	6.516	10.000
3.228	3.228	2.701	8.314	13.000
3.700	3.700	3.096	9.350	14.790
4.546	4.546	3.868	11.030	18.000

Zoutgehalten

Op alle drie de locaties van de afvoerranden zijn concentraties van 0,2 kg/m³ opgelegd. Deze achtergrondgehalten zijn constant in de tijd en onafhankelijk van het afvoerniveau verondersteld.

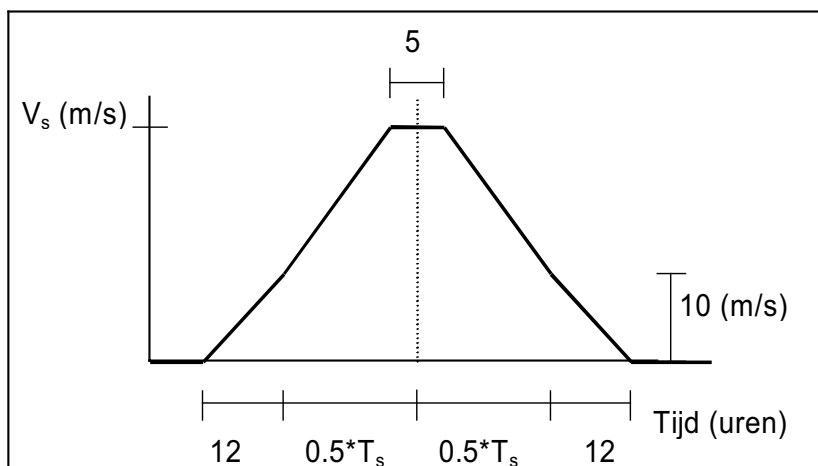
3.2.3 Windveld

Deze randvoorwaarde wordt niet op een specifieke plaats in het modelgebied opgelegd, maar geldt 'model-wide', hetgeen wil zeggen dat het opgelegde windveld voor alle takken bij een zekere berekening gelijk is. Het opgelegde windveld is geen ruimtelijk variabel windveld maar een uniform windveld voor het gehele modelgebied. Door verschillende waarden van de windhiding coëfficiënt ontstaat er wel enige ruimtelijke variatie in het windeffect.

Het verloop van de windsnelheden in de tijd is gerelateerd aan het stormopzet verloop van figuur 3.6. In figuur 3.9 is het geschematiseerde verloop van de windsnelheid weergegeven, waarbij de maximale windsnelheid (V_s) een keuzeparameter is.

De as van deze windsnelhedenfiguur valt samen met de as van de stormopzetfiguur, waardoor bij bekende fase (F_s) en keuze van V_s het verloop van de windsnelheden in de tijd is vastgelegd.

Figuur 3.9
Schematisering uniform windveld



Bij de berekeningen zijn zowel de windrichting als de maximale windsnelheid (V_s) gevarieerd en gecombineerd met de andere variabele randvoorwaarden. Er is onderscheid gemaakt van wind uit het oostelijke segment en vanuit het westelijke segment. De segmenten zijn onderverdeeld in sectoren van 22,5 graden. De bij de berekeningen toegepaste windrichtingen (sectoren) vanuit het oostelijk segment en vanuit het westelijk segment zijn in de tabel aangegeven.

Tabel 3.4

De bij de berekeningen toegepaste windrichtingen (sectoren) vanuit het oostelijk segment en vanuit het westelijk segment

segment	richting windroos (sector)	richting model [graden]
O	NNO	22,5
O	NO	45
S	ONO	67,5
T	O	90
E	OZO	112,5
L	ZO	135
I	ZZO	157,5
J	Z	180
K	ZZW	202,5
W		
E		
S	ZW	225
T	WZW	247,5
E	W	270
L	WNW	292,5
I	NW	315
J	NNW	337,5
K	N	360

Bij elke windrichting vanuit het oostelijk segment is gerekend met maximale windsnelheden van 10 m/s, 20 m/s en 30 m/s, en vanuit het westelijk segment met 10 m/s, 20 m/s, 30 m/s en 42 m/s. De situaties zonder wind, waarbij de richting niet van belang is, zijn voor één fictieve richting zowel uit het oostelijk als het westelijk segment doorgerekend. De keuze van het opgelegde getij op de zeeranden is immers afhankelijk van het segment.

3.2.4 Lozingen op de Maas

Figuur 3.10

Situatie ligging lozingspunten op de Maas

De locaties van de lozingen zijn in figuur 3.10 aangegeven.



In het model zijn de lozingen op de volgende locaties gemodelleerd:

Tabel 3.5

De gemodelleerde locaties op de Maas

lozing	rivierlocatie (globaal)	modellocatie
Getymas1	kilometerraai 207.0	Getijms1 op 4.598 m
Getymas2	kilometerraai 210.0	Getijms1 op 7.606 m
Getymas3	kilometerraai 220.1	Getijms2 op 125 m
Getymas4	kilometerraai 235.3	Getijms4 op 250 m

De hoeveelheid van deze lozingen is direct gerelateerd aan het afvoerniveau van de Maas bij Lith [lit. 16]. Bij de gekozen afvoerniveaus van de Maas zijn de in het model ingevoerde lozingen in de tabel samengevat.

Tabel 3.6

De afvoerafhankelijke lozingen op de Maas

afvoer Maas	Getymas1	Getymas2	Getymas3	Getymas4
[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
10	0,1	0,0	4,1	4,1
327	0,4	0,0	11,9	11,9
855	0,9	0,0	24,7	24,7
1.382	1,5	0,6	21,7	42,4
1.909	2,0	6,4	4,5	64,7
2.437	2,5	12,7	0,0	76,2
3.228	3,4	18,0	0,0	92,1
3.700	3,9	19,1	0,0	108,9
4.546	4,7	20,9	0,0	140,9
55	0,1	0,0	5,2	5,2
217	0,3	0,0	9,2	9,2
687	0,8	0,0	20,6	20,6
1.156	1,2	0,0	25,6	34,0
1.626	1,7	3,0	17,5	51,4
2.095	2,1	8,7	0,4	68,7
2.800	2,8	16,6	0,0	75,3
3.504	3,7	18,6	0,0	103,5
3.974	4,2	19,9	0,0	117,9

3.2.5 Lozingen op Nederrijn/Lek

De locaties van de lozingen zijn in figuur 3.11 aangegeven.

Figuur 3.11

Situatie ligging lozingspunten op de Lek



In het model zijn de lozingen op de volgende locaties gemodelleerd:

Tabel 3.7

De gemodelleerde locaties op de Nederrijn/Lek

lozing	rivierlocatie (globaal)	modellocatie
LEK__1	kilometerraai 965.0	Lek__2 op 17129 m
LEK__2	kilometerraai 986.9	Lek__2 op 38898 m

De hoeveelheid van deze lozingen is direct gerelateerd aan het afvoerniveau van de Bovenrijn bij Lobith [lit. 16]. Bij de gekozen

afvoerniveaus van de Bovenrijn en de daaruit afgeleide afvoerniveaus van de Nederrijn/Lek zijn de in het model ingevoerde lozingen in de tabel samengevat.

Tabel 3.8

De afvoerafhankelijke lozingen op de Nederrijn/Lek

afvoer Bovenrijn [m ³ /s]	Afvoer Nederrijn /Lek [m ³ /s]	LEK__1 [m ³ /s]	LEK__2 [m ³ /s]
600	25	0,0	0,0
2.000	308	0,5	0,8
4.000	750	1,2	2,1
6.000	1.158	1,8	3,3
8.000	1.572	2,4	4,3
10.000	2.062	3,3	5,3
13.000	2.701	4,4	6,5
16.000	3.382	5,4	7,7
18.000	3.868	5,9	8,4
14.790	3.096	5,1	7,4

3.2.6 Lozingen op de rest van het gebied

De laterale toestroming aan de benedenstroomse zijde van de Waal (ten westen van Tiel) is dermate laag dat deze niet meegenomen is. De laterale toestroming bovenstrooms van Tiel is impliciet meegenomen bij bepaling van de permanente afvoer bij Tiel [lit. 16].

Een korte verkenning naar het effect van zijdelingse toestroming (vanuit gemalen e.d.) op de toetspeilen in het westelijke gedeelte van het Noordelijk Deltabekken is door RIZA/WRE uitgevoerd [lit. 17]. Er is uitsluitend gekeken naar de effecten bij extreme situaties. Voorzichtigheid moet worden geboden bij andere omstandigheden. Het effect is onderzocht middels het maken van 1D modelberekeningen.

Bij de berekeningen is steeds uitgegaan van een constant zijdelingse toestroming, dus onafhankelijk van de Rijnafvoer of zeewaterstand. Daarnaast zijn de gegevens gebruikt van 1 jaar (2000, gemiddeld jaar) en daar waar bekend de maximale maalcapaciteit. Deze methode is voor een eerste inschatting voldoende nauwkeurig.

Het meenemen van deze zijdelingse toestroming in het westelijk gedeelte van het benedenrivierengebied geeft geen of minimale verschillen op het toetspeil. Waterstandsverhoging van enkele centimeters (maximaal 3 cm) blijkt met name op de zuidrand. In deze situatie reageren de Haringvlietsluizen in het model anders (ze sluiten later), wat waarschijnlijk mede deze verhoging veroorzaakt. Hierdoor stroomt er namelijk meer zeewater het Haringvliet op (1,5 keer zoveel).

Op basis van deze verkenning wordt geconcludeerd dat het niet noodzakelijk is zijdelingse toestroming in het benedenrivierengebied, met uitzondering van de Maas en Nederrijn/Lek, in de berekeningen voor het Randvoorwaardenboek mee te nemen.

3.3 Kunstwerken

In het Benedenrivierengebied bevinden zich in verband met de veiligheid tegen overstroming een vijftal kunstwerken, die afhankelijk van de hydraulische omstandigheden bediend worden. Tijdens extreem hoge zeestanden wordt de Noordzee van het Noordelijk Deltabekken afgesloten door de Maeslantkering in de Nieuwe Waterweg, de Hartelkering in het Hartelkanaal en de Haringvlietsluizen in de mond van het Haringvliet. De stormstuw Hollandsche IJssel beschermt het achterliggende gebied ter weerszijden van de Hollandsche IJssel tegen overstromingen. De keersluis in het Heusdensch Kanaal beschermt het gebied rondom de Afgedamde Maas tegen overstromingen als gevolg van extreem hoge afvoeren via de Maas.

Behalve de stormvloedkerende functie vormen de Haringvlietsluizen ook een belangrijke schakel in het dagelijks beheer van het Noordelijk Deltabekken.

In de bovenrivieren bevinden zich stuwen, die dienen om tijdens lage afvoersituaties een minimaal waterniveau te handhaven. Tijdens hoge afvoersituaties zijn ze over het algemeen geheel geopend. Omdat de belastingsgevallen ook lage afvoerniveaus bevatten zijn de stuwen in het model ingebouwd. Het gaat om de stuwen bij Grave en Lith in de Maas en bij Driel, Amerongen en Hagestein in de Nederrijn/Lek.

3.3.1 Haringvlietsluizen

Beschrijving

De Haringvlietsluizen liggen in de mond van het Haringvliet en vormen met de Haringvlietdam een waterkering. Het complex bestaat uit 17 openingen elk voorzien van een verticaal beweegbare rivier- en zeeschuif. Het beheer van de Haringvlietsluizen is vastgelegd in het Lozingsprogramma Haringvlietsluizen 1984 (kortweg **LPH-'84**). Met de toekomstige beheersalternatieven, de Kier en Getemd Getij, is hier nog geen rekening gehouden.

In het LPH-'84 is de in te stellen opening van de sluis afhankelijk van het afvoerniveau van de Bovenrijn te Lobith, dat circa twee dagen voor de spuiperiode optreedt. De opening wordt ingesteld tijdens de ebperiode. In de vloedperiode zijn de schuiven dicht. Het open en sluiten geschiedt op gelijke waterdrukhoogten aan de binnen- en buitenzijde van het complex. In de praktijk wordt aan de binnenzijde een kleine overhoogte van de waterstand (circa 5 cm) aangehouden in verband met dichtheidsverschil tussen het zoutere buitenwater en het zoetere binnenwater. Het openen en sluiten gaat zeer snel en is afhankelijk van de opening. De schuiven hebben een maximale hefhoogte van 11 m, die binnen een half uur bereikt kan worden. De kerende hoogte van de gesloten sluis is NAP +5,00 m.

Schematisatie

In het model liggen de Haringvlietsluizen in tak HAVL042 op 6.411 m en zijn als een 'Compound Structure' met 17 parallel geschakelde

openingen met een totale breedte van 992,5 m en voorzien van beweegbare schuiven geschematiseerd. De instelling van de openingen tijdens eb wordt automatisch door het systeemonderdeel SRS van de computerapplicatie **PRIS** uitgevoerd. SRS bepaalt de openingen aan de hand van de naar Tiel geconverteerde tabel van LPH-'84, de tabel met openstrategie en de ingestelde totale breedte van het sluisencomplex van 992,5 m [lit. 18]. De tabel geeft de door SRS ingestelde openingen als functie van de Waalafvoer één dag eerder bij Tiel. Deze dag speelt bij de berekeningen geen rol, want er wordt immers gerekend met constant afvoerniveau in de tijd.

Tabel 3.9
De LPH-'84-tabel

afvoer te Lobith [m ³ /s]	afvoer te Tiel [m ³ /s]	opening [m ²]	realisatie
600	550	0	17 schuiven op 0,0 m
2.000	1.401	157	6 schuiven op 0,463 m
4.000	2.697	1.255	17 schuiven op 1,307 m
6.000	3.997	1.875	17 schuiven op 1,953 m
8.000	5.296	2.814	17 schuiven op 2,931 m
10.000	6.516	open	17 schuiven op 11,0 m
13.000	8.314	open	17 schuiven op 11,0 m
14.790	9.350	open	17 schuiven op 11,0 m
16.000	10.012	open	17 schuiven op 11,0 m
18.000	11.028	open	17 schuiven op 11,0 m

Het openen en sluiten van de sluisen wordt geregeld met in de modelschematisatie ingestelde triggers. De sluit- en opentrigger toetsen op het verschil van de waterdruk kolom aan binnen- en buitenzijde van de sluisen. De opentrigger wordt actief als de druk kolom aan de binnenzijde groter of gelijk is aan de druk kolom aan buitenzijde. Het bij de opening behorende aantal schuiven gaat in één tijdstep van 10 minuten open. De sluittrigger wordt actief als de druk kolom aan de buitenzijde hoger of gelijk wordt aan die van de binnenzijde. De geopende schuiven sluiten dan in één tijdstep van 10 minuten. De open- en sluitsnelheden zijn in de modelschematisatie bij de betreffende controllers ingesteld. In het model wordt er geen rekening mee gehouden dat er bij extreme stormvloed (> NAP +5,00 m) water over de bovenzijde van de gesloten schuiven kan storten.

3.3.2 Stormstuw Hollandsche IJssel

Beschrijving

De stormstuw Hollandsche IJssel ligt bij Krimpen a/d IJssel, nabij de monding van de Hollandsche IJssel. De stuw bestaat uit twee achter elkaar gelegen beweegbare schuiven.

In het Waterakkoord Hollandsche IJssel en Lek [lit. 19] zijn met betrokken partijen afspraken gemaakt over de inzet en bediening van de stormstuw.

De functies vereisen verschillende bediening van de stuw. Voor de stormvloedkeringsfunctie is de bediening vastgelegd. Het sluitcriterium en moment van sluiten zijn in het Waterakkoord opgenomen. De inzet bij de overige functies geschiedt in overleg met betrokken partijen en is

derhalve niet gemodelleerd, zodat alleen het beheer bij stormvloeden besproken wordt.

De kering sluit als een stormvloed verwacht wordt. Met een stormvloed wordt bedoeld een waterstand ter plaatse van de stuw van NAP +2,25 m of hoger. De kering dient te sluiten op een moment dat bij gesloten kering aan de binnenzijde (Hollandsche IJssel) de waterstand lager dan of maximaal gelijk is aan NAP +2,25 m. Dit geldt bij lage stormvloeden, waarbij de (verwachte) waterstand kleiner is dan NAP +3,00 m bij Hoek van Holland. Bij hogere stormvloeden (Hoek van Holland groter dan NAP +3,00 m) start de sluiting bij stroomkentering (dit is het moment dat het water richting Hollandsche IJssel gaat stromen).

Bij nagenoeg gelijke waterstand gaat de stuw weer open. In feite betekent dit dat de stuw opengaat als er weer water van de Hollandsche IJssel naar de Nieuwe Maas geloosd kan worden.

In ruststand bevindt de onderkant van de schuif zich op NAP +12,00 m. Bij een sluiting beweegt de onderkant van de schuif in 20 tot 25 minuten naar NAP -3,50 m.

Van NAP -3,50 m tot dicht duurt 30 tot 40 minuten.

De totale operatie duurt 50 tot 65 minuten.

Het openen van de stuw vanaf dicht tot NAP +12,00 m (onderkant schuif) duurt circa 30 minuten.

Schematisatie

In het model ligt de stuw in de tak *HOIJ029* op 18.000 m en is als een 'Structure' met een beweegbare schuif geschematiseerd. Het openen en sluiten van de schuif wordt geregeld met in de modelschematisatie ingestelde triggers. De sluittrigger toetst op overschrijding van de waterstand NAP +1,80 m op locatie *HOIJ028* op 200 m (is 309 m vanaf zuidzijde van de stuw vlakbij het splitsingspunt met de Nieuwe Maas) én negatief verval over de stuw (dit is hogere waterdruk kolom aan de zuidzijde van de stuw). Bij deze situatie gaat de schuif van de stuw met een snelheid van 0,0025 m/s over 9 m hoogte dicht en duurt daardoor 60 minuten. De opentriigger wordt actief bij onderschrijding van de waterstand NAP +1,80 m op locatie *HOIJ028* op 200 m of bij positief verval over de stuw (hogere waterdruk kolom aan de noordzijde van de stuw). Het openen van de schuif gaat met een snelheid van 0,005 m/s over 9 m hoogte en duurt zodoende 30 minuten. De open- en sluitsnelheden zijn in de modelschematisatie bij de betreffende controllers ingesteld.

3.3.3 Maeslantkering

Beschrijving

De Maeslantkering ligt in de Nieuwe Waterweg ter plaatse van kilometerraai 1026.3 (circa 3 km ten oosten van Hoek van Holland) [lit. 5]. De constructie bestaat uit twee drijvende, halfronde, waterkerende deuren, die bij stormvloed de ter plaatse 360 m brede Nieuwe Waterweg afsluiten. Bij normaal weer zijn de deuren geparkeerd in afsluitbare dokken in de oevers.

Bij stormvloed worden de deuren na het invaren afgezonken door de ballasttanks van de deuren vol met rivierwater te laten lopen. In de bodem van de rivier ligt op NAP -17,00 m een drempel, waarop de

deuren neergezet worden. De bovenzijde van de geheel afgezonken deuren bevinden zich dan op NAP +5,00 m, waardoor bij zeer extreme stormvloed water over de deuren kan storten. Bovendien is er ook in gesloten toestand nog een lekopening tussen, naast en onder de deuren van totaal 100 m². Door het water uit de ballasttanks van de deuren te pompen worden de deuren opgedreven.

De besturing (beheer) van de kering is complex [lit. 20] en wordt met de volgende processtappen nader beschreven.

- Sluitcriteria

De Maeslantkering sluit als een verwachte waterstand van NAP +3,00 m bij Rotterdam en/of van NAP +2,90 m bij Dordrecht overschreden wordt. Dergelijke hoge waterstanden komen slechts voor in een situatie van extreme stormvloed, waardoor de sluitfrequentie van de kering in de orde van 1 maal in de 5 à 10 jaar ligt. Een toekomstige zeespiegelstijging zal de sluitfrequentie doen toenemen.

- Sluitstrategie; peil- of kenteringsluiting

De sluitstrategie is afhankelijk van het afvoerniveau van de bovenrivieren. Bij afvoeren lager dan 6.000 m³/s van de Bovenrijn bij Lobith zal de sluitingsoperatie starten bij overschrijding van het waterniveau NAP +2,00 m ter plaatse van de kering en bij hogere afvoerniveaus start de sluitingsoperatie bij de stroomkentering van eb naar vloed ter plaatse van de kering; dit is het moment waarop het zeewater het Noordelijk Deltabekken gaat binnenstromen.

- Voorbereiding

Vier uur vóór het verwachte sluitmoment wordt gestart met het stremmen van de scheepvaart en met het waterniveau in de dokken te nivelleren met het niveau op de Nieuwe Waterweg. Direct na het nivelleren van de dokken worden de dokdeuren geopend. Na twee uur ligt de scheepvaart op de Nieuwe Waterweg volledig stil. Het duurt dan naar verwachting nog twee uur voor het daadwerkelijk sluiten van de kering begint.

- Sluiten

De peilsluiting begint als de daadwerkelijk gemeten waterstand bij de kering het niveau van NAP +2,00 m overschrijdt, terwijl het begin van de kenteringsluiting gebaseerd wordt op resultaten van computermodeleberekeningen. Bij het sluiten worden eerst de twee halfronde sectordeuren drijvend ingevaren. Eventueel wordt gewacht op voldoende waterniveau om de deuren uit de dokken te varen. Dit wordt bepaald aan de hand van de spleetgrootte onder de deur (tenminste 10,75 m aan de oeverzijde van de deur en 10,55 m aan de rivierzijde). Het dichtvaren van de deuren duurt een half uur, waarna direct het afzinken begint.

- Afzinken

De snelheid van het afzinken is afhankelijk van de waterstanden op de rivier en het waterniveau in de ballasttanks van de kering, maar duurt circa 90 minuten. Het eerste gedeelte van het afzinken gaat sneller dan het laatste gedeelte. Tijdens het afzinken wordt voortdurend

het verval over de kering gecontroleerd. Als de gemeten waterstand (1-minuutgemiddelde) op de meetpalen aan de binnenzijde van de kering 0,05 m hoger wordt dan de gemeten waterstand (1-minuutgemiddelde) op de meetpalen aan de buitenzijde van de kering wordt het afzinkproces gestopt, waarna direct weer gestart wordt met het opdrijven, totdat de deuren weer drijven op de rivier. De procedure wordt daarna vervolgd bij de spuitoestand.

- *Sedimentstop*

Tijdens het afzinken wordt het stromingspotentiaal (verval over de kering maal de tijd) als maat voor erosie van slib op de drempel bijgehouden. Bij een spleet van 5 m wordt eventueel gestopt totdat het criterium (zie Bedieningshandleiding voor berekeningswijze en bijbehorend criterium) gehaald is.

- *Gesloten, dynamisch voorspanbeheer, opdrijven*

Het dynamisch voorspanbeheer start als de onderzijde van de deuren de drempel bereiken. Afhankelijk van de gemeten waterstanden aan de binnen- en buitenzijde van de kering wordt de hoeveelheid ballastwater in de tanks gereguleerd, zodanig dat de kering direct kan opdrijven als de waterstand aan de binnenzijde gelijk of groter wordt dan die aan de buitenzijde van de kering. Het opdrijven van de deuren tot drijvend op de rivier (spuitoestand) duurt circa 90 minuten.

- *Spuitoestand*

Vanuit deze spuitoestand worden de deuren weer afgezonken als het sluitcriterium bij Rotterdam en/of Dordrecht naar verwachting de komende 24 uur nog overschreden wordt. De afzinkoperatie start dan weer als de gemeten waterstand aan de buitenzijde van de kering 0,05 m hoger is dan aan de binnenzijde.

- *Openen*

Als de verwachte waterstanden de sluitcriteria de komende 24 uur niet meer overschrijden, worden de deuren weer in de dokken gevaren. Eventueel wordt gewacht tot het waterniveau in de rivier voldoende is. Dit wordt bepaald aan de hand van de spleetgrootte onder de deur (tenminste 10,45 m aan de oeverzijde van de deur en 10,25 m aan de rivierzijde). Dit invaren van de deuren duurt een half uur. Daarna worden de dokdeuren weer gesloten en wordt de scheepvaart weer vrijgegeven. Uiteindelijk worden de deuren geparkeerd op de poeren van het dok.

Het Beslis & Ondersteunend Systeem (BOS) zorgt ervoor dat het beschreven proces automatisch verloopt. Dit systeem geeft zonder tussenkomst van menselijk handelen opdrachten aan het Besturingssysteem (BES), dat de daadwerkelijke bewegingen uitvoert.

Schematisatie

In het model ligt de Maeslantkering in tak NIWA_SVKW op 12.289 m en is geschematiseerd als een 'Compound Structure' met de naam svkw bestaande uit 3 parallel geschakelde 'Structures' genaamd SVKW_a, SVKW_b en SVKW_c.

SVKW_a schematiseert de overlaatstroming tussen de geopende of gedeeltelijk geopende deuren, SVKW_b de schuifstroming onder de gesloten of gedeeltelijk gesloten deuren en SVKW_c het eventueel overstortende water in gesloten toestand. De totale doorstroomopening is een optelling van de drie afzonderlijke parallel geschakelde takken. De 'Structure' SVKW_c doet pas bij gesloten toestand van de kering mee als de waterstanden hoger worden dan NAP +5 m.

De beslissingen en besturing van de Maeslantkering worden met het besturingsmodel **KiWi-NDB**, een systeemonderdeel van de computerapplicatie **PRIS**, automatisch overeenkomstig het bovenomschreven beheer uitgevoerd. Het beheer van de kering is afhankelijk van eventueel optredende seiches, die in dit model niet gemodelleerd zijn. Het effect hiervan in het gebied achter de keringen is marginaal [lit. 13].

In het kader 3.2 bevinden zich enkele kanttekeningen en bijzonderheden van het geschematiseerde beheer.

.....
Kader 3.2

Kanttekeningen geschematiseerd
beheer Maeslantkering

De sluitcriteria bij Rotterdam NAP +3,00 m en bij Dordrecht NAP +2,90 m worden resp. getoetst op de locaties in de takken NIMA_Rotterdam op 0 m en OUMA_Dordrecht op 0 m. Het sluitpeil NAP +2,00 m en het kenteringsdebiet voor resp. de peil- of kenteringsluiting worden berekend op de locatie in tak NIMA_SVKW op 12.762 m (dit is 473 m ten westen van de kering, ongeveer op de plaats van de meetpalen aan de zeezijde).

De vervallen over de kering, waarop getoetst wordt of de kering moet opdrijven of vanuit spuittoestand weer moet afzinken, zijn de waterstandsverschillen van de berekende locaties in tak NIMA_SVKW op 12.762 m en 11.785,5 m (dit is 503,5 m ten oosten van de kering, ongeveer op de plaats van de meetpalen aan de rivierzijde).

Omdat de rekentijdstep in het model 10 minuten bedraagt betekent dit dat de vervallen op 10-minuutwaarden getoetst worden.

In het model wordt geen rekening gehouden met de diepgang van de drijvende kering en heeft in drijvende toestand een vaste, ingestelde spleetwaarde van 10 m.

In het model wordt zodoende bij het horizontaal sluiten en openen niet getoetst op een spleetwaarde maar op een berekende waterstand op de locatie van de meetpaal aan de zeezijde. De toetswaarde bij sluiten is hoger dan NAP +0,55 m en bij openen hoger dan NAP +0,35 m. De procedure wacht eventueel totdat de waarden overschreden worden.

Bij het horizontaal sluiten van kering neemt de breedte van de 'Structure' SVKW_a af volgens de 10-minutenreeks: 360 m, 240 m, 120m, 0 m. De breedte van de 'Structure' SVKW_b neemt juist toe volgens de 10-minutenreeks: 0 m, 120 m, 240 m, 360 m met een constante spleet van 10 m. Het weer horizontaal openen geschiedt andersom. Het afzinken gebeurt door de spleet van 'Structure' SVKW_b te laten afnemen volgens de 10-minutenreeks: 10,00 m, 7,83 m, 5,57 m, 3,85 m, 2,64 m, 1,76 m, 1,09 m, 0,71 m, 0,38 m, 0,28 m. Dit laatste getal is ongelijk 0 vanwege de simulatie van lekopening ($0,28 \text{ m} * 360 \text{ m} = 100 \text{ m}^2$) bij gesloten toestand. In 'Structure' SVKW_c beweegt dan de drempelhoogte [m t.o.v. NAP] overeenkomstig de bovenkant van de kerende wand volgens de 10-minutenreeks: 15.00, 12.83, 10.57, 8.85, 7.64, 6.76, 6.09, 5.71, 5.38, 5.00. Voor het opdrijven is de 10-minutenreeks voor de spleet in 'Structure' SVKW_b: 0,28 m, 1,83 m, 3,67 m, 5,50 m, 7,33 m, 9,17 m, 10,00 m. Voor 'Structure' SVKW_c is de 10-minutenreeks voor de drempelhoogte [m t.o.v. NAP] dan: 5.00, 6.83, 8.67, 10.50, 12.33, 14.17, 15.00. Al deze tijdreeksen worden door het systeemonderdeel SRS gegenereerd.

Voor de naverwerking van de berekeningsresultaten moeten de berekeningen met dichte en geopende Maeslantkering uitgevoerd worden. Dit betekent dat er een set berekeningen met alle randvoorwaardencombinaties uitgevoerd is, waarbij de Maeslantkering ondanks de hoge stormvloed niet bestuurd wordt en derhalve geopend blijft en een set, waarbij de Maeslantkering bestuurd en gesloten wordt. De sluiting dient ook plaats te vinden als de sluitcriteria niet gehaald worden. Er worden dan zogenaamde geforceerde sluitingen uitgevoerd. In het volgende hoofdstuk komt dit aan de orde (§ 4.1.1).

3.3.4 Hartelkering

Beschrijving

De Hartelkering ligt 40 m ten westen van de Hartelbrug, dit is circa 1.900 m ten westen van de splitsing met de Oude Maas [lit. 5]. De constructie bestaat uit twee ellipsvormige, stalen hefschuiven, die bij stormvloed het Hartelkanaal afsluiten. De hefschuiven sluiten twee openingen van verschillende breedte af, namelijk 95,5 m en 46,8 m. Bij normaal weer bevinden de onderzijde van de schuiven zich op NAP +13,50 m, hetgeen net iets hoger is dan de onderzijde van de Hartelbrug.

Bij stormvloed worden de hefschuiven naar beneden bewogen. De bodem van het kanaal ligt op NAP -6,50 m, waarop de schuiven nagenoeg terechtkomen. De bovenzijde van de geheel neergelaten schuiven bevinden zich dan op NAP +3,00 m, waardoor bij vrij extreme stormvloed water over de schuiven kan storten. Bovendien is er ook in gesloten toestand nog een lekopening naast en onder de schuiven van totaal circa 47 m². Met behulp van een hydraulisch systeem kunnen de schuiven naar boven gehesen worden.

De besturing (beheer) van de kering is complex [lit. 20] en wordt met de volgende processtappen nader beschreven.

- Sluitcriteria

De Hartelkering sluit als een verwachte waterstand van NAP +3,00 m bij Rotterdam en/of van NAP +2,90 m bij Dordrecht overschreden wordt. Dergelijke hoge waterstanden komen slechts voor in een situatie van extreme stormvloed, waardoor de sluitfrequentie van de kering in de orde van 1 maal in de 5 à 10 jaar ligt. Een toekomstige zeespiegelstijging zal de sluitfrequentie doen toenemen.

- Sluitstrategie; peil- of kenteringsluiting

De sluitstrategie is afhankelijk van het afvoerniveau van de bovenrivieren. Bij afvoeren lager dan 6.000 m³/s van de Bovenrijn bij Lobith zal de sluitingsoperatie starten bij overschrijding van het waterniveau NAP +2,00 m ter plaatse van de kering en bij hogere afvoerniveaus start de sluitingsoperatie bij de stroomkentering van eb naar vloed ter plaatse van de kering; dit is het moment waarop het zeewater het Noordelijk Deltabekken gaat binnenstromen.

- Voorbereiding

Drie uur en 10 minuten vóór het verwachte sluitmoment wordt gestart

met het stremmen van de scheepvaart. Na één uur ligt de scheepvaart ter plaatse volledig stil. De schuiven worden dan gelijktijdig met een snelheid van 1 m/minuut naar de veilige stand (onderzijde van de schuiven op NAP +3,50 m) neergelaten. Dit proces duurt ongeveer 10 minuten. Daarna duurt het dan naar verwachting nog twee uur voor het daadwerkelijk sluiten van de kering begint.

- Sluiten

De peilsluiting begint als de daadwerkelijk gemeten waterstand bij de kering het niveau van NAP +2,00 m overschrijdt, terwijl het begin van de kenteringsluiting gebaseerd wordt op resultaten van computermodelberekeningen. Er is een koppeling met het sluitmoment van de Maeslantkering; als het sluitmoment later valt dan dat van de Maeslantkering, dan wordt het sluitmoment vervroegd, zodat het gelijktijdig met de Maeslantkering valt. Bij het sluiten wordt de brede schuif met een snelheid van 1 m/minuut en de smalle schuif met 0,2 m/minuut neergelaten. Deze processen duren dan resp. 10 en 50 minuten. Vanaf het moment dat de brede schuif op de bodem is wordt voortdurend het verval over de kering gecontroleerd. Als de gemeten waterstand (1-minuutgemiddelde) op de meetpaal aan de binnenzijde van de kering 0,05 m hoger wordt dan de gemeten waterstand (1-minuutgemiddelde) op de meetpaal aan de buitenzijde van de kering wordt het sluitproces gestopt, waarna direct weer gestart wordt met het heffen van de schuiven naar de veilige stand. Daarna wordt de procedure vervolgd bij spuitoestand.

- Gesloten, heffen

Als beide schuiven op de bodem zijn wordt het verval (gemeten waterstand aan de binnenzijde minus de buitenzijde van de kering) geëvalueerd. Als de waterstand aan de binnenzijde gelijk of groter wordt dan die aan de buitenzijde van de kering worden schuiven na elkaar geheven. Eerst wordt de brede schuif met een snelheid van 0,7 m/minuut geheven tot veilige stand en daarna de smalle schuif met een snelheid van 1 m/minuut. Dit proces duurt dus 25 minuten.

- Spuitoestand

Vanuit deze spuitoestand worden de schuiven weer neergelaten als het sluitcriterium bij Rotterdam en/of Dordrecht naar verwachting de komende 24 uur nog overschreden wordt. Het weer neerlaten van de schuiven start op het moment waarop de waterstand ter plaatse van de kering stijgende is. Dit is het geval als:

1. de waterstand het afgelopen half uur gelijk is gebleven of voortdurend gestegen is, of
2. de waterstand minimaal 10 cm voortdurend gestegen is.

- Openen

Als de verwachte waterstanden de sluitcriteria de komende 24 uur niet meer overschrijden en de Maeslantkering is geopend of aan het openen, worden de schuiven geheven naar volledig geopende toestand en wordt de scheepvaart weer vrijgegeven.

Het Beslis & Ondersteunend Systeem (BOS) zorgt ervoor dat

het beschreven proces automatisch verloopt. Dit systeem geeft zonder tussenkomst van menselijk handelen opdrachten aan het Besturingssysteem (BES), dat de daadwerkelijke bewegingen uitvoert.

Schematisatie

In het model ligt de Hartelkering op tak *HAKA_SVKH* op 1.875 m en is geschematiseerd als een 'Compound Structure' met de naam *svkh* bestaande uit 4 parallel geschakelde 'Structures' genaamd *SVKH_breed_schuif*, *SVKH_breed_top*, *SVKH_smal_schuif* en *SVKH_smal_top*.

SVKH_breed_schuif schematiseert de brede opening van de kering en *SVKH_smal_schuif* de smalle opening. *SVKH_breed_top* en *SVKH_smal_top* schematiseren eventueel het overstortende water over resp. de brede en smalle gesloten schuif.

De totale doorstroomopening is een optelling van de vier afzonderlijke parallel geschakelde takken. De 'Structures' *SVKH_breed_top* en *SVKH_smal_top* doen pas bij gesloten toestand van de kering mee als de waterstanden hoger worden dan NAP +3 m.

De beslissingen en besturing van de Hartelkering worden met het besturingsmodel **KiWi-NDB**, een systeemonderdeel van de computerapplicatie **PRIS**, automatisch overeenkomstig het bovenomschreven beheer uitgevoerd. Het beheer van de kering is afhankelijk van eventueel optredende seiches, die in dit model niet gemodelleerd zijn. Het effect hiervan in het gebied achter de keringen is marginaal [lit. 13].

In het kader 3.3 staan enkele kanttekeningen en bijzonderheden van het geschematiseerde beheer.

.....
Kader 3.3

Kanttekeningen geschematiseerd
beheer Hartelkering

De sluitcriteria bij Rotterdam NAP +3,00 m en bij Dordrecht NAP +2,90 m worden resp. getoetst op de locaties in de takken NIMA_Rotterdam op 0 m en OUMA_Dordrecht op 0 m. Het sluitpeil NAP +2,00 m en het kenteringsdebiet voor resp. de peil- of kenteringsluiting worden berekend op de locatie in tak *HAKA_SVKH* op 2.355 m (dit is 480 m ten westen van de kering, ongeveer op de plaats van de meetpalen aan de zeezijde).

De vervallen over de kering, waarop getoetst wordt of de kering moet heffen, zijn de waterstandsverschillen van de berekende locaties in tak *HAKA_SVKH* op 2.355 m en 1.389 m (dit is 486 m ten oosten van de kering, ongeveer op de plaats van de meetpalen aan de rivierzijde). Omdat de rekentijdstap in het model 10 minuten bedraagt betekent dit dat de vervallen op 10 minuutwaarden getoetst worden. Aan de hand van de berekende waterstanden op de locatie *HAKA_SVKH* op 2.355 m wordt bepaald wanneer de schuiven vanuit de veilige stand weer moeten worden neergelaten.

Tijdens de voorbereiding als de scheepvaart gestremd is nemen de hoogte van de 'Structure' *SVKH_breed_schuif* en *SVKH_smal_schuif* af volgens de 10-minutenreeks: 20 m, 10 m en komen in die situatie op de veilige stand. Het sluiten gebeurt door de spleet van 'Structure' *SVKH_breed_schuif* te laten afnemen volgens de 10-minutenreeks: 10,00 m, 0,33 m en die van *SVKH_schuif_smal* volgens de 10-minutenreeks: 10,00 m, 8,00 m, 6,00 m, 4,00 m, 2,00 m, 0,33 m. Het laatste getal is ongelijk 0 vanwege de simulatie van lekopening (0,33 m * (95,5 + 46,8) m = 47 m²) bij gesloten toestand. Bij het heffen veranderen de

spleetwaarden van SVKH_breed_schuif volgens de 10-minutenreeks: 0,33 m, 7,00 m, 10,00 m, 10,00 m, 10,00 m, 20,00 m en van SVKH-smal_schuif volgens: 0,33 m, 0,33 m, 0,33 m, 10,00 m, 20,00 m. De drempelhoogte in 'Structure' SVKH_breed_top en SVKH_smal_top beweegt overeenkomstig de bovenkant van de schuiven. Voor SVKH_breed_top is de drempelhoogte [m t.o.v. NAP] bij sluiten volgens de 10-minutenreeks: 23, 13, 3 en bij openen: 3, 10, 13, 13, 13, 23. Voor SVKH_smal_top zijn deze reeksen bij sluiten: 23, 13, 11, 9, 7, 5, 3 en bij openen: 3, 3, 3, 13, 23. Al deze tijdreeksen worden door het systeemonderdeel SRS gegenereerd.

Voor de naverwerking van de berekeningsresultaten moeten de berekeningen met dichte en geopende Hartelkering uitgevoerd worden. Dit betekent dat er een set berekeningen met alle randvoorwaardencombinaties uitgevoerd is, waarbij de Hartelkering ondanks de hoge stormvloed niet bestuurd wordt en derhalve geopend blijft en een set, waarbij de Hartelkering bestuurd en gesloten wordt. De sluiting dient ook plaats te vinden als de sluitcriteria niet gehaald worden. Er worden dan zogenaamde geforceerde sluitingen uitgevoerd. In het volgende hoofdstuk komt dit aan de orde (§ 4.1.1).

3.3.5 Keersluis Heusdensch Kanaal

Beschrijving

De keersluis in het Heusdensch Kanaal ligt ter plaatse van kilometerraai 231, nabij het splitsingspunt Heusdensch Kanaal en Maas. De keersluis bestaat uit een 50 m brede en 10 m hoge, beweegbare schuif. In geopende toestand bevindt de onderzijde van de schuif zich op NAP + 11,40 m. De drempel ligt op NAP -4,00 m.

De keersluis sluit als op de Maas een hoge afvoergolf passeert. Dit wordt bepaald met de gemeten waterstand bij Heesbeen. Bij overschrijding van NAP +3,42 m gaat de keersluis dicht en bij onderschrijding van die stand gaat die weer open. Het sluiten van de keersluis duurt ongeveer één uur. Het openen duurt ook circa één uur.

Schematisatie

In het model ligt de keersluis in de tak *Andelms3* op 1527 m en is als een 'Structure' met een beweegbare schuif geschematiseerd. Het openen en sluiten van de sluif wordt geregeld met in de modelschematisatie ingestelde triggers. De sluittrigger toetst op overschrijding van de waterstand NAP +3,42 m op locatie *getijms3* op 0 m (is ter plaatse van Heesbeen). Bij deze situatie gaat de schuif van de keersluis met een snelheid van 0,0043 m/s over 15,40 m hoogte dicht en duurt daardoor 60 minuten. De opentriigger wordt actief bij onderschrijding van de waterstand NAP +3,42 m op locatie *getijms3* op 0 m. Het openen van de schuif gaat ook met een snelheid van 0,0043 m/s over 15,40 m hoogte en duurt zodoende ook 60 minuten. De open- en sluitsnelheden zijn in de modelschematisatie bij de betreffende controllers ingesteld.

3.3.6 Stuwen in de Nederrijn/Lek

Beschrijving

In de Nederrijn/Lek liggen stuwen bij Driel (kilometerraai 891.47), Amerongen (kilometerraai 922.31) en Hagestein (946.87) [lit. 14]. Voor de stuw Driel is het stuwbeheer volgens stuwprogramma S285 erop gericht om zo lang mogelijk een afvoer van 285 m³/s op de IJssel te realiseren.

Voor de stuw Amerongen is het stuwbeheer erop gericht om ter plaatse van de stuw een constante waterstand van NAP +6,00 m te realiseren.

Voor stuw Hagestein is het stuwbeheer erop gericht om ter plaatse van de aansluiting op het Amsterdam-Rijnkanaal een constante waterstand te realiseren van NAP +3,00 m.

Schematisatie

De complexe besturing van de stuwen is in het kader van deze berekeningen robuust en snel gemaakt.

In het model ligt de stuw Driel in tak *Nederrijn* op 12540 m. en is geschematiseerd als een 'Compound Structure' met de naam *Driel compound* en bestaande uit twee parallel geschakelde 'Structures' genaamd *stuw Driel zom* en *stuw Driel win*. De *stuw Driel win* schematiseert de overstort in het winterbed en heeft een breedte van 720 m en een vaste drempelhoogte van NAP +10,29 m. De *stuw Driel zom* schematiseert het stuwbeheer in het zomerbed. Deze overlaat heeft een breedte van 96 m. en de drempelhoogte, die bestuurd wordt door een 'Hydraulic Controller' afhankelijk van de afvoer bij IJsselkop. De tabel 3.10 geeft de in te stellen drempelhoogte bij de verschillende afvoeren weer.

.....
Tabel 3.10

Gemodelleerd stuwbeheer stuw
Driel

Afvoer IJsselkop [m ³ /s]	Drempelhoogte [m t.o.v. NAP]
0	+8,300
40	+7,901
140	+7,291
160	+7,164
180	+7,020
200	+6,941
250	+6,615
300	+6,243
350	+5,789
400	+2,900
410	+2,700

In het model ligt de stuw Amerongen in tak *Nederrijn* op 43174 m. en is geschematiseerd als een 'Compound Structure' met de naam *Amero compound* en bestaande uit twee parallel geschakelde 'Structures' genaamd *stuw Amero zom* en *stuw Amero win*. De *stuw Amero win* schematiseert de overstort in het winterbed en heeft een breedte van 1620 m en een vaste drempelhoogte van NAP +5,99 m.

De *stuw Amero zom* schematiseert het stuwbeheer in het zomerbed.

Deze overlaat heeft een breedte van 96 m. en de drempelhoogte, die bestuurd wordt door een 'Hydraulic Controller' afhankelijk van de afvoer bij kilometerraai 906.64. De tabel 3.11 geeft de in te stellen drempelhoogte bij de verschillende afvoeren weer.

.....	Afvoer kmr. 906.64	Drempelhoogte
Tabel 3.11	[m³/s]	[m t.o.v. NAP]
Gemodelleerd stuwbeheer stuw
Amerongen	0	+6,000
	40	+5,672
	140	+5,099
	160	+5,015
	180	+4,930
	200	+4,865
	250	+4,687
	300	+4,513
	350	+4,351
	400	+4,199
	450	+4,048
	500	+3,902
	550	+3,763
	680	-1,000

In het model ligt de stuw Hagestein in tak *Lek___1* op 17786 m. en is geschematiseerd als een 'Compound Structure' met de naam *Hages compound* en bestaande uit twee parallel geschakelde 'Structures' genaamd *stuw Hages zom* en *stuw Hages win*. De *stuw Hages win* schematiseert de overstort in het winterbed en heeft een breedte van 918 m en een vaste drempelhoogte van NAP +4,55 m. De *stuw Hages zom* schematiseert het stuwbeheer in het zomerbed. Deze overlaat heeft een breedte van 96 m. en de drempelhoogte, die bestuurd wordt door een 'Hydraulic Controller' afhankelijk van de afvoer bij kilometerraai 939.45. De tabel 3.12 geeft de in te stellen drempelhoogte bij de verschillende afvoeren weer.

.....	Afvoer kmr. 939.45	Drempelhoogte
Tabel 3.12	[m³/s]	[m t.o.v. NAP]
Gemodelleerd stuwbeheer stuw
Hagestein	0	+3,000
	40	+2,608
	140	+2,088
	160	+2,001
	180	+1,920
	200	+1,835
	250	+1,639
	300	+1,451
	350	+1,270
	400	+1,093
	450	+0,918
	500	+0,743
	550	-3,500

3.3.7 Stuwen in de Maas

Beschrijving

In de Maas liggen benedenstrooms Mook stuwen bij Grave (kilometerraai 175.65) en Lith (kilometerraai 200.87) [lit. 14]. Voor de stuw Grave is het stuwbeheer er op gericht om ter plaatse van Mook een constante waterstand te realiseren van NAP +7,70 m. Als bij toenemende afvoer de waterstand bij Grave daalt onder ca. NAP +7,40 m. wordt deze waterstand als streefpeil gehanteerd. Boven ca. 1150 m³/s is sprake van een open-rvier-situatie. Voor de stuw Lith is het stuwbeheer er op gericht om ter plaatse van de stuw een constante waterstand van NAP +4,90 m te realiseren. Als bij toenemende afvoer de waterstand bij Megen stijgt boven ca. NAP +5,50 m. wordt deze waterstand als streefpeil gehanteerd. Boven ca. 1250 m³/s is sprake van een open-rvier-situatie.

Schematisatie

De complexe besturing van de stuwen is in het kader van deze berekeningen robuust en snel gemaakt. In het model ligt de stuw Grave in tak *Zandmas7* op 9819 m. en is geschematiseerd als een 'Compound Structure' met de naam *stuw Grave compound* en bestaande uit twee parallel geschakelde 'Structures' genaamd *stuw Grave zom* en *stuw Grave win*. De *stuw Grave win* schematiseert de overstort in het winterbed en heeft een breedte van 600 m en een vaste drempelhoogte van NAP +8,20 m. De *stuw Grave zom* schematiseert het stuwbeheer in het zomerbed. Deze overlaat heeft een breedte van 110 m. en de drempelhoogte, die bestuurd wordt door een 'Hydraulic Controller' afhankelijk van de afvoer bij Mook. De tabel 3.13 geeft de in te stellen drempelhoogte bij de verschillende afvoeren weer.

	Afvoer Mook [m ³ /s]	Drempelhoogte [m t.o.v. NAP]
.....
Tabel 3.13		
Gemodelleerd stuwbeheer stuw		
Grave	0	+7,70
	50	+7,29
	125	+6,85
	250	+6,46
	500	+5,60
	750	+4,90
	900	+4,53
	1050	+3,70
	1150	+0,90
	5000	+0,90

In het model ligt de stuw Lith in tak *Zandmas7* op 34804 m. en is geschematiseerd als een 'Compound Structure' met de naam *stuw Lith compound* en bestaande uit twee parallel geschakelde 'Structures' genaamd *stuw Lith zom* en *stuw Lith win*. De *stuw Lith win* schematiseert de overstort in het winterbed en heeft een breedte van 300 m en een vaste drempelhoogte van NAP +5,14 m. De *stuw Lith zom* schematiseert het stuwbeheer in het zomerbed. Deze overlaat heeft een breedte van 114 m. en de drempelhoogte, die bestuurd

wordt door een 'Hydraulic Controller' afhankelijk van de afvoer bij Mook. De tabel 3.14 geeft de in te stellen drempelhoogte bij de verschillende afvoeren weer.

Tabel 3.14	Afvoer Mook [m ³ /s]	Drempelhoogte [m t.o.v. NAP]
Gemodelleerd stuwbeheer stuw
Lith	0	+4,90
	50	+4,50
	125	+4,18
	250	+3,72
	500	+3,03
	750	+2,45
	913	+2,09
	1000	+1,69
	1250	-3,00
	5000	-3,00

4. Modelresultaten

4.1 Gemodelleerde belastingsgevallen

Bij het definiëren van de belastingsgevallen is behalve de stormvloedstand op zee en het afvoerniveau van de bovenrivieren ook het lokale windveld als stochastische variabele meegenomen. Afhankelijk van de windrichting is er onderscheid gemaakt in het aantal door te rekenen belastingsgevallen voor het westelijke en het oostelijke segment. De samenhang tussen de Rijn- en de Maasafvoer maakt het noodzakelijk dat alle belastingscombinaties zowel met dominante Rijn- als Maasafvoeren doorgerekend moeten worden.

4.1.1 Westelijk segment

Het westelijk segment bevat de windrichtingen uit de sectoren zuidwest tot en met noord. Uitgaande van sectoren van 22,5 graden zijn dit 7 verschillende windrichtingen. Voor de maximale windsnelheid zijn 5 waarden gekozen, voor de afvoeren zijn 9 verschillende niveaus aangenomen en voor de zee wordt uitgegaan van 6 verschillende vloedstanden. De afgeleide randvoorwaarden van deze keuzes zijn beschreven in § 3.2. De tabel geeft de variatie in de belastingscombinaties.

Tabel 4.1

De variatie in de belastingscombinaties

stochastische variabele	variatie	aantal
windsnelheid [m/s]	0, 10, 20, 30, 42	1 + 4
windrichting [graden]	225, 247.5, 270, 292.5, 315, 337.5, 360	7
afvoerniveaus [m ³ /s]	600, 2.000, 4.000, 6.000, 8.000, 10.000, 13.000, 16.000 (14.790), 18.000	9
vloedstand zee [m NAP]	+1,11, +2,00, +3,00, +4,00, +5,00, +6,00	6

Voor één dominante afvoer en één beheerssituatie van de keringen zijn dit:

$$(1 + 4 \cdot 7) \cdot 9 \cdot 6 = 1.566 \text{ belastingsgevallen.}$$

Voor de verwerking van de hoogwaterstanden met het belastingsmodel is het door onnauwkeurigheden in de voorspelling van stormvloedstanden en eventueel falen van de Maeslant- en Hartelkering noodzakelijk om modelresultaten met beide keringen gesloten (bestuurd) en onder alle omstandigheden met beide keringen geopend aan te bieden. Hierdoor komt het aantal belastingsgevallen voor het westelijke segment op $2 \cdot 1.566 = 3.132$.

Bij de set belastingscombinaties met gesloten keringen dient de sluiting ook plaats te vinden als de sluitcriteria niet gehaald worden. Er worden dan zogenaamde geforceerde sluitingen van de keringen uitgevoerd.

Deze werkwijze is in [lit. 18] beschreven en komt er in het kort op neer dat belastingscombinaties die het sluitcriterium niet halen

opnieuw uitgerekend zijn met een aangepast verlaagd sluitcriterium (iets onder de hoogwatertop bij Rotterdam). De sluiting komt dan geforceerd tot stand. Bij de peilsluitingen is er een uitzondering, want als een bepaald belastingsgeval het sluitpeil bij de kering van NAP +2,00 m niet haalt en omdat de peiloverschrijding in werkelijkheid op de peilmeetstations geschiedt, zal in die situatie de kering open blijven. De belastingscombinaties zonder windopzet op zee, dus alle combinaties met gemiddeld getij op zee, worden niet geforceerd gesloten. De resultaten uit de 'gesloten' set zijn dan gelijk aan die van de 'open' set belastingscombinaties.

4.1.2 Oostelijk segment

Het oostelijk segment bevat de windrichtingen uit de sectoren noordnoordoost tot en met zuidzuidwest. Uitgaande van sectoren van 22,5 graden is dat concreet een variatie in 9 windrichtingen. Voor de maximale windsnelheid zijn 4 waarden gekozen, voor de afvoeren zijn 9 verschillende niveaus aangenomen en voor de zee wordt uitgegaan van één variant: het gemiddelde springtij 1991.0 (zie § 3.2.1). De afgeleide randvoorwaarden van deze keuzes zijn beschreven in § 3.2. De tabel geeft de variatie in de belastingscombinaties.

Tabel 4.2

De variatie in de belastingscombinaties

stochastische variabele	variatie	aantal
Windsnelheid [m/s]	0, 10, 20, 30	1 + 3
Windrichting [graden]	22,5, 45, 67,5, 90, 112,5, 135, 157,5, 180, 202,5	9
Afvoerniveaus [m ³ /s]	600, 2.000, 4.000, 6.000, 8.000, 10.000, 13.000, 16.000 (14.790), 18.000	9
Vloedstand zee [m NAP]	+1,30	1

Voor één dominante afvoer zijn dit: $(1 + 3 \cdot 9) \cdot 9 \cdot 1 = 252$ belastingsgevallen.

Vanwege de lage vloedstand op zee zijn alleen modelresultaten met geopende Maeslant- en Hartelkering nodig.

4.1.3 Samenhang afvoeren Bovenrijn en Maas

Een zekere samenhang tussen de afvoeren van de Bovenrijn en de Maas maakt het nodig om berekeningen te maken, waarbij enerzijds is uitgegaan van de afvoer van de Bovenrijn bij Lobith met de daarbijbehorende afvoer van de Maas bij Lith die met een kans van 50% optreedt (dominante Rijn) en anderzijds is uitgegaan van de afvoer van de Maas bij Lith met de daarbij behorende 50%-kans afvoer van de Bovenrijn bij Lobith (dominante Maas).

Alle belastingsgevallen gedefinieerd in het westelijke en oostelijke windsegment zijn daarom zowel met dominante Rijn en Maas uitgevoerd, waardoor het totale aantal berekeningen uitkomt op: $2 \cdot (3.132 + 252) = 6.768$.

In § 3.2.2 zijn de doorgerekende afvoerniveaus met de verdeling over de verschillende bovenrivieren aangegeven.

4.2 Verwerking

Op elke rekenlocatie ontstaan per belastingscombinatie modelresultaten in de vorm van een equidistante tijdreeks van de waterstanden met tijdstap van 10 minuten. De modelresultaten van de rekenlocaties zijn herleid naar vooraf gedefinieerde uitvoerlocaties (locaties in de as van de rivier: aslocaties en locaties aan de teen van de waterkering: oeverlocaties). De tijdreeksen op de aslocaties zijn verwerkt tot "maximale waterstanden".

De maximale waterstanden op alle rekenlocaties zijn verwerkt tot waterstandgrids bij situaties van maximale waterstand, waaruit de maximale waterstanden op de oeverlocaties afgeleid zijn.

Uit de maximale waterstanden van de rekenlocaties Rotterdam en Dordrecht zijn sluitfuncties voor de Maeslant- en Hartelkering afgeleid.

4.2.1 Uitvoerlocaties

De aslocaties zijn gekozen op de gehele kilometerraaien van de riviertakken en komen meestal niet overeen met de ligging van de rekenlocaties van het **SOBEK**-model. In [lit. 18] zijn alle aslocaties opgenomen, voorzien van een locatiennaam en ligging volgens het RD-coördinatenstelsel. Bovendien is de taknaam en –positie aangegeven volgens de plaatsaanduiding zoals **SOBEK** dat in de modelschematisatie toepast. De oeverlocaties zijn geclusterd tot locaties behorend bij een dijkkringgebied en liggen op een onderlinge afstand van ongeveer 100 m.

4.2.2 Maximale waterstanden

Voor ieder belastingsgeval zijn met het **TOF** op alle aslocaties resultaatparameters bepaald en tezamen met de karakteristieken van het betreffende belastingsgeval en de ligging (Parijse coördinaten t.o.v. RD) van de aslocatie in een zogenaamde FIF- (Flexible Interface File) structuur opgeslagen. De parameters die zijn bepaald zijn parameters gerelateerd aan de maximale waterstand, aan de maximale windsnelheid en aan beide [lit. 3].

Bij de verdere verwerking met het belastingsmodel HYDRA-B wordt (tot nu toe) alleen de parameter "maximale waterstand" gebruikt. Als de rekenlocaties ruimtelijk niet overeenkomen met de gewenste uitvoerlocaties dan zijn de resultaten herleid naar de uitvoerlocaties. Het verloop in de tijd van de waterstanden ter plaatse van de uitvoerlocaties is gegenereerd uit omliggende rekenlocaties door lineaire interpolatie van de berekende waterstandsverlopen in de tijd. Bij de belastingscombinaties uit het oostelijk windsegment (504 combinaties) zijn de resultaatparameters binnen een instelbaar tijdvenster uit de eventuele geïnterpoleerde resultaatreeksen gezocht. Het ingestelde tijdvenster in de fictieve¹) berekeningsperiode luidt: 14 januari 10:50 uur tot 15 januari 19:50 uur in 1991. Als de periode aan het profiel van het lokale windveld gerelateerd wordt, betekent

.....
¹ De periode is willekeurig gekozen (zie § 3.2.1), door de toegepaste correctie voor zeespiegelstijging is de getijreeks representatief voor het jaar 2011.

dit dat het begin van het tijdvenster 2 uur vóór het moment van maximale windsnelheid ligt en het eind 2 uur na het moment dat de windsnelheid afgenomen was tot 0 m/s. Door deze werkwijze zijn eventuele, relatief lagere maximale waterstanden als gevolg van de afluende wind op de uitvoerlocaties geselecteerd.

De belastingscombinaties uit het westelijke windsegment (6.264 combinaties) zijn zonder instelling van een tijdvenster verwerkt. Uit de gehele uitvoerperiode van het berekeningsresultaat (de fictieve¹) periode 13 januari 00:00 tot 17 januari 12:00 in 1991) zijn de resultaatparameters gezocht. Concreet betekent dit dat maximale waterstanden geselecteerd zijn uit de periode ruim 20 uur vóór de stormopzet tot ruim 1,5 dag na de stormopzet. Op deze wijze wordt een eventueel verlagend effect van gesloten keringen, waardoor de maximale waterstand lager uitkomt dan de maximale waterstand bij gemiddelde getijomstandigheden zonder gesloten keringen, nooit gevonden.

4.2.3 Waterstandgrids

Op alle riviertakken zijn met het **TOF** waterstandgrids gegenereerd. Bij iedere rekenlocatie is een dwarsraai gedefinieerd. Langs de dwarsraai zijn, uitgaande van de maximale hoogwaterstand van de rekenlocatie, waterstanden berekend. Hierbij is het dwarsverhang als gevolg van wind in rekening gebracht. De berekening van het dwarsverhang wordt met behulp van een formule uit de TAW-leidraad uitgevoerd [lit. 3, bijlage 3]. Aangenomen is dat het windverhang kantelt om de rekenlocatie op de as van de rivier. Er is bij iedere raai gerekend met de windsnelheid die optrad ten tijde van de berekende maximale hoogwaterstand in die raai. Voor de waterdiepte is de gemiddelde waterdiepte van alleen de natte delen langs de raai genomen en voor de strijklengte is de lengte van de raai inclusief droge delen aangehouden. De raaien zijn vervolgens geïnterpoleerd in **Arc/Info** tot het gedefinieerde waterstand grid. Het waterstandgrid heeft in oorsprong cellen van 100 m bij 100 m en bevat per cel een waarde van de waterhoogte t.o.v. de bodem.

Uit de waterstandgrids zijn de maximale hoogwaterstanden voor de gedefinieerde oeverlocaties afgeleid.

4.2.4 Sluitfuncties

Het belastingsmodel houdt rekening met de kans dat de Maeslant- en Hartelkering niet gesloten zijn, terwijl dat wel moest en dat ze dicht zijn terwijl dat niet de bedoeling was. Dergelijke situaties ontstaan enerzijds doordat de sluiting in gang wordt gezet door voorspelde waterstanden, die met een zekere onnauwkeurigheid voorspeld worden en anderzijds door het falen van de techniek. Om de kans te schatten gaat het belastingsmodel uit van de sluitcriteria bij Rotterdam en Dordrecht, omgerekend naar de stochastische variabelen van de modelrandvoorwaarden: stormvloedstand op zee (M), afvoerniveau van Rijn (Q_R) of Maas (Q_M), windsnelheid (U) en windrichting (R).

Dit worden sluitfuncties genoemd.

Uit de zogenaamde FIF-bestanden van de belastingscombinaties met geopende keringen zijn in het M, Q_R -vlak de waterstand-isolijnen voor Rotterdam bij NAP +3,00 m en voor Dordrecht bij NAP +2,90 m bepaald voor elke combinatie van windsnelheid en –richting. In [lit. 18] is dit in detail beschreven. Uitgaande van het meest kritische criterium van Rotterdam en Dordrecht bij een zekere combinatie van windsnelheid en –richting ontstaat een samengestelde, geknikte relatie, de sluitfunctie in het M, Q_R -vlak, die bij lagere afvoerniveaus gebaseerd is op de isolijn van Rotterdam en bij hogere afvoerniveaus op de isolijn van Dordrecht. Behalve in het M, Q_R -vlak zijn deze sluitfuncties ook in het M, Q_M -vlak bepaald. Omdat de belastingsgevallen uit het oostelijk segment niet leiden tot gesloten keringen zijn alleen de combinaties uit het westelijk segment relevant.

Uit de set berekeningen met dominante Rijnafoer ontstaan $(1 + 4 \cdot 7) = 29$ verschillende sluitfuncties. Uitgaand van dominante Maasafvoer zijn dat nogmaals 29 sluitfuncties.

4.3 Verificatie

De verificatie is in twee stappen uitgevoerd. In de eerste stap is gekeken naar de werking van het modelinstrumentarium en in de tweede stap worden de resultaten met HYDRA-B geverifieerd.

4.3.1 Eerste stap

Voor de adequate werking van de computerapplicaties, zoals die in hoofdstuk 2 beschreven zijn, zijn 54 randvoorwaardencombinaties (54-puntensom) met gesloten en geopende Maeslant- en Hartelkering uitgerekend en vergeleken met de uitkomsten van berekening, die destijds ook is uitgevoerd voor de verificatie van de berekeningen voor het Randvoorwaardenboek 2001.

De vergelijking is gemaakt op grond van de normfrequenties, berekend met Special Hydra-B, en afgebeeld in tabel 4.3, waarin hoogwaterstanden bij een zekere overschrijdingsfrequentie voor diverse locaties zijn afgebeeld. Met Special Hydra-B, een versie van Hydra-B met minder stochastische variabelen, is het mogelijk met 108 i.p.v. 3384 belastingsgevallen normfrequenties uit te rekenen. De vergelijking is indicatief en heeft slechts als doel de uitkomsten in orde van grootte te bekijken en is geenszins bedoeld als vergelijking van eerder vastgestelde toetspeilen met de TMR2006.

Tabel 4.3

Verschillen rekensets van 2001 en 2006 met Special Hydra-B op grond van norm-frequenties

Deelgebied	locatie	frequentie [1/j]	berekening		Verschil tov 2001 [m]
			2001 [m NAP]	2006 [m NAP]	
Noordrand	Maasmond	1/10000	5.037	5.057	0.02
	Hoek v. Holland	1/10000	5.125	5.145	0.02
	Maassluis	1/10000	3.228	3.240	0.01
	Vlaardingen	1/10000	3.266	3.273	0.01
	Rotterdam	1/10000	3.434	3.426	-0.01
	Krimpen ad IJssel	1/2000	3.195	3.193	0.00
Middendeel-west	Spijkenisse	1/4000	3.077	3.109	0.03
	Goidschalxoord	1/2000	2.780	2.756	-0.02
	Dordrecht	1/2000	2.971	2.906	-0.06
Zuidrand	Hellevoetsluis	1/4000	2.543	2.495	-0.05
	Rak noord	1/2000	2.580	2.552	-0.03
	Moerdijk	1/2000	2.683	2.640	-0.04
Rivieren Noord	Krimpen ad Lek	1/2000	3.168	3.155	-0.01
	Schoonhoven	1/2000	4.371	4.215	-0.16
	Hagestein ben.	1/2000	6.725	6.614	-0.11
	Amerongen ben.	1/1250	8.826 ¹⁾	8.882	0.06
	Driel beneden	1/1250	12.677 ¹⁾	12.586	-0.09
	IJsselkop	1/1250	14.850 ¹⁾	14.796	-0.05
Rivieren Midden	Werkendam	1/2000	4.443	4.139	-0.30
	Vuren	1/1250	6.306	6.164	-0.14
	Zaltbommel	1/1250	8.832	8.887	0.05
	Tiel	1/1250	11.628	11.540	-0.09
	Nijmegen haven	1/1250	14.887 ¹⁾	14.757	-0.13
	PannerdenseKop	1/1250	16.871 ¹⁾	16.926	0.05
Rivieren Zuid	Keizersveer	1/2000	3.385	3.192	-0.19
	Heesbeen	1/2000	5.213	4.870	-0.34
	Lith dorp	1/1250	7.449	7.134	-0.32
	Ravenstein	1/1250	10.411 ¹⁾	10.244	-0.17
	Mook	1/1250	12.824 ¹⁾	12.530	-0.29

1) Deze waarden vielen in 2001 buiten het modelgebied en zijn daardoor in het kader van de verificatie niet berekend maar overgenomen uit HR2001

Bij de berekeningen van de hoogwaterstanden zijn in 2006 enkele verschillende uitgangspunten gehanteerd en modelaanpassingen gedaan t.o.v. 2001, zoals:

1. zeespiegelstijging (zie § 3.2.1)
2. afvoeren (zie § 3.2.2) en lozingen (zie § 3.2.4)
3. modeluitbreiding met bovenrivieren (zie § 3.1.1)
4. modelaanpassing gebied rond Eiland van Dordrecht en Biesbosch (zie § 3.1.1)
5. project Noordwaard (NOP-variant) is ingebouwd (zie § 3.1.2)
6. snellere, gemodelleerde sluiting van de Haringvlietssluisen na een spuiperiode (zie § 3.3.1)

De verschillen bij de diverse locaties t.o.v. van 2001 zijn naar verwachting en kwalitatief verklaarbaar aan de hand van genoemde verschillen in uitgangspunten en modelaanpassingen. Op grond hiervan is de belangrijkste conclusie dat het instrumentarium goed werkt.

4.3.2 Tweede stap

In de tweede stap wordt een vergelijking gemaakt van de locaties, die bij de eerste stap berekend zijn met de 54 randvoorwaardencombinaties, met de resultaten TMR2006 van HYDRA-B.

De in de tabel 4.4 genoemde locaties zijn gelijktijdig in het gehele proces vanaf de naverwerking van de resultaten van de waterloopkundige berekeningen tot en met de berekening van de toetspeilen met HYDRA-B meegenomen met de andere aslocaties. De vergelijking met de kolomwaarden van 2006 is daardoor een adequate verificatie van het proces en de berekende TMR2006-toetspeilen.

Tabel 4.4

Verschillen rekensets van 2006 met Special Hydra-B en TMR2006 met Hydra-B op grond van normfrequenties

deelgebied	locatie	frequentie [1/j]	berekening 2006 [m NAP]	berekening TMR2006 [m NAP]	Vershil tov 2006 [m]
		...			
Noordrand	Maasmond	1/10000	5.057	5.060	0.00
	Hoek v. Holland	1/10000	5.145	5.144	0.00
	Maassluis	1/10000	3.240	3.422	0.18
	Vlaardingen	1/10000	3.273	3.458	0.19
	Rotterdam	1/10000	3.426	3.618	0.19
Middendeel-west	Krimpen ad IJssel	1/2000	3.193	3.224	0.03
	Spijkenisse	1/4000	3.109	3.180	0.07
	Goidschalxoord	1/2000	2.756	2.811	0.06
Zuidrand	Dordrecht	1/2000	2.906	2.947	0.04
	Hellevoetsluis	1/4000	2.495	2.572	0.08
	Rak noord	1/2000	2.552	2.612	0.06
Rivieren Noord	Moerdijk	1/2000	2.640	2.691	0.05
	Krimpen ad Lek	1/2000	3.155	3.178	0.02
	Schoonhoven	1/2000	4.215	4.220	0.00
	Hagestein ben.	1/2000	6.614	6.674	0.06
	Amerongen ben.	1/1250	8.882	8.836	-0.05
Rivieren Midden	Driel beneden	1/1250	12.586	12.622	0.04
	IJsselkop	1/1250	14.796	14.805	0.01
	Werkendam	1/2000	4.139	4.151	0.01
	Vuren	1/1250	6.164	6.152	-0.01
	Zaltbommel	1/1250	8.887	8.910	0.02
	Tiel	1/1250	11.540	11.540	0.00
Rivieren Zuid	Nijmegen haven	1/1250	14.757	14.778	0.02
	PannerdenseKop	1/1250	16.926	16.931	0.01
	Keizersveer	1/2000	3.192	3.256 1)	0.06
	Heesbeen	1/2000	4.870	4.959 1)	0.09
	Lith dorp	1/1250	7.134	7.166 1)	0.03
	Ravenstein	1/1250	10.244	10.305 1)	0.06
	Mook	1/1250	12.530	12.543 1)	0.01

¹⁾ Vanwege de vergelijking met de tabelwaarden van 2006 zijn deze waarden overgenomen uit de set Rijndominant en wijken daardoor af van de TMR2006, die voor dat traject Maasdominant zijn afgeleid.

Bij de berekeningen van de hoogwaterstanden zijn in TMR2006 enkele onvolkomenheden, zoals de foutieve interpretatie van het SOBEK-model van de lozingen op de Maas, hersteld. Bovendien is bij TMR2006 de faalkans van de Maeslantkering aangepast naar 1/100 per sluiting.

De verschillen bij de diverse locaties t.o.v. van 2006 zijn naar verwachting en kwalitatief verklaarbaar aan de hand van genoemde onvolkomenheid en de aanpassing van de faalkans. Op grond hiervan is de belangrijkste conclusie dat het gehele proces tot en met de berekening van de TMR2006-toetspeilen goed en betrouwbaar is verlopen en daarmee het eindresultaat voldoende geverifieerd is.

4.4 Levering

De volgende definitieve modelresultaten kunnen worden gezien als het product, en zijn gereed om opgenomen te worden in de database behorend bij Hydra-B:

- maximale waterstanden

Voor elke gemodelleerde belastingscombinatie (6.768) is op elke uitvoerlocatie (circa 600 aslocaties en circa 11000 oeverlocaties) onder andere de maximale waterstand in een uitvoerbestand geleverd. De uitvoerbestanden hebben een zogenaamde FIF- (Flexible Interface File) structuur, een tijdelijke opslagstructuur ten behoeve van de definitieve opslag in Microsoft Access databases voor het belastingsmodel **HYDRA-B**. Het gaat om de levering van ruim 13.500 FIF-bestanden. Het inlezen van de FIF-bestanden geschiedt met de databasemanager Rand2001. De Thermometerrandvoorwaarden 2006 worden in verschillende databases opgeslagen, één voor de aslocaties, één voor de locaties bij verbindende waterkeringen en één per dijkkring. Deze databases worden met **HYDRA-B** op de set-up CD meegeleverd.

- sluitfuncties

Zowel in het M, Q_R -vlak als in het M, Q_M -vlak zijn 29 sluitfuncties voor de Maeslant- en Hartelkering in een tekstbestand geleverd. Een sluitfunctie is uitgedrukt in 9 getallenparen (zeestand, afvoerniveau). Totaal zijn 58 sluitfuncties in een tekstbestand geleverd.

5. Conclusies / aanbevelingen

Uit de door RIZA/WRE uitgevoerde verificatie kan geconcludeerd worden dat de geleverde modelresultaten acceptabel zijn en dat de wijze waarop ze tot stand zijn gekomen betrouwbaar is gebleken.

Bij de uitgevoerde berekeningen is het beheer van de Maeslant- en Hartelkering gedetailleerd meegenomen door gebruik te maken van het geprogrammeerde keringscript in **KiWi**. Deze aanpak vereist veel rekentijd. Door het beheer meer te schematiseren, zoals dat in het verleden bij de berekeningen voor het Randvoorwaardenboek 1996 is gedaan en zoals dat in de MHW-processor (ontwikkeld in het kader van Integrale Verkenningen Benedenrivieren) wordt toegepast, kan de rekentijd aanzienlijk verminderd worden. De consequenties op de resultaten dienen vooralsnog eerst nader in beeld gebracht te worden.

Op alle riviertakken zijn uit de hoogwaterstanden, één dimensionaal berekend op de as van de rivier, tweedimensionale hoogwaterstandgrids door afschatting van het dwarsverhang afgeleid. Aanbevolen wordt dergelijke grids geïntegreerd met meer-D-modellen uit te rekenen.

De inundatie van Europoort zit niet in het model, waardoor de demping en kortsluitstromingen in dat gebied bij extreem hoge waterstanden niet helemaal optimaal zijn gemodelleerd. Een nader onderzoek naar de invloed van windsnelheid (uit verschillende richtingen) op de hoogte van de berekende waterstanden wordt aanbevolen [lit. 6]. Vooral het opstuwend effect van de waterstand op het Haringvliet-Hollandsch Diep bij windrichtingen draaiend van west-noord-oost, leidt tot onnodige afwijkingen tussen berekening en meting.

Het rekenen met afvoergolven in plaats van met permanenties is aan te bevelen als retentiemogelijkheden een rol gaan spelen.

In het **SOBEK-NDB**-model ligt de noordelijke zeerland bij de Maasmond. Op deze locatie zijn geen historische waarnemingen voorhanden. Voor de statistiek en gemiddelde getijreeksen wordt gebruikgemaakt van locatie Hoek van Holland. Waarnemingen registreren op een locatie in zee, die representatief zijn voor Maasmond, is aan te bevelen.

Vanwege de grote hoeveelheid door te rekenen belastingscombinaties, alsmede de lange rekentijd per combinatie, is het aan te bevelen om onderzoek te doen of optimalisatie van het aantal mogelijk is.

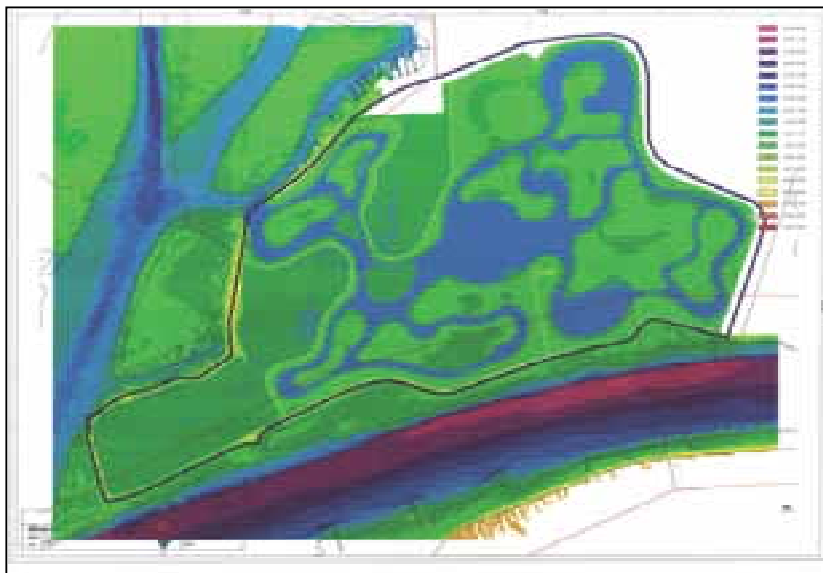
Literatuur

- [1] Thermometerrandvoorwaarden 2006, Benedenrivierengebied, Hydra-B. HKVLIJN IN WATER, M.T. Duits en R.P. Waterman, PR1309.10, september 2007.
- [2] Waterloopkundige berekeningen in het Benedenrivierengebied voor het Randvoorwaardenboek 2001, ing. H. de Deugd, RIZA-werkdocument 2002.203X, december 2002.
- [3] Gebruikershandleiding PRIS & TOF; Sacha de Goederen, RIZA-werkdocument 99.153X, november 1999.
- [4] Een SOBEK-model van het Noordelijk Deltabekken, Kalibratie en verificatie zoutbeweging, RIZA-werkdocument 2003.047X, drs M. Kraaijeveld
- [5] Een SOBEK-model van het Noordelijk Deltabekken: bouw, kalibratie en verificatie; ir. M. van der Linden en ing. J.W. van Zetten, RIZA-rapport 2002.002, november 2001.
- [6] B&O SOBEK-NDB, Jaarsom 2004, Verificatie van de waterstanden, RIZA-werkdocument 2006.099X, ing. J.W. van Zetten, februari 2006.
- [7] Veranderingen Hartelkanaal 1993 –2004, RIZA-werkdocument 2006.080X, R. Struijk, juli 2006
- [8] SOBEK-Rijn versie 2004.1 en 2004.2, RIZA/WRR Memo 2004-007(A), R. van der Veen, 13 december 2004.
- [9] SOBEK-Maas versie 2004.1, RIZA/WRR Memo MAA*2004-006(A), R. van der Veen, 29 november 2004.
- [10] Calibratie riviertakken in NDB-model, RIZA/WRR Memo ADV*2005-008(A), R. van der Veen, 30 augustus 2005
- [11] Onderzoek naar de profielen in de SOBEK-schematisatie, Problemen bij sterke zijdelingse uitbreiding stroomvoering, RIZA-werkdocument 2003.145X, Johan van Zetten en Henk de Deugd, September 2003.
- [12] SOBEK-model Noordelijk Deltabekken, Nieuwe Merwede, Beneden Merwede en de Brabantse Biesbosch, HKVLIJN IN WATER, ir. M.R. Hartman, ir. A.P.P. Termes en ir. J. Udo, PR499, december 2001.

-
- [13] Parapludocument seiches; Rijkswaterstaat (projectbureau Stormvloedkering Nieuwe Waterweg) en BMK (Bouwcombinatie Maeslant Kering). Document A-14-0021, november 1999.
- [14] Modelling stuwen Maas en Rijn voor HR2006, RIZA/WRR Memo ADV*2005-015(A), R. van der Veen, 11 juli 2005
- [15] Gemiddelde Getijkromme 1991.0; Rijksinstituut voor Kust en Zee/ RIKZ, 1994.
- [16] Laterale toestroming voor NDB-model voor HR2006, RIZA/WRR Memo ADV*2005-013(A). R. van der Veen, 11 juli 2005
- [17] Effectanalyse van zijdelingse toestroming op toetspeilen in het Noordelijk Deltabekken, RIZA/WRE Memo, Nadine Sloodjes, Ronald Struijk, Juni 2005
- [18] Waterloopkundige berekeningen Benedenrivierengebied voor Hydraulische Randvoorwaarden 2006; Sacha de Goederen, RIZA werkdocument 2006.102X, mei 2007.
- [19] Waterakkoord Hollandsche IJssel en Lek; Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland, oktober 1999.
- [20] Basisontwerp keringsprocedures Stormvloedkering Nieuwe Waterweg, Stormvloedkering Hartelkanaal en Hartelsluis, versie 5.1, Opsteller L. Rozemuller, OKE-2004-100-T, 9 maart 2004.
- [21] Schil rond SOBEK: Procedure voor Nazorg; F. Scherjon, S. Hummel, G.K. Verboom, WL I delft hydraulics E0164, versie 10, augustus 1998.
- [22] Achtergrondrapport HR 2006 voor de Benedenrivieren, Thermometerrandvoorwaarden 2006, J.P. de Waal, Rijkswaterstaat RIZA Rapport 2007.023, ISBN 978-90-369-1402-4, 2007
- [23] B&O SOBEK-NDB, Vergelijking modellen NDB1_0_0 en RVWB2006, RIZA-werkdocument 2005.180X, ing. J.W. van Zetten, december 2005.

De Aakvlaai (zie figuur A1) is ingericht als recreatiegebied ter compensatie van het afnemen van die functie in de Brabantse Biesbosch. Het gebied ligt nabij splitsingspunt Bergsche Maas en Spijkerboor.

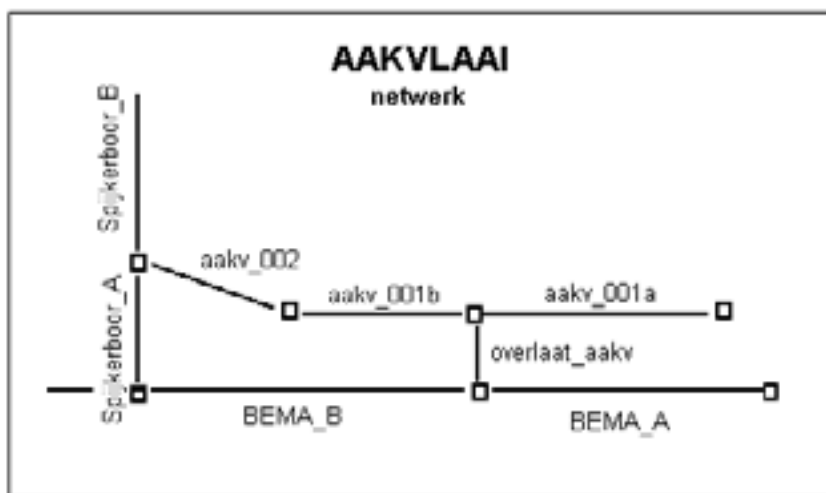
Figuur A1
Aakvlaai. (DTM)



Er is een directe verbinding van het gebied met de Spijkerboor. De hoofdwaterkering langs de Bergsche Maas is over een lengte van 1.350 m verlaagd tot NAP +2,00 m. Hierdoor heeft het gebied naast de recreatieve functie ook een bergende functie tijdens omstandigheden van hogere afvoeren van de Maas.

Figuur A2 geeft een overzicht van het geschematiseerde netwerk van de Aakvlaai.

Figuur A2
Netwerk Aakvlaai

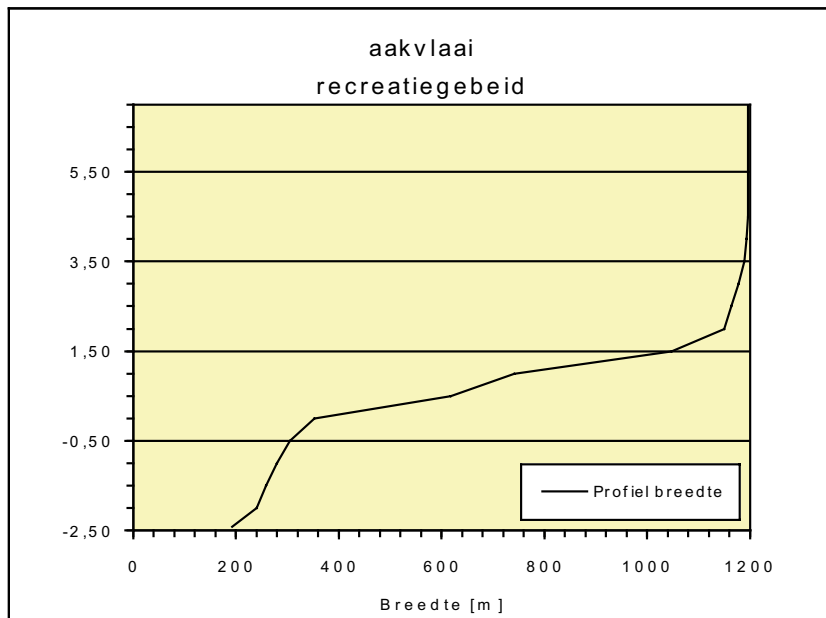


Voor de aansluiting met het bestaande netwerk zijn de takken *BEMA* en *Spijkerboor* opgeknipt in resp. *BEMA_A* (2.624,5 m), *BEMA_B* (1.432,5 m) en *Spijkerboor_A* (267 m), *Spijkerboor_B* (4.579 m). De Aakvlaai vormt via de tak *aakv_002* (lengte 997 m; vereiste, minimale lengte in het model) de verbinding met het Spijkerboor en via de tak *overlaat_aakv* (lengte 51 m) de verbinding met de Bergsche Maas. De Aakvlaai bestaat uit de takken *aakv_001a* en *aakv_001b* (beide 675 m lang).

Uit het ontwerp DTM zijn profielen bepaald voor de Aakvlaai en de verbindingsegeul met het Spijkerboor. Op diverse niveaus zijn horizontale oppervlakken uit het DTM berekend.

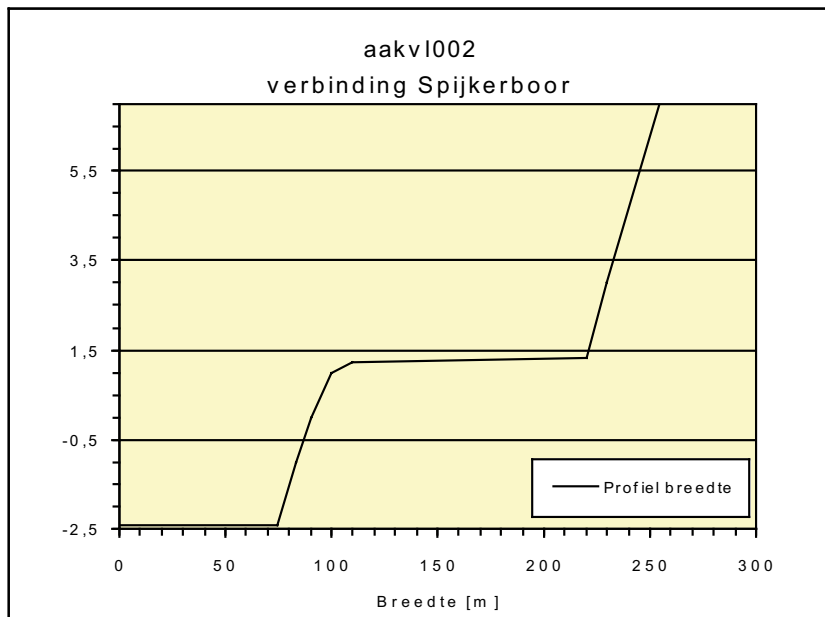
De oppervlakken van de Aakvlaai gedeeld door de lengte 1.350 m levert de bergende en stroomvoerende breedte, die overigens aan elkaar gelijk gesteld zijn, van het profiel *aakvlaai* (zie figuur A3) welk halverwege de takken *aakv_001a* en *aakv_001b* is opgelegd. De aangenomen ruwheid van deze takken is een constante Manningwaarde van 0,1.

Figuur A3
Profiel Aakvlaai



De oppervlakken van de geul naar het Spijkerboor gedeeld door de aangenomen lengte van 100 m levert de bergende en stroomvoerende breedte, die aan elkaar gelijk zijn, van het profiel *aakv/002* (zie figuur A4) welk halverwege de tak *aakv_002* is opgelegd. De ruwheid voor deze tak is gesteld op een constante Manningwaarde van 0,04.

Figuur A4
Profiel aakvl002 (verbinding
Spijkerboor)



De tak *overlaat_aakv* heeft een breedte van 1.300 m en aan de Bersche Maas-zijde een bodemdiepte van NAP -8,00 m en aan de Aakvlaai-zijde een bodemdiepte van NAP -2,40 m. In deze tak is de overlaat type 'Weir' *overlaataakvlaai* gedefinieerd. Deze overlaat heeft een drempelhoogte van NAP +2,00 m en een breedte van 1.350 m. In de tak is een ruwheid van constant 0,1 (Manningwaarde) aangenomen. Uit een oriënterende berekening is gebleken dat de Aakvlaai een verlagend effect op de extreme hoogwaterstand bij maatgevende afvoer heeft ter plaatse van Keizersveer van circa 1 dm.

In dit verband wordt met Noordwaard (figuur B1) het toekomstige natuurontwikkelingsgebied aangeduid en omvat het gehele westelijke gedeelte van de polder Noordwaard, die is gelegen ten westen van Werkendam.

Figuur B1
Noordwaard (DTM)



Het gebied wordt via twee openingen in de hoofdwaterkering aan de noordzijde verbonden met de Nieuwe Merwede ter plaatse van kilometerraai 969.1 en 971.5 (in figuur B1 ter plaatse van vak 5 en vak 1) en aan de zuidzijde met het Gat van de Kampen en het Gat van de Noorderklip in de Brabantse Biesbosch (in figuur B1 ter plaatse bij vak 14).

In figuur B1 zijn de aan te leggen toekomstige krekken aangegeven. Voor de modelschematisatie is het gebied opgedeeld in 15 vakken, zoals in de figuur weergegeven. Van elk vak zijn op verschillende

niveaus in de diepte horizontale oppervlakten bepaald. Ook is voor elk vak de lengte ongeveer over de as van de kreek bepaald.

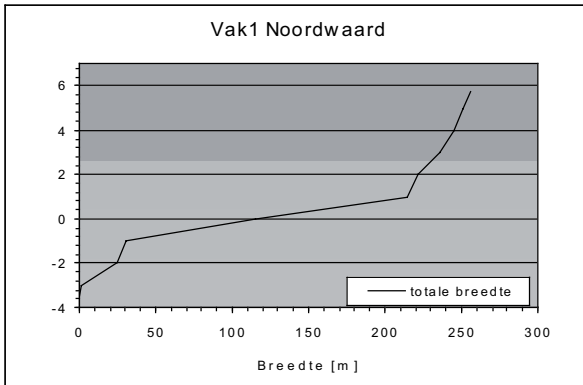
In onderstaande tabel zijn de vastgestelde lengtes van de vakken weergegeven.

Vaknummer	Lengte [m]	SOBEK description
1	360	NOWA_001
2	308	NOWA_002
3	500	NOWA_003
4	527	NOWA_004
5	261	NOWA_005
6	997	NOWA_006
7	204	NOWA_007
8	1340	NOWA_008
9	1394	NOWA_009
10	944	NOWA_010
11	1167	NOWA_011
12	1280	NOWA_012
13	1000	NOWA_013
14	387	NOWA_014
15	230	NOWA_015

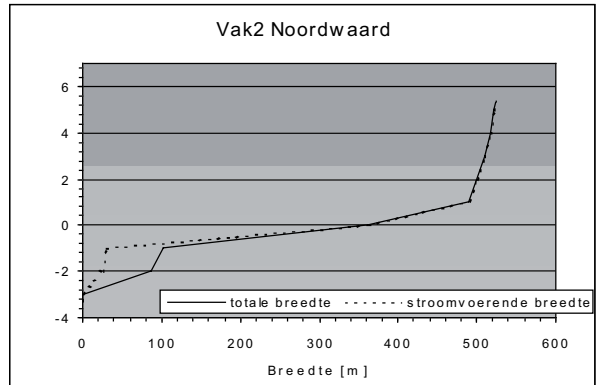
De bemeten horizontale oppervlakten gedeeld door de vastgestelde vaklengte levert voor elk vak een beschrijving van de breedte in de diepte; het totale bergend profiel. In de figuren B2 t/m B16 zijn de profielen afgebeeld. De aangetakte doodlopende geulen en kreek aanwezig in de vakken 2, 5, 6, 8 en 15 stromen niet mee en zijn derhalve voor de stroomvoering op de totale breedte in mindering gebracht. Bij genoemde vakken is daardoor de stroomvoerende breedte kleiner dan de totale bergende breedte en manifesteert zich hoofdzakelijk in het diepere gedeelte van het profiel onder NAP (zie figuur B3, B6, B7, B9 en B16). Verder is aangenomen dat bij hoge waterstanden, waarbij de hoger gelegen delen in het vak overstromen, het gehele vak volledig stroomvoerend is, waardoor de breedte van het doorstroomprofiel op die hogere niveaus gelijk is aan de breedte van het totale bergende profiel.

De namen van de profielen, zoals die in SOBEK bij de 'Descriptions' gedefinieerd zijn, zijn in de bovenliggende tabel bij het corresponderende vaknummer vermeld.

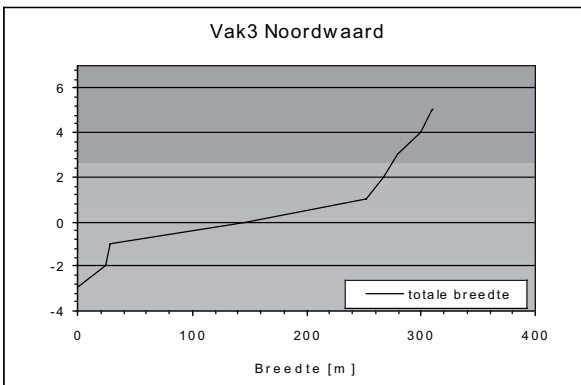
Figuur B2
Noordwaard vak 1



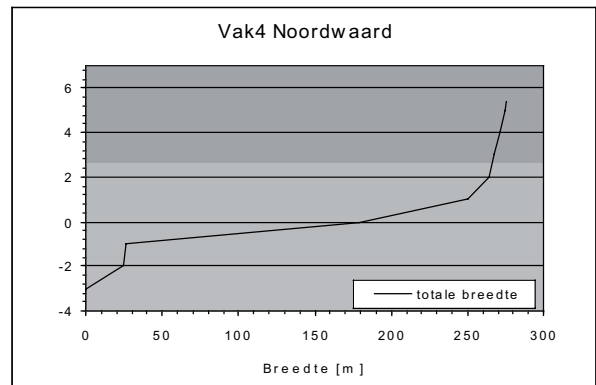
Figuur B3
Noordwaard vak 2



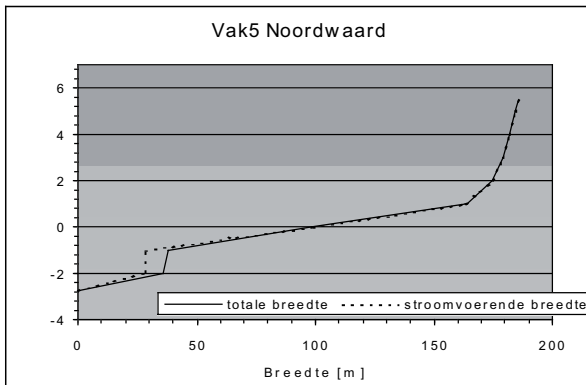
Figuur B4
Noordwaard vak 3



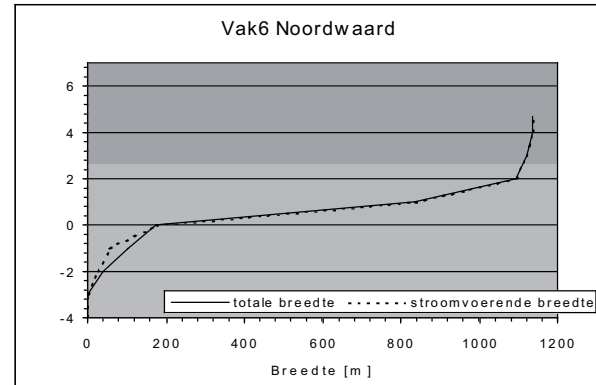
Figuur B5
Noordwaard vak 4



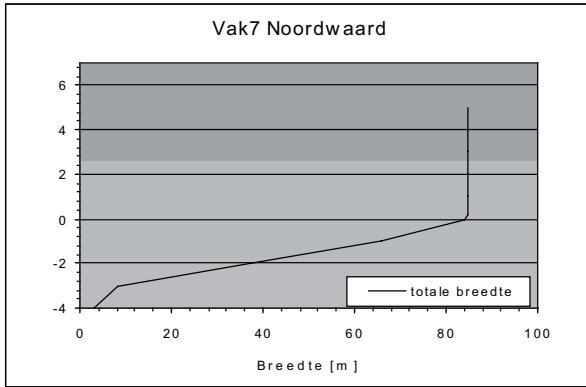
Figuur B6
Noordwaard vak 5



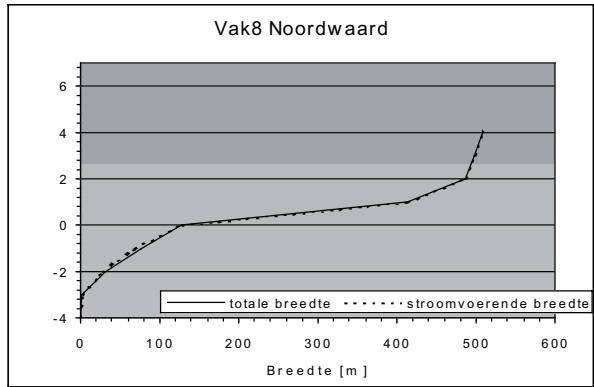
Figuur B7
Noordwaard vak 6



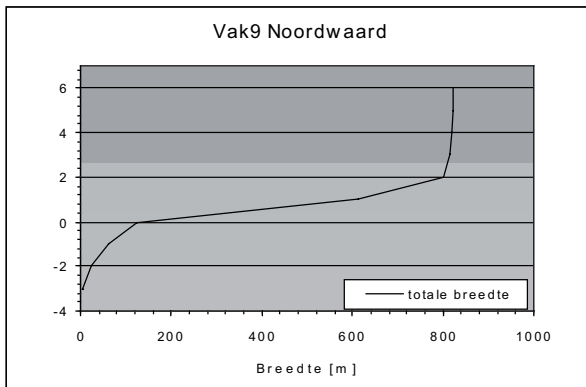
.....
Figuur B8
Noordwaard vak 7



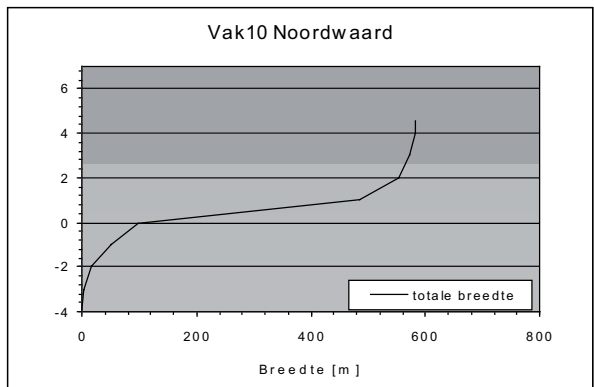
.....
Figuur B9
Noordwaard vak 8



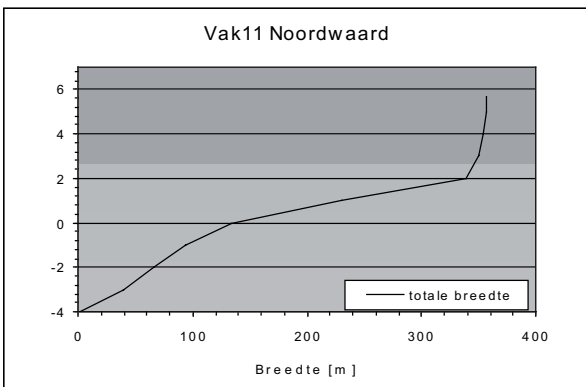
.....
Figuur B10
Noordwaard vak 9



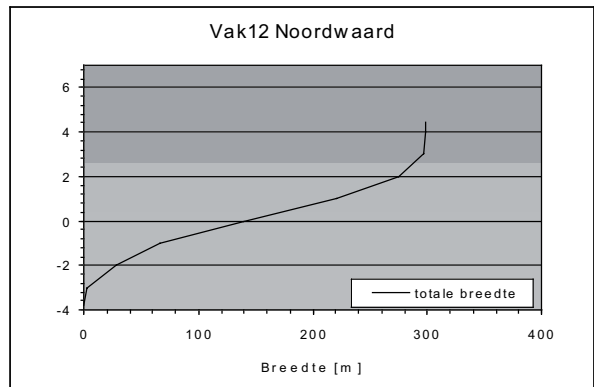
.....
Figuur B11
Noordwaard vak 10



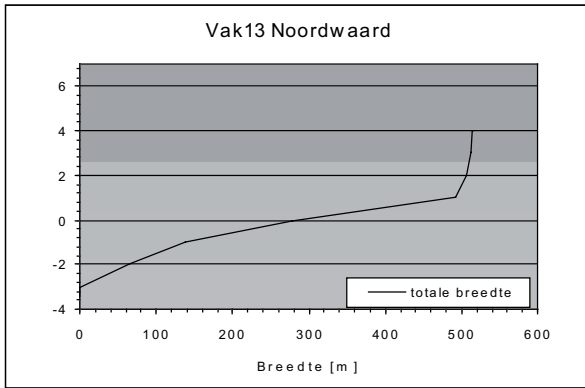
.....
Figuur B12
Noordwaard vak 11



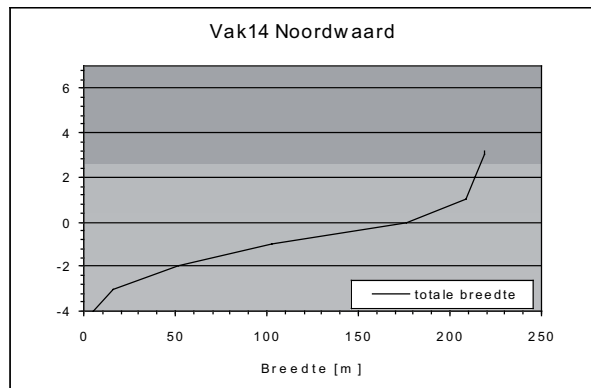
.....
Figuur B13
Noordwaard vak 12



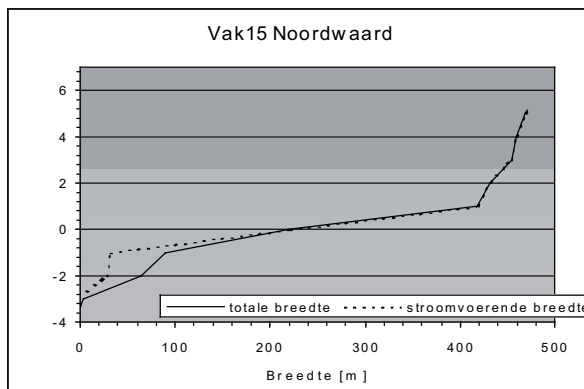
Figuur B14
Noordwaard vak 13



Figuur B15
Noordwaard vak 14

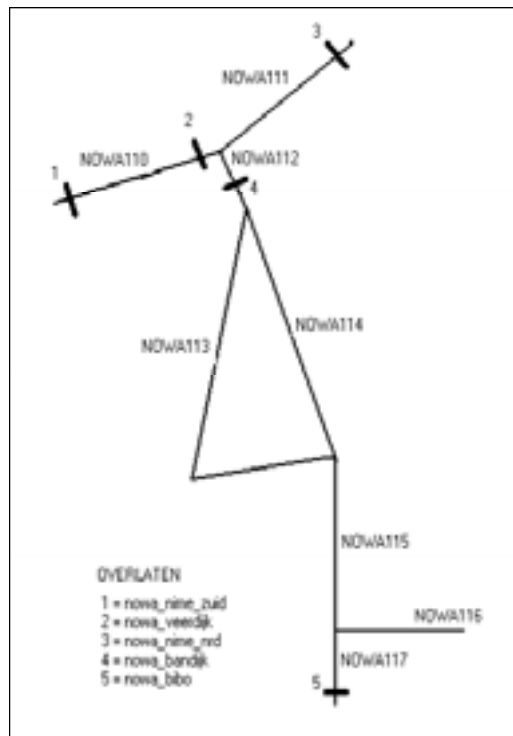


Figuur B16
Noordwaard vak 15



De geulen en krekens van de Noordwaard worden door 8 takken geschematiseerd. Het netwerk is afgebeeld in figuur B17.

Figuur B17
Netwerk Noordwaard



Ter plaatse van de aansluitingen aan de noordkant met de Nieuwe Merwede en aan de zuidkant van de Biesbosch zijn overlaten gelegd. In de figuur zijn deze overlaten aangeduid met resp. de nummers 1, 3 en 5. De eigenschappen van deze kunstwerken zijn in onderstaande tabel weergegeven.

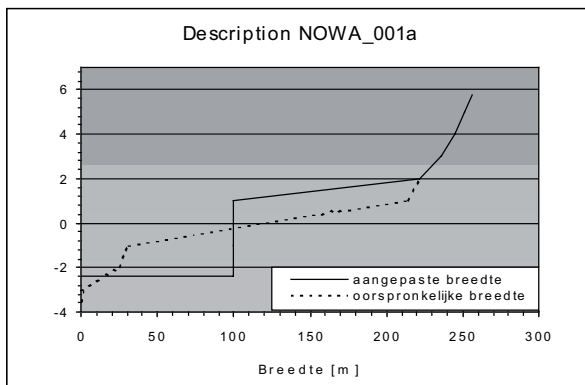
De toekomstige coupures in de Veerdijk en in de Bandijk zijn ook geschematiseerd met een overlaat. In de figuur zijn dat resp. nummer 2 en 4. De eigenschappen van deze kunstwerken zijn in onderstaande tabel weergegeven.

De doorstroomopening van de overlaten in de Bandijk en de Veerdijk zijn kleiner dan het profiel in de overeenkomstige tak. Dit vormt geen probleem. Bij de andere overlaten is er wel een probleem. Bij deze overlaten is het doorstroomprofiel bij waterstanden onder een zeker niveau juist groter dan het doorstroomprofiel in de overeenkomstige tak. Om deze reden zijn er hulpprofielen gedefinieerd, die aan weerszijden van de overlaat zijn opgelegd. Deze hulpprofielen zijn afgeleid van het oorspronkelijke profiel. Hierbij is aan de onderzijde van het profiel het doorstroomprofiel van de overlaat ingepast. In figuur B18, B19 en B20 zijn deze hulpprofielen weergegeven. Bij elk waterstandsniveau is het doorstroomoppervlak van de overlaat nu maximaal gelijk of kleiner dan het oppervlak van het hulpprofiel. In het model zijn bij Description deze profielen onder de namen 'NOWA_001a', 'NOWA_005a' en 'NOWA_014a' gedefinieerd.

Vanaf de DTM zijn de coördinaten van de begin- en eindknopen van de takken afgelezen en in SOBEK ingevoerd. De lengte van een tak is in principe een optelling van de lengten van de vakken die in die tak

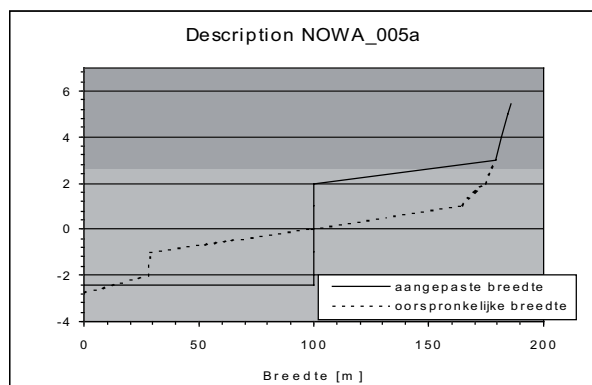
Figuur B18

Noordwaard hulpprofiel 1



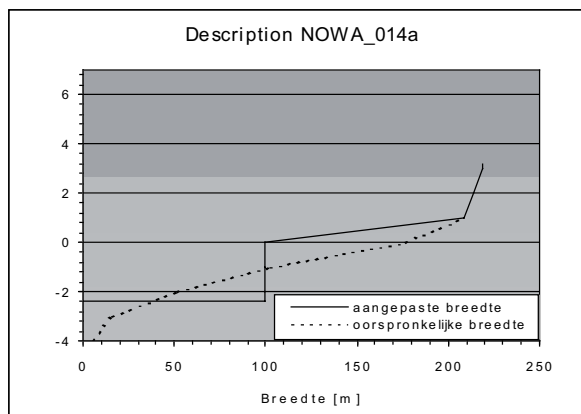
Figuur B19

Noordwaard hulpprofiel 5



Figuur B20

Noordwaard hulpprofiel 14



liggen. Op deze wijze bepaalde en ingevoerde taklengten voldeden niet allemaal. De lengte van de takken NOWA110, NOWA111, NOWA116 en NOWA117 zijn daardoor iets langer gemaakt. De verlengingen zijn resp. +30m., +67 m., +17 m. en +12 m. Voor de richtingen van de takken zijn zo goed mogelijke inschattingen gemaakt en als 'curving-points' bij de takken ingevoerd.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de ingevoerde schematisatie. De tabel bevat informatie over de takken, zoals begin- en eindknoop, lengte en richting.

De vakgemiddelde profielen zijn op hun vakmidden gepositioneerd, waarmee de afstand op de desbetreffende tak vastligt. In de tabel zijn de namen van de profielen (Cross Sections) inclusief de overeenkomstige beschrijvingen (Descriptions) en de ligging van elk profiel op de tak opgesomd. De ligging van de profielen is soms ook afhankelijk gesteld van de positie van de overlaten (Structures); dit is het geval bij vak 3 met NOWA_003 en vak 7 met NOWA_007.

Taknaam	Beginknoop	Eindknoop	Lengte [m]	Richting [graden]	CrossSection	Description	Afstand [m]
NOWA110	nodenw01	node023b	1198	240	crossnw03	NOWA_003	125
					crosssnw03a	NOWA_003	375
					crossnw02	NOWA_002	654
					crossnw01	NOWA_001	988
					crossnw01a	NOWA_001a	1181
					crossnw01b	NOWA_001b	1185
NOWA111	node023a	nodenw01	1085	221	crossnw05a	NOWA_005a	32
					crossnw05b	NOWA_005a	36
					crossnw05	NOWA_005	197.5
					crossnw04	NOWA_004	591.5
					crossnw15	NOWA_015	970
NOWA112	nodenw01	nodenw02	204	133	crossnw07	NOWA_007	51
					crossnw07a	NOWA_007	153
NOWA113	nodenw02	nodenw03	3451	158	crossnw08	NOWA_008	670
					crossnw10	NOWA_010	1812
					crossnw11	NOWA_011	2867.5
NOWA114	nodenw02	nodenw03	2391	158	crossnw06	NOWA_006	498.5
					crossnw09	NOWA_009	1694
NOWA115	nodenw03	nodenw04	1280	165	crossnw12	NOWA_012	640
NOWA116	nodenw05	nodenw04	1017	248	crossnw13	NOWA_013	508.5
NOWA117	nodenw04	node042a	399	177	crossnw14	NOWA_014	193.5
					crossnw14a	NOWA_014a	391
					crossnw14b	NOWA_014a	395

Onderstaande tabel beschrijft de eigenschappen en liggingen van de overlaten (Structures) op de takken.

Naam overlaat	Description	Drempelhoogte [m tov NAP]	Breedte [m]	m	Ligging	
					tak	afstand
nowa_nime_nrd	Nowa_Nime_nrd	0.3	160	0.62	NOWA111	34
nowa_nime_zuid	Nowa_Nime_zuid	0	120	0.8	NOWA110	1183
nowa_bibo	Nowa_Bibo	-0.80	140	0.62	NOWA117	393
nowa_veerdijk	Nowa_veerdijk	0.30	70	1	NOWA110	250
nowa_bandijk	Nowa_bandijk	-1.80	80	0.6	NOWA112	102

De ruwheid is voor de gehele Noordwaard op Chezy is 45 voor beide stromingsrichtingen en constant in de diepte gesteld.
De wind-hiding coefficient is 1 en de dispersie is overeenkomstig de omgeving aangenomen.
Rekenpunten zijn op de vakgenzen aangenomen en bij de overlaten 2 m bovenstrooms en 2 m benedenstrooms gelegd.

De **SRS** versie van het **PRIS** kan alleen SOBEK-schematisaties lezen, die aangemaakt zijn met SOBEK-UI versie 2.50. De huidige modelschematisatie is aangemaakt met SOBEK-UI 2.52. Deze versie dient onder SOBEK-UI versie 2.50 gebracht te worden. Kortweg komt het erop neer dat eerst alle triggers bij 'Structures' verwijderd dienen te worden, waarna inlezen met SOBEK-UI versie 2.50 mogelijk is en vervolgens de triggers weer ingebouwd kunnen worden.

Vervolgens wordt hier ingegaan op de instelling en controle van de verplichte naamgeving en waarden van de parameters volgens de eisen zoals die in [lit 21] geformuleerd zijn.

De instellingen en controles worden uitgevoerd met behulp van het User Interface van **SOBEK**, een applicatie die op PC-platform werkt en waarmee de modeldatabase gebouwd en onderhouden kan worden. De Parser van **SOBEK**, eveneens een applicatie op PC-platform, verzamelt de modelgegevens uit de modeldatabase, ordent deze en beschrijft een drietal bestanden. Deze bestanden vormen uiteindelijk de modelschematisatie voor het **PRIS**.

De volgende items van de modelschematisatie zijn op de eisen gecontroleerd en zondig aangepast.

Randvoorwaarden

Tabel C1

Knooppuntnamen van locaties waar de randvoorwaarden opgelegd worden

locatie	knoop	knooppuntnaam
zeezijde noordrand	eindknoop van tak MAMO001	Maasmond
zeezijde zuidrand noordgeul	eindknoop van tak ZEHV103	Haringvliet-20
zeezijde zuidrand zuidgeul	eindknoop van tak ZEHV104	Haringvliet
rivierzijde Lek	beginknoop van tak Nederryn	YsselkMSW
rivierzijde Waal	beginknoop van tak Waal__1	PankopMSW
rivierzijde Maas	beginknoop van tak Zandmas7	Mook__MSW

Op de locaties aan de zeezijde zijn initiële tijdreeksen (dt = 10 min) van circa 18 dagen opgegeven en aan de rivierzijde zijn initieel een drietal knikpunten in de tijd opgegeven, die in 2 dagen oplopen van gemiddeld afvoerniveau naar extreem hoog afvoerniveau en daarna zo'n 9 dagen constant blijven. Door het onderdeel **KiWi** van het **PRIS** worden deze waarden geactualiseerd.

Bij het windveld zijn voor richting een initiële, constante waarde van 293 graden en voor snelheid een initiële tijdreeks (dt= 60 min, over 5 uren waarde 0) opgegeven. Ook deze tijdreeksen worden telkens door het onderdeel **KiWi** van het **PRIS** geactualiseerd. Het windveld is uniform 'Model Wide' gedefinieerd.

De lozingen op de Maas en Rijn zijn per afvoerniveau van de Maas en Rijn volgens § 3.2.4 en § 3.2.5 ingevoerd. Voor elk afvoerniveau is een modelschematisatie aangemaakt.

Kunstwerken

Tabel C2

Namen van kunstwerken

kunstwerk	modelnaam 'Compound Structure'	modelnaam 'Structure'
Maeslantkering	svkw	SVKW_a SVKW_b SVKW_c
Hartelkering	svkh	SVKH_breed_schuif SVKH_breed_top SVKH_small_schuif SVKH_small_top
Haringvlietsluizen	haringvlietsluizen	Hvl_1 Hvl_2 Hvl_3 Hvl_17

Controllers

Tabel C3

Namen van Controllers met instellingen van parameters (Maeslantkering)

Maeslantkering Controller	parameter	waarde
SVKW_a_Crest_Width	Control update	1
	Controlled parameter	Crest Width
	Control type	Time
		Table 1990/12/25;00:00:00 360
		Interpol. method Continuous
	dValue/dt	0
	Triggers used	geen
SVKW_b_Gate_Width	Control update	1
	Controlled parameter	Crest Width
	Control type	Time
		Table 1990/12/25;00:00:00 0
		Interpol. method Continuous
	dValue/dt	0
	Triggers used	geen
SVKW_b_Gate_Height	Control update	1
	Controlled parameter	Gate Height
	Control type	Time
		Table 1990/12/25;00:00:00 0
		Interpol. method Continuous
	dValue/dt	0
	Triggers used	geen
SVKW_c_Spill_Pos	Control update	1
	Controlled parameter	Crest Level
	Control type	Time
		Table 1990/12/25;00:00:00 15
		Interpol. method Continuous
	dValue/dt	0
	Triggers used	geen

Tabel C4

Namen van Controllers met instellingen van parameters (Hartelkering)

Hartelkering Controller	parameter	waarde
SVKH_breed_Gate_Height	Control update	1
	Controlled parameter	Gate Height
	Control type	Time
		Table 1990/12/25;00:00:00 20
	Interpol. method	Continuous
	dValue/dt	0
SVKH_smal_Gate_Height	Triggers used	geen
	Control update	1
	Controlled parameter	Gate Height
	Control type	Time
		Table 1990/12/25;00:00:00 20
	Interpol. method	Continuous
SVKH_breed_Spill_Pos	dValue/dt	0
	Triggers used	geen
	Control update	1
	Controlled parameter	Crest Level
	Control type	Time
		Table 1990/12/25;00:00:00 23
SVKH_smal_Spill_Pos	Interpol.method	Continuous
	dValue/dt	0
	Triggers used	geen
	Control update	1
	Controlled parameter	Crest Level
	Control type	Time
	Table 1990/12/25;00:00:00 23	
	Interpol. method	Continuous
	dValue/dt	0
	Triggers used	geen

Tabel C5

Namen van Controllers met instellingen van parameters (Haringvlietsluizen)

Haringvlietsluizen				
Controller	parameter	waarde		
Hvl_Open_Contr_1 t/m	Control update	1		
	Controlled parameter	Gate Height		
	Control type	Time		
		Table	1990/12/25;00:00:00	11
		Interpol. method	Block	
		dValue/dt	0.0	
		Triggers used	Hvl_OpenVerval_Trigger AND Hvl_Voorsp_Trigger	
Hvl_Meet_Contr_1 t/m	Control update	1		
	Controlled parameter	Gate Height		
	Control type	Time		
		Table	1990/12/25;00:00:00	0
		Interpol.method	Continuous	
		dValue/dt	0	
		Triggers used	Hvl_Meet_Trigger	
Hvl_Sluit_Contr	Control update	1		
	Controlled parameter	Gate Height		
	Control type	Time		
		Table	1990/12/25;00:00:00	0
		Interpol.method	Continuous	
		dValue/dt	0.0	
		Triggers used	Hvl_SluitVerval_Trigger AND Hvl_Voorsp_Trigger	

De ingestelde tijdreeksen bevatten initieel op één tijdstip een waarde. Door het onderdeel SRS van het **PRIS** worden de tijdreeksen geactualiseerd.

Triggers

De Maeslant- en Hartelkering gebruiken geen triggers. Alleen voor de Haringvlietsluizen zijn er triggers met gedefinieerde namen verplicht.

Tabel C6

Namen van triggers

trigger	parameter	waarde
Hvl_OpenVerval_Trigger	Type	Hydraulic
	Trigger parameter	Head Difference
	Structure	Hvl_1
	Trigger table	1990/12/25;00:00:00
	Interpol. method	> 0
Hvl_SluitVerval_Trigger	Type	Continuous Hydraulic
	Trigger parameter	Head Difference
	Structure	Hvl_1
	Trigger table	1990/12/25;00:00:00
	Interpol. method	< 0
Hvl_Meet_Trigger	Type	Continuous Time
	Trigger table	1990/12/25;00:00:00
	Interpol. method	off
Hvl_Voorsp_Trigger	Type	Continuous Time
	Trigger table	1990/12/25;00:00:00
	Interpol. method	on Continuous

De waarden van de trigger table van de *Hvl_Meet_Trigger* en *Hvl_Voorsp_Trigger* zijn initieel. Deze tijdreeksen worden door het onderdeel SRS van het **PRIS** geactualiseerd.

Uitvoerlocaties

De volgende uitvoerlocaties zijn verplicht. Ook de volgorde is vereist.

Tabel C7

Verplichte uitvoerlocaties

locatie	modellocatie
Rotterdam	NIMA_Rotterdam,0
Spijkenisse	OUMA_Spijkenisse,7627
Dordrecht	OUMA_Dordrecht,0
Maeslantkering rivierzijde	NIMA_SVKW,11785.5
Maeslantkering zeezijde	NIMA_SVKW,12762
Hartelkering rivierzijde	HAKA_SVKH,1389
Hartelkering zeezijde	HAKA_SVKH,2355

De geïmplementeerde SRS-versie staat wel meer uitvoerlocaties toe, maar die moeten dan opgegeven worden na de verplichte 7 locaties. Van de optie om meerdere locaties bij dit uitvoertype (f(t)Report) is geen gebruik gemaakt. De grootheden waterstand en debiet zijn geselecteerd.

Namen van takken waarop de 7 verplichte uitvoerlocaties liggen.

Tabel C8

De namen van takken waarop de 7
verplichte uitvoerlocaties liggen

locatie	taknaam
Rotterdam	NIMA_Rotterdam
Spijkenisse	OUMA_Spijkenisse
Dordrecht	OUMA_Dordrecht
Maeslantkering	NIWA_SVKW
Hartelkering	HAKA_SVKH

Voor de gehele rekenperiode is het uitvoertype f(x)Report toegepast. Bij dit type worden de tijdreeksen van alle punten van het rekengrid uitgevoerd. In dit geval zijn de grootheden waterstand en debiet geselecteerd.

Per afvoerniveau is er een set van drie files aangemaakt. Deze files heten **sobek.mda**, **sobek.mdf** en **parsen.seq** en vormen de modelschematisatie, die uiteindelijk naar het unix-platform overgezet zijn.

Rijkswaterstaat is de uitvoeringsorganisatie van het ministerie van Verkeer en Waterstaat die zorgt dat verkeer en water op de nationale netwerken kunnen stromen en die werkt aan droge voeten en voldoende en schoon water. www.rijkswaterstaat.nl

