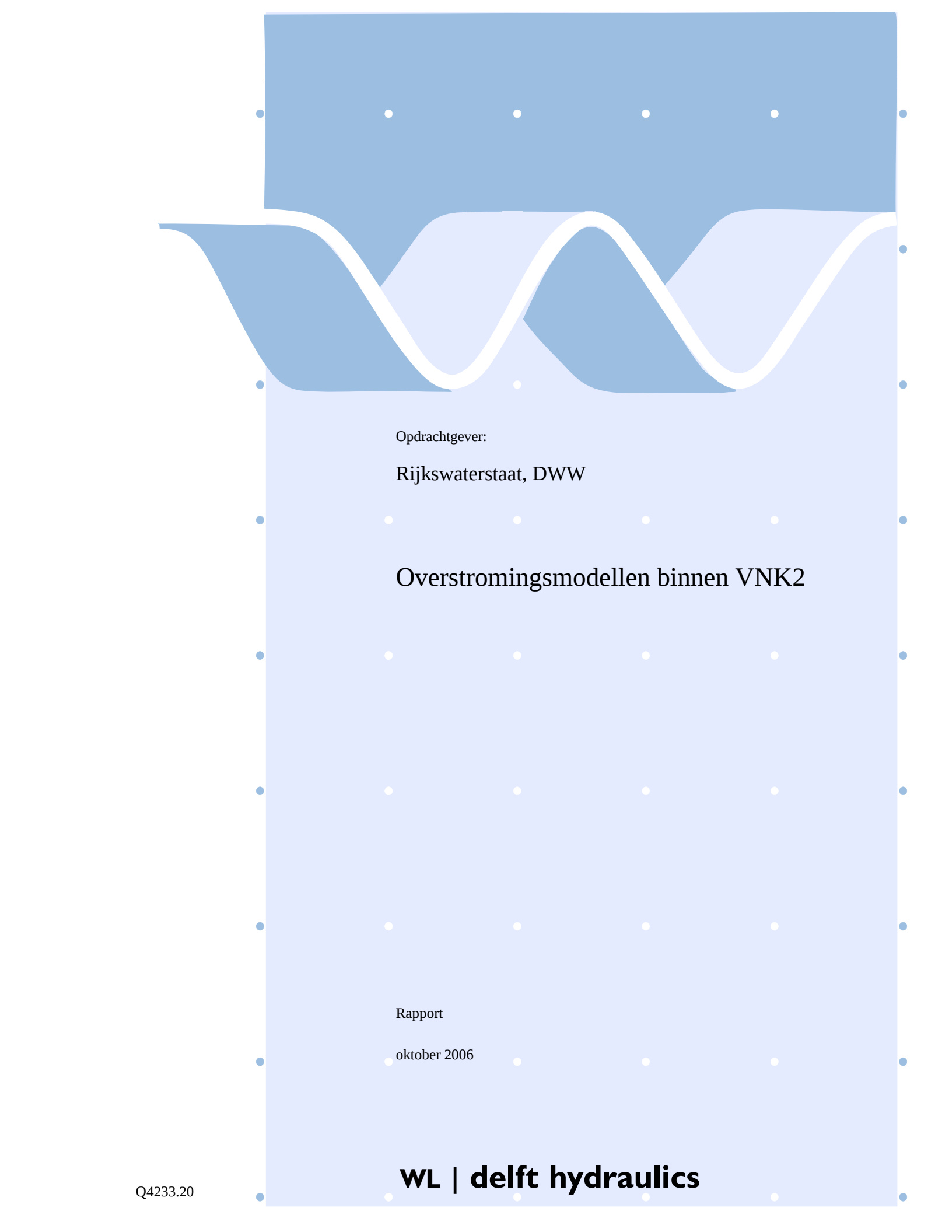




Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, DWW

Overstromingsmodellen binnen VNK2

Rapport

oktober 2006

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, DWW

Overstromingsmodellen binnen VNK2

N. Asselman

Rapport

oktober 2006

Inhoud

1	Inleiding	1—1
2	Keuze instrumentarium: Delft-FLS versus SOBEK-1D2D	2—1
2.1	Delft-FLS	2—1
2.2	SOBEK-1D2D	2—2
2.3	Conclusie	2—3
3	Schematisatie hoogtegrid	3—1
3.1	Afmetingen gridcellen	3—1
3.2	Bodemruwheid.....	3—2
3.3	Secundaire keringen.....	3—2
3.3.1	Effect.....	3—2
3.3.2	Schematisatie	3—4
3.3.3	Standvastheid.....	3—5
3.4	Conclusie	3—5
4	Schematisatie van waterlopen in het gebied.....	4—1
4.1	Waterlopen.....	4—1
4.2	Viaducten	4—2
4.3	Conclusies.....	4—3
5	Modellering van bresgroei	5—1
5.1	Schematisatie in SOBEK	5—1
5.1.1	Dijkdoorbraak	5—1
5.1.2	Duinafslag.....	5—2
5.2	Schematisatie in Delft-FLS.....	5—3
5.3	Conclusie	5—3

6	Modellering doorbraak secundaire keringen	6—1
7	Modelkalibratie en validatie	7—1
7.1	Kalibratie watergangen, rivieren en meren	7—1
7.2	Kalibratie overstromingen in 2D grid	7—1
8	Hoe om te gaan met verschillen in bestaande modelschematisaties	8—1
8.1	Delft-FLS of SOBEK	8—1
8.2	Verouderd model	8—1
8.3	Conclusie	8—2
9	Referenties	9—1

I Inleiding

In het kader van VNK2 worden overstromingsmodellen gemaakt voor alle dijkringen in Nederland. In tegenstelling tot VNK1 komt de verantwoordelijkheid voor de modelontwikkeling te liggen bij de provincies en niet bij het projectbureau van VNK. Een groot aantal provincies heeft reeds de beschikking over overstromingsmodellen. Deze modellen zijn deels ontwikkeld binnen SOBEK-1D2D (ofwel de overstromingsmodule van het HIS, HIS-OM genaamd) en deels binnen Delft-FLS (de voorloper van SOBEK-1D2D). Ook verschillen de modellen in mate van detail. Voor andere (delen van) provincies dienen nieuwe overstromingsmodellen te worden ontwikkeld.

Om er zeker van te zijn dat de resultaten van de bestaande en de nieuw te ontwikkelen modellen van vergelijkbare kwaliteit zijn, moeten de modellen aan bepaalde eisen voldoen. Voorliggend rapport geeft een overzicht van deze eisen aan de hand van de volgende onderwerpen:

- Verschillende typen overstromingsmodellen (SOBEK-1D2D/HIS-OM versus Delft-FLS).
- Schematisatie hoogtetgrid (afmetingen gridcellen, schematisatie secundaire keringen en overige verhoogde lijnelementen).
- Schematisatie belangrijke waterlopen in het gebied.
- Belang van tunnels en viaducten.
- De mogelijkheid om doorbraken in secundaire keringen “automatisch” te modelleren.
- Modellering van bresgroei.
- Modelkalibratie en validatie.
- Hoe om te gaan met verschillen in bestaande modelschematisaties.

De in hoofdstuk 3 t/m 5 beschreven richtlijnen gelden voor alle bestaande en nieuwe gebruikers, van zowel Delft-FLS als SOBEK-1D2D.

2 Keuze instrumentarium: Delft-FLS versus SOBEK-1D2D

2.1 Delft-FLS

Delft-FLS en SOBEK-1D2D zijn beiden ontwikkeld door WL | Delft Hydraulics. Delft-FLS kan hierbij als de voorloper van SOBEK-1D2D worden gezien.

Delft-FLS is een hydraulisch model dat 2-dimensionale waterstroming berekent op basis van een 2D-hoogtegrid en randvoorwaarden in de vorm van waterstanden en/of debieten. Het grote voordeel van Delft-FLS is dat het snel rekent.

Het belangrijkste nadeel is dat een hoge resolutie nodig is om belangrijke waterlopen in het gebied voldoende nauwkeurig weer te geven. Uit modelsimulaties en uit ooggetuigenverslagen van o.a. de watersnoodramp in 1953 is gebleken dat waterlopen in het gebied een belangrijke rol spelen bij de verspreiding van het water. Een ooggetuige tijdens de ramp van 1953 melde dat het water in de sloten al enorm begon te stijgen, nog voordat de echte vloedgolf over land merkbaar was. Vooral in gebieden met veel obstakels in de vorm van (oude) secundaire dijken, verhoogde snelwegen en spoordijken, is het belang van waterlopen in het gebied groot.

Om een watergang te kunnen schematiseren in een 2D-hoogtegrid dat bestaat uit regelmatige vierkante gridcellen is het noodzakelijk dat de afmeting van de gridcellen veel kleiner is dan de breedte van de te modelleren waterloop. Wanneer de waterloop ongeveer even breed is als de gridcellen van het hoogtegrid zal de watergang een zeer “hoekig” verloop hebben. Hierdoor wordt extra ruwheid geïntroduceerd in het model, waardoor de waterstanden veel hoger worden dan in werkelijkheid. Wanneer de waterloop smaller is dan de breedte van één gridcel moet de waterloop ondieper worden gemodelleerd dan in werkelijkheid het geval is om er voor te zorgen dat het doorstroomoppervlak correct blijft. Ook dit kan effect hebben op de berekende waterstanden en debieten. In beide gevallen is een extra controle of kalibratie van de berekende waterstanden in de watergangen noodzakelijk.

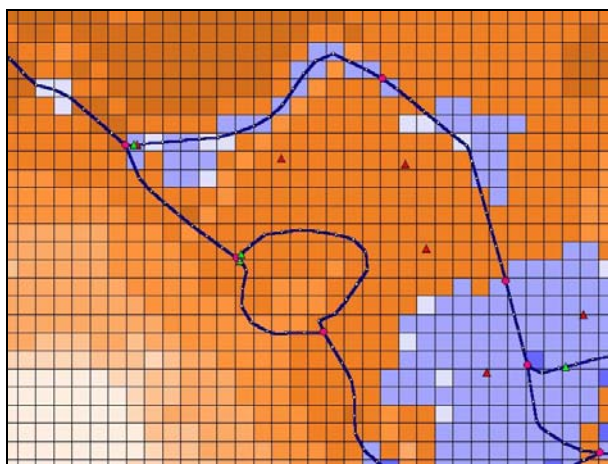
Een bijkomend nadeel van Delft-FLS is dat kunstwerken in waterlopen niet, of minder nauwkeurig, kunnen worden geschematiseerd. In een 1D model, zoals SOBEK-Channel Flow (CF), kunnen kunstwerken in grote mate van detail worden geschematiseerd. De afmetingen van stuwen en duikers kan op centimeters nauwkeurig worden opgegeven. Ook kan rekening worden gehouden met de vorm van duikers (ronde doorsnede of afwijkende vorm). Voor stuwen kunnen zelfs de sturingsregels worden opgegeven. Dit laatste geldt ook voor gemalen, waarvoor debieten en aan- en afslagpeilen kunnen worden opgegeven. In Delft-FLS zal de gebruiker door slimme aanpassingen in de schematisatie moeten proberen het functioneren van een kunstwerk zo goed mogelijk te benaderen. Dit zal meestal minder nauwkeurig zijn.

Tunnels, viaducten en andere doorgangen in secundaire keringen, spoordijken en verhoogde snelwegen kunnen in Delft-FLS alleen op minder nauwkeurige wijze worden geschematiseerd. Het belangrijkste nadeel ten opzichte van SOBEK ligt in het feit dat het niet mogelijk is om een aan de bovenkant afgesloten profiel, zoals een tunnel of aquaduct, toe te passen.

2.2 SOBEK-1D2D

Binnen SOBEK kunnen overstromingsmodellen worden ontwikkeld met behulp van de 1-dimensionale SOBEK-Channel Flow (CF) en de 2-dimensionale SOBEK-Overland Flow module (OF). Samen worden zij ookwel SOBEK-1D2D genoemd.

Een belangrijk voordeel van SOBEK-1D2D is dat belangrijke waterlopen, inclusief de hierin aanwezige kunstwerken, 1D in Channel Flow kunnen worden geschematiseerd zodat gerekend kan worden met een grover hoogtetgrid. Dit principe is weergegeven in figuur 2.1. Figuur 2.1 toont een stukje van het Valleikanaal en de grachten bij Amersfoort. Door een dijkdoorbraak in het zuiden van het gebied stijgt het water in het Valleikanaal. Op laag gelegen locaties begint water uit het 1-dimensionaal gemodelleerde Valleikanaal in het 2D grid te stromen. In het zuiden van het gebied, bij de dijkdoorbraak (niet weergegeven in de figuur), heeft het omgekeerde plaats gevonden. De vloedgolf die door de bres komt bereikt binnen enkele uren het Valleikanaal alwaar het, via de verbonden rekenpunten, in het 1D model kan stromen. Door het Valleikanaal en de grachten in Amersfoort 1D te modelleren, kunnen de gridcellen van het 2D hoogtetgrid relatief grof zijn.



Figuur 2.1 Overstroming vanuit 1D waterloop in 2D hoogtetgrid (Valleikanaal te Amersfoort)

Een ander voordeel is dat SOBEK beschikt over een bresgroei model. Hiermee kan op objectieve wijze de ontwikkeling van de bres en het instromende debiet worden gemodelleerd. Indien met Delft-FLS wordt gewerkt moet een apart model worden gebruikt om de afmetingen van de bres te bepalen.

Overige voordelen zijn de uitgebreide User Interface van SOBEK, de integratie met andere modelsystemen en modules, en de beschikbaarheid van technische ondersteuning in de vorm van een help desk. De User Interface van SOBEK is menu gestuurd. Dit maakt het vooral voor modelleers die nog weinig ervaring hebben met overstromingsmodellen eenvoudiger in het gebruik. Overstromingsmodellen die gemaakt zijn met behulp van SOBEK-1D2D, kunnen worden gecombineerd met andere modules die beschikbaar zijn in de SOBEK-lijn. Te denken valt aan SOBEK-Water Kwaliteit, om sedimentatie van slib en zwerfvuil, of het verspreiden van verontreinigingen binnen het overstroomde gebied te simuleren.

Veel waterschappen beschikken reeds over 1D schematisaties van de waterlopen en kunstwerken in hun gebied. Deze 1D-modellen kunnen in SOBEK eenvoudig worden gecombineerd met een 2D-hoogtegrid waardoor een gecombineerd 1D2D-model ontstaat. Het meeste werk bij het combineren van 1D en 2D modellen hangt samen met:

- De controle van de hoogteligging van het 1D-model ten opzichte van het 2D-grid (het 1D-model mag niet “zweven” boven het 2D-grid).
- Controle van de ligging van het 1D-model in het 2D grid (ligt de 1D waterloop aan de juiste kant van de dijk? zweven de profielen uit het 1D model niet boven het 2D grid?).
- Het vereenvoudigen van het 1D-model (vaak is het 1D-model gemaakt voor een ander doel en bevat het veel informatie die overbodig is bij het modelleren van overstromingen. Om de rekentijd te beperken dient het 1D-model daarom te worden vereenvoudigd bijvoorbeeld door kleine sloten uit het model te verwijderen).

2.3 Conclusie

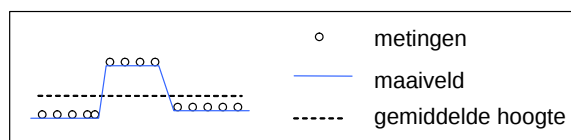
Delft-FLS en SOBEK-1D2D zijn beiden geschikt voor de ontwikkeling van overstromingsmodellen. Door de grote mate van detail die haalbaar is binnen SOBEK-1D2D, de integratie met andere modelsystemen en SOBEK-modules, de geavanceerde User Interface en de beschikbaarheid van een helpdesk, gaat de voorkeur voor de ontwikkeling van overstromingsmodellen binnen VNK2 uit naar dit softwarepakket. Zeker wanneer een provincie nog niet over overstromingsmodellen beschikt, verdient SOBEK-1D2D de voorkeur boven Delft-FLS. In hoofdstuk 8 wordt ingegaan op de manier waarop binnen VNK omgegaan kan worden met modellen die ontwikkeld zijn in verschillende softwarepakketten.

3 Schematisatie hoogtegrid

3.1 Afmetingen gridcellen

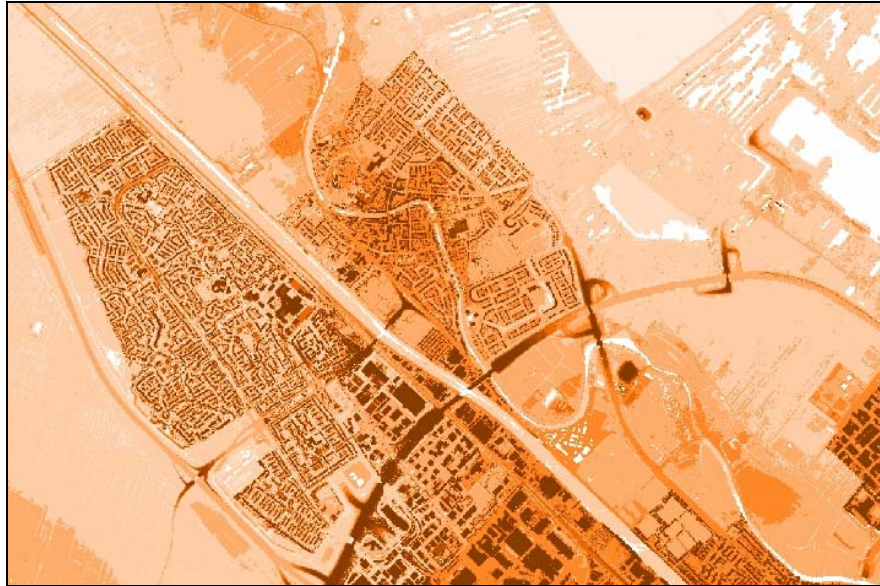
De hoogtekaart die ten grondslag ligt aan het overstromingsmodel dient te worden weergegeven in ASCII grid format. De uiteindelijke keuze van de gridcelgrootte is mede bepalend voor de rekensnelheid van het model. Voor het berekenen van overstromingsscenario's in een voorbereidende beleidsstudie is een rekenperiode van maximaal één nacht in de praktijk werkbaar. Dit betekent dat meestal wordt gerekend met gridcellen van 50m x 50m of 100m x 100m, afhankelijk van de grootte en de complexiteit van het gebied. De praktijk leert verder dat een model nog 'werkbaar' is indien het totaal aantal gridcellen niet boven 150.000- 200.000 uitkomt.

De basisgegevens voor het hoogtegrid worden gevormd door het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN). Bij voorkeur dient gebruik te worden gemaakt van de 5m x 5m bestanden van het AHN, omdat in deze bestanden de wegen, spoorlijnen en andere hoger gelegen lijnelementen duidelijk zichtbaar zijn. Het AHN bestand dient vervolgens te worden geaggregeerd tot een grid met een grover raster. Bij de aggregatie worden hoger gelegen lijnelementen, helaas, weggemiddeld (figuur 3.1). Ze moeten weer op oorspronkelijke hoogte worden gebracht met bewerkingen in een GIS-pakket (zie ook hoofdstuk 3.2).



Figuur 3.1 Uitmiddeling van hoger gelegen objecten

Indien bebouwing in het hoogtemodel aanwezig is dient deze te worden verwijderd om te voorkomen dat de bodemhoogte wordt overschat (figuur 3.2). Wanneer gebruik wordt gemaakt van grovere AHN bestanden, bijvoorbeeld 25m x 25m gridcellen, moet worden gecontroleerd of de bebouwing op juiste wijze uit te gegevens is verwijderd. Immers, wanneer bebouwing niet uit het bestand is gefilterd voordat de hoogtegegevens over grotere oppervlakten worden gemiddeld, zal de gemiddelde hoogte uitkomen op deurbelhoogte in plaats van straatniveau. Wanneer dit hoogtebestand vervolgens gebruikt wordt in een overstromingsmodel kan de overschatting van de hoogteligging van stedelijk gebied leiden tot een onderschatting van de waterdiepte in bebouwde gebieden. In het ergste geval kan zelfs onterecht worden geconcludeerd dat het stedelijk gebied droog blijft terwijl hier in werkelijkheid sprake zal zijn van een overstromingsdiepte van één of meer meters.



Figuur 3.2 Hoogtegegevens uit het AHN voor een gebied ten noordwesten van de stad Utrecht. De hoogteligging varieert van minder dan NAP -2 m (lichtbruin) tot meer dan NAP +10 m (donkerbruin). Huizen en wegen zijn duidelijk herkenbaar

3.2 Bodemruwheid

Gekoppeld aan het hoogtegrid moet een ruwheidsgrid worden aangemaakt. Dit ruwheidsgrid heeft dezelfde afmetingen als het hoogtegrid en geeft de gemiddelde hydraulische ruwheid per gridcel aan. Voorgesteld wordt om gebruik te maken van een uniforme ‘vertalingstabel’ om verschillende typen landgebruik zoals onderscheiden in het LGN, om te zetten naar een ruwheidswaarde. Bij WL wordt hiervoor een tabel met k-waarden gebruikt. Het *Handboek vegetatie* van RIZA zou eventueel ook als basis kunnen dienen.

Gevoeligheidsanalyses hebben aangetoond dat kleine verschillen in toegekende ruwheid weinig effect hebben op het overstromingsverloop. Het is echter wel belangrijk dat niet met een uniforme ruwheid over het hele gebied wordt gerekend, omdat steden en bossen een significant hogere ruwheid hebben dan wegen, grasland en akkerland. Deze verschillen moeten duidelijk in de ruwheidskaart tot uiting komen.

3.3 Secundaire keringen

3.3.1 Effect

Secundaire keringen en lijnelementen die als dusdanig functioneren hebben een grote invloed op het overstromingsverloop. Ze werken in zekere zin als compartimenteringsdijken. Uitgangspunt bij compartimentering is dat binnendijs verhoogd aangelegde elementen een sturende rol spelen bij het vollopen van de dijkkring of polder, doordat de verschillende compartimenten één voor één vol zullen lopen. Dit leidt tot een vertraging in overstromingssnelheid van het poldergebied.

Wanneer de lijnelementen of compartimenteringsdijken voldoende hoog zijn, zullen zij het overstromen van de polder niet alleen vertragen, maar kunnen zij er ook toe leiden dat bepaalde delen helemaal niet overstromen. Het overstroomde oppervlak en daarmee de omvang van het gebied met schade neemt daardoor af. Compartimentering kan ook negatieve gevolgen hebben. De aanwezigheid van barrières in een polder kunnen lokaal leiden tot opstuwing en daarmee hogere waterstanden. Dit kan leiden tot een toename van de schade en een groter kans op slachtoffers. De stijgsnelheid (de snelheid waarmee de waterdiepte toeneemt in de tijd) kan als gevolg van compartimentering toenemen. Ook dit aspect vergroot de kans op slachtoffers.

Omdat hoger gelegen lijnelementen een groot effect hebben op het overstromingsverloop is het zeer belangrijk dat deze lijnelementen in de modelschematisatie zijn opgenomen. Te denken valt hierbij aan:

- primaire en secundaire dijken en keringen;
- wegen (hoger gelegen);
- spoordijken;
- (boezem)kades.

Bovenstaande lijnelementen **moeten** in de schematisatie zijn opgenomen, ongeacht hoe grof het grid is. Bijvoorbeeld, wanneer zich binnen de dijkkring een spoordijk bevindt die een compartimenterende werking kan hebben dan **moet** deze in het hoogtemodel zichtbaar zijn, ookal betekent dit dat de breedte van de spoordijk in het model 50 m of 100 m wordt (in het geval van 50 m dan wel 100 m gridcellen).

Wanneer het gebied gekenmerkt wordt door een groot aantal secundaire keringen of lijnelementen die als secundaire kering kunnen functioneren, bestaat het risico dat het bergingsvolume van het model te klein wordt wanneer alle lijnelementen in het model worden overgenomen. Ieder lijnelement krijgt immers minimaal de breedte van één gridcel. Wanneer gerekend wordt met 100m x 100m gridcellen betekent dit dat ieder lijnelement automatisch 100 m breed wordt. Stel dat er zich binnen 1 km afstand twee lijnelementen bevinden dan gaat meer dan 10% van de berging in dit gebied verloren. Dit betekent dat in deze gevallen een afweging moet worden gemaakt over welke lijnelementen wel/niet in de schematisatie moeten worden opgenomen. Belangrijke kenmerken die bij deze afweging meegenomen dienen te worden zijn op volgorde van belang:

- De hoogte van het lijnelement (lagere lijnelementen zullen eerder overstromen en zijn minder belangrijk).
- Het aantal doorgangen (indien het lijnelement sterk onderbroken is, heeft het een minder sterk effect als waterkering).
- De kans dat het lijnelement bezwijkt (als de kans groot is dat het lijnelement bezwijkt, kan men overwegen het niet in de schematisatie op te nemen).

De hoogte van de secundaire keringen, of de lijnelementen die als zodanig functioneren, dient bij voorkeur te worden bepaald met behulp van specifieke hoogtebestanden. Bijvoorbeeld, de hoogte van boezemkades kan vaak beschikbaar worden gesteld door de waterschappen die de kades beheren. Indien deze gegevens niet voorhanden zijn kan worden getracht de hoogteligging af te leiden uit het AHN.

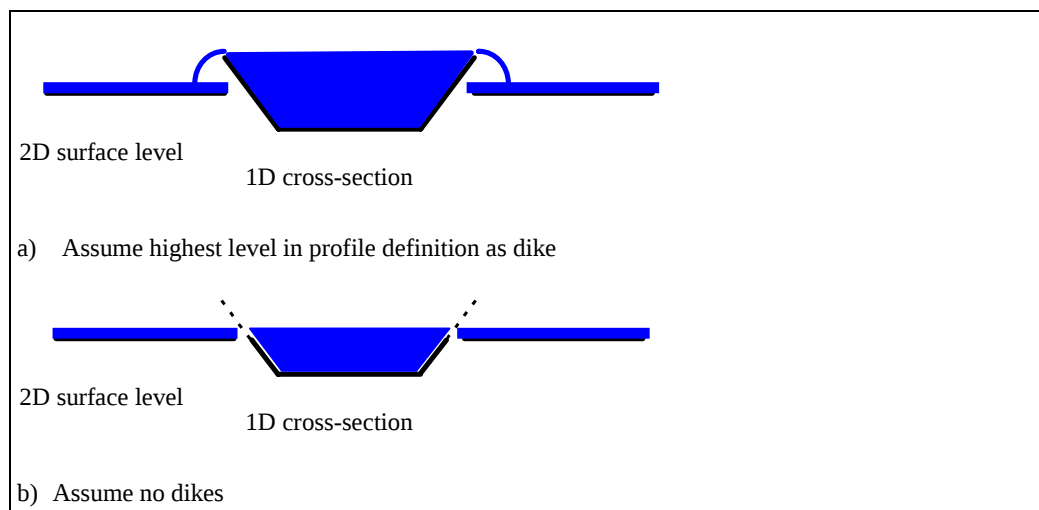
Dit is echter minder nauwkeurig omdat de gemeten hoogte niet altijd samenvalt met het hoogste punt van een kade. Het kan ook zijn dat de meting betrekking heeft op het talud van de kade, of op een auto of boom.

3.3.2 Schematisatie

In SOBEK bestaan twee mogelijkheden om boezemkades mee te nemen in het overstromingsmodel:

1. Door de optie “assume highest level in profile” te kiezen bij de model settings (dijken in 2D).
2. Door de cellen in het 2D hoogterid te verhogen (dijken in 1D).

Wanneer binnen SOBEK wordt gekozen voor de optie “assume highest level in profile”, gaat SOBEK er van uit dat het hoogste punt opgegeven in de dwarsdoorsnede van het 1D model, samenvalt met de hoogte van de dijk. Water stroomt uit het 1D model wanneer de waterstand deze hoogste waarde overschrijdt (optie a in figuur 3.3). Deze optie kan handig zijn wanneer men (1) zeker weet dat het hoogste punt in het profiel samenvalt met het hoogste punt van de (boezem)kade en (2) de hoogte van de kade tussen twee opeenvolgende dwarsprofielen weinig variatie vertoont.



Figuur 3.3 Definitie dijkhoogte

Indien men niet zeker weet dat het hoogste punt in alle dwarsprofielen samenvalt met de top van de dijk, of wanneer de hoogteligging van de dijk tussen dwarsprofielen varieert, kan men gebruik maken van de tweede optie “assume no dikes”. In dit geval kan het water uit het 1D model stromen zodra de waterstand hoger is dan de bodemhoogte opgegeven in het 2D grid (optie b in figuur 3.3). Deze optie is ook aan te raden wanneer de dijken aan weerszijden van de waterloop niet even hoog zijn. In de praktijk gaat de voorkeur uit naar het opnemen van boezemkades en overige kades in het 2D hoogterid.

Het is het erg belangrijk dat tunnels, viaducten en andere doorgangen door/onder spoordijken en overige lijnelementen, in het model worden opgenomen. In SOBEK kan dit op eenvoudige en zeer nauwkeurige wijze met behulp van een 1D-takje. In Delft-FLS kan dit door een gridcel te verlagen (zie hoofdstuk 4).

3.3.3 Standvastheid

Lineaire landschapselementen, zoals het uitgebreide netwerk van (polder)dijken, (snel)wegen en spoorlijnen, kunnen functioneren als compartimenteringsdijk. Dit betekent dat zij van grote invloed zijn op het overstromingsverloop in een dijkkring. Echter, niet al deze elementen zijn ontworpen om water te keren. Omdat het ontwerp en de opbouw van verhoogde snelwegen en spoorlijnen afwijken van die van een dijklichaam kan de kans op falen eveneens afwijken. De kans op falen van dergelijke lijnelementen is onderwerp van discussie geweest binnen VNK1. De onzekerheid met betrekking tot het wel/niet falen van deze lijnelementen is in de overstromingssimulaties voor dijkkring 7, 14 en 36 van VNK1 meegenomen in de vorm van een onzekerheidsanalyse. Ofwel: alle lijnelementen zijn in de schematisaties opgenomen, maar bij een aantal modelscenario's is aangenomen dat deze lijnelementen bezwijken wanneer er water overheen stroomt.

De standvastheid van spoordijken en snelwegen is onderzocht door Knoeff et al. (2003). Waterkeringen worden getoetst op veiligheid volgens de methode Leidraad Toetsen op Veiligheid (LTV). Wanneer deze methode wordt toegepast om het aardebaanlichaam van een weg te toetsen, wordt volgens Knoeff et al. (2003) in veel gevallen een voldoende behaald. Voorwaarde hierbij is wel dat het overslagdebiet beperkt blijft. Een spoorweg wordt door de LTV in eerste instantie vaak onvoldoende beoordeeld op grond van het steile buitentalud. Volgens Knoeff et al. (2003) kan in het geval van spoordijken alleen met een nadere beschouwing een voldoende score worden behaald. De stabiliteit van spoordijken lijkt daarmee geringer dan van snelwegen. In beide gevallen dient echter het overslagdebiet beperkt te blijven. Hoe groot het overslagdebiet maximaal mag zijn is mede afhankelijk van de bekleding van het object.

Gezien de onzekerheid omtrent de faalkans van spoordijken en verhoogde (snel)wegen is het raadzaam een gevoeligheidsanalyse uit te voeren. Deze gevoeligheidsanalyse is vooral belangrijk in dijkkringen die gekenmerkt worden door meerdere diepe polders, zoals in Zeeland het geval is.

3.4 Conclusie

Met betrekking tot het hoogtetgrid dat ten grondslag ligt aan het overstromingsmodel, worden de volgende conclusies getrokken:

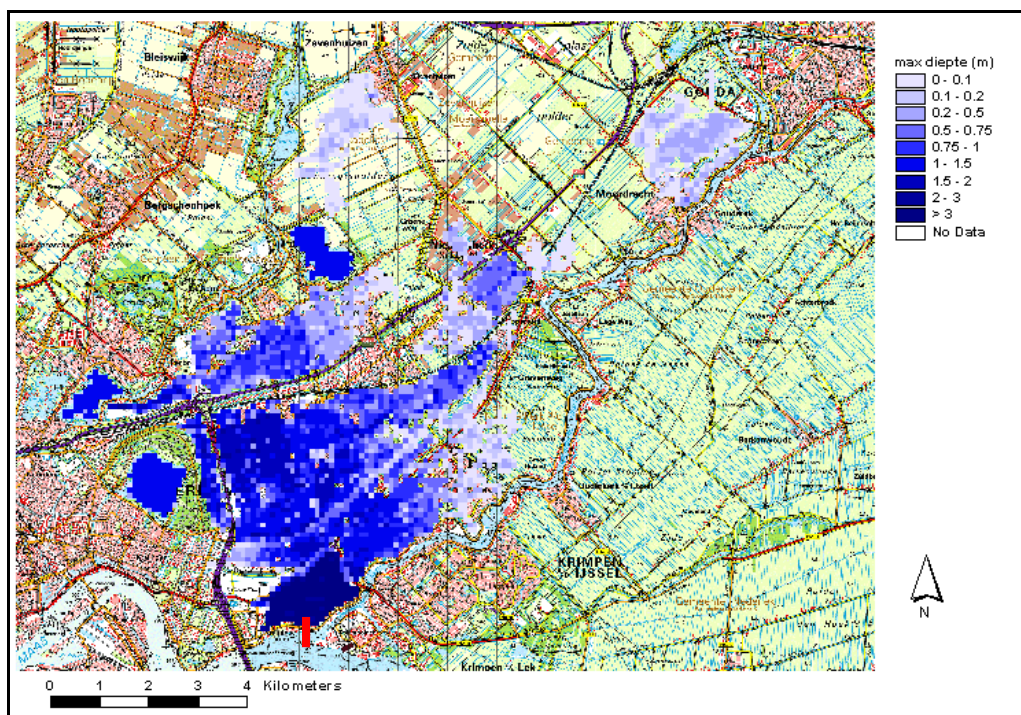
- Het hoogtetgrid waarmee gerekend wordt dient bij voorkeur te zijn gebaseerd op de 5m x 5m bestanden van het AHN. Deze bestanden moeten vervolgens worden geaggregeerd tot een grover raster.
- De gridcellen van het hoogtemodel dienen bij voorkeur een afmeting te hebben van 50m x 50m of 100m x 100m.

- Doordat hoger gelegen lijnelementen, zoals spoordijken en hoger gelegen (snel)wegen, een groot effect hebben op het overstromingsverloop **moeten** deze lijnelementen nauwkeurig in het model worden opgenomen. De hoogte van kades en dijken langs waterlopen die in SOBEK Channel Flow zijn gemodelleerd kunnen in het 1D model worden weergegeven. De voorkeur gaat echter uit naar weergave van kades en dijken in het 2D hoogtetgrid. De doorgangen in deze lijnelementen (tunnels en viaducten) moeten eveneens in het model worden geschematiseerd. In SOBEK kan dit met behulp van een 1D-takje. In Delft-FLS kan dit door een gridcel te verlagen.
- In verband met de onzekerheid in de standvastheid van spoordijken en snelwegen wordt aangeraden een gevoeligheidsanalyse uit te voeren.

4 Schematisatie van waterlopen in het gebied

4.1 Waterlopen

Waterlopen binnen een dijkkring kunnen een belangrijke rol spelen bij de verspreiding van water tijdens een overstroming. Figuur 4.1 geeft een voorbeeld van een overstromingssimulatie die is uitgevoerd voor het zuidelijk deel van dijkkring 14. Bij dit scenario vond de dijkdoorbraak plaats vanuit de Nieuwe Maas bij Kralingse Veer, aangegeven met het rode streepje in figuur 4.1. De maximale waterdiepte in het achterliggende gebied varieert sterk. Sommige delen blijven zelfs droog. Dit ‘gevlekte’ beeld is het gevolg van verspreiding van water door waterlopen in het gebied. Zo zijn delen van de Zuidplaspolder, ten westen van Gouda, overstroomd door water dat uit de ringvaart is gestroomd.



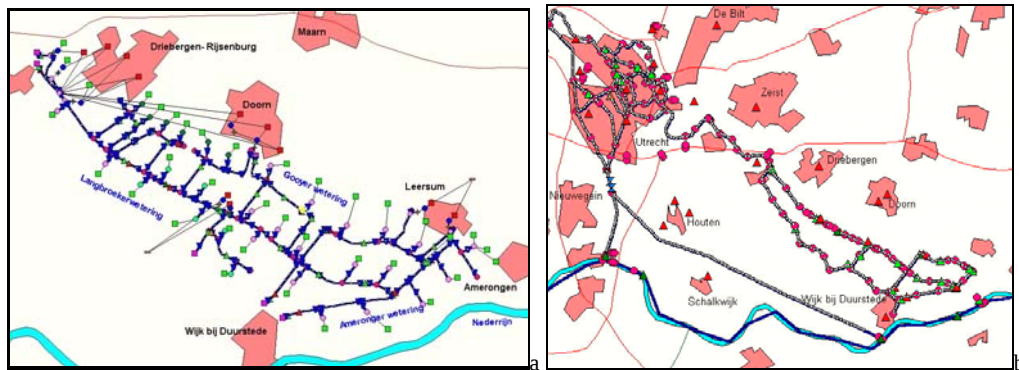
Figuur 4.1 Maximum waterdiepte berekend bij een overstroming vanuit de Nieuwe Maas bij Kralingse Veer (rode streep) (Asselman, 2006)

Vanwege de grote invloed van de waterlopen op het overstromingsverloop, moeten de watergangen in het overstromingsmodel worden weergegeven. De voorkeur gaat uit naar een 1D-schematisatie van de waterlopen in SOBEK-1D2D. Indien met Delft-FLS wordt gewerkt is het belangrijk dat:

- De breedte van de gridcellen van het hoogtetgrid kleiner is dan de breedte van de waterloop.

- Het doorstroomprofiel van de waterloop correct gemodelleerd wordt (indien de waterloop smaller is dan de gridcel zal deze ondieper worden weergegeven in de schematisatie).

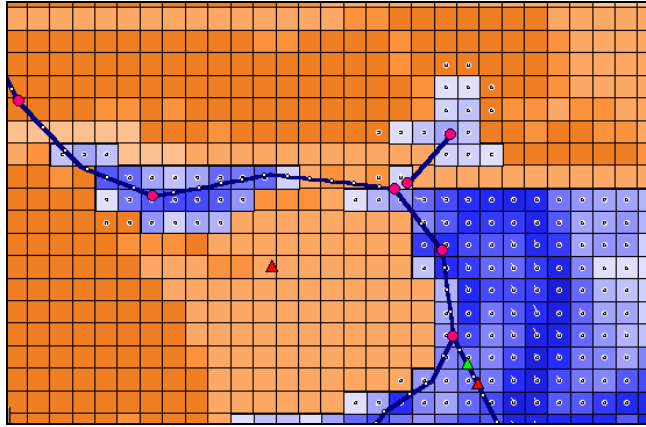
Indien geen 1D-schematisatie aanwezig is van de belangrijke waterlopen in het te modeleren gebied, kan binnen SOBEK een schematisatie worden aangemaakt. Dit is tijdrovend, maar kan afhankelijk van de complexiteit van het gebied noodzakelijk zijn. Indien een SOBEK schematisatie beschikbaar is kan deze, indien nodig, worden vereenvoudigd en vervolgens in het overstromingsmodel worden gebruikt. Ook kunnen meerdere SOBEK schematisaties worden gecombineerd tot één schematisatie die het gehele gebied beslaat. Ook kan worden overwogen om 1D schematisaties van andere modellen (bijvoorbeeld DufLOW) te converteren naar SOBEK. Figuur 4.2 toont een SOBEK schematisatie van de Langbroekerwetering die, na vereenvoudiging en koppeling met andere SOBEK-modellen, is gebruikt als onderdeel in het overstromingsmodel voor dijkkring 44.



Figuur 4.2 SOBEK schematisatie Langbroekerwetering a) oorspronkelijke model zoals beschikbaar gesteld door Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden, b) na vereenvoudiging en koppeling met andere SOBEK modellen van het omringende gebied

4.2 Viaducten

Tunnels en viaducten kunnen eveneens als 1D-takje in het SOBEK model worden geschematiseerd. Figuur 4.3 toont een 2D hoogtetgrid met een 1D waterloop. Water stroomt uit de waterloop in het 2D grid. Via een tunnel onder een spoordijk of snelweg (los takje) stroomt het water naar het noordoosten. De vorm en de afmetingen van de tunnel of het viaduct kunnen dan op nauwkeurige wijze worden weergegeven.



Figuur 4.3 Doorgang door een verhoogd lijnelement gemodelleerd als 1D-takje in SOBEK

4.3 Conclusies

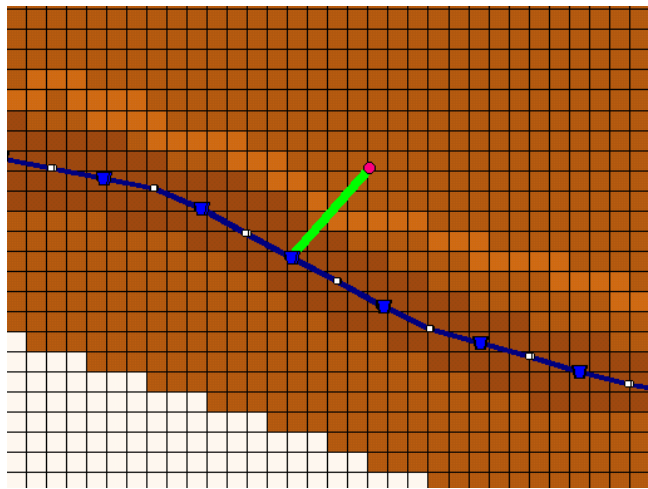
Waterlopen, tunnels en viaducten spelen een belangrijke rol bij de verspreiding van water tijdens een overstroming. Ze moeten daarom in het overstromingsmodel worden weergegeven. De voorkeur gaat uit naar een 1D-schematisatie van de waterlopen, tunnels en viaducten in SOBEK-1D2D. Indien met Delft-FLS wordt gewerkt dienen de gridcellen waarin zich een tunnel, viaduct of belangrijke waterloop bevindt, te worden verlaagd.

5 Modellering van bresgroei

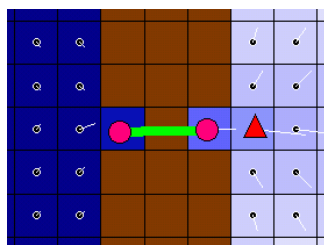
5.1 Schematisatie in SOBEK

5.1.1 Dijkdoorbraak

Een dijkdoorbraak kan worden gesimuleerd met een zogenaamde dike breach branch. Figuur 5.1 geeft een voorbeeld van zo'n branch. De rivier is 1D gemodelleerd. De dijk is (vaag) zichtbaar aan de lichtere tinten. De dike breach branch (lichtgroen gekleurde lijn) loopt vanaf de rivier door de dijk naar het achterliggende gebied. Figuur 5.2 toont het zelfde principe, maar dan vanuit een 2D gemodelleerde rivier of meer naar het achterliggende gebied. De streepjes geven de stromingsrichtingen weer.

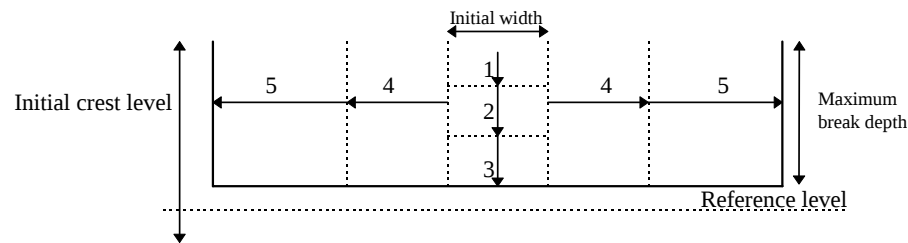


Figuur 5.1 Dijkdoorbraak vanuit 1D gemodelleerde rivier



Figuur 5.2 Dijkdoorbraak vanuit 2D gemodelleerde rivier of meer (stroming van links naar rechts)

De bresgroei in SOBEK gebeurt in twee fasen. Eerst ontstaat een gat met een beperkte breedte. Dit gat wordt uitgeschuurd tot op het maaiveld of een andere door de gebruiker op te geven hoogte (stap 1 t/m 3, Figuur 5.3). Daarna groeit de bres in de breedte tot de maximum breedte wordt bereikt (stap 4 en 5).



Figuur 5.3 Bresgroei modellering in SOBEK

Bresgroei in SOBEK kan op twee manieren worden gemodelleerd. De verschillen tussen deze methoden hebben vooral betrekking op de manier waarop de maximum breedte van de bres wordt bepaald:

- De eerste bresgroei optie maakt gebruik van een door de gebruiker opgegeven waarde voor de maximale bresbreedte. Deze optie wordt vooral gebruikt wanneer men doorbraken uit het verleden zo nauwkeurig mogelijk wil simuleren, of wanneer men het effect van de bresbreedte op het overstromingsverloop wil analyseren.
- In de tweede optie wordt de breedte van de bres door SOBEK berekend op basis van (1) materiaalkenmerken van de dijk (zand, klei) en (2) het verhang door de bres en daarmee samenhangend de stroomsnelheid. De initiële bresbreedte dient te worden opgegeven door de gebruiker. Voor het invoeren van kritieke stroomsnelheden u_c kan gebruik worden gemaakt van een tabel waarin diverse grondsoorten worden onderscheiden. Als richtlijn kan worden aangenomen dat u_c varieert van 0.2 m/s voor zand tot 1 m/s voor zeer compacte klei. Voor een mengeling van zand en klei, of voor slappere klei ligt de waarde voor u_c rond de 0.5 à 0.6 m/s.

In VNK2 wordt gebruik gemaakt van de eerste methode om bresgroei te simuleren. De reden hiervoor is dat overstromingsscenario's dienen te worden uitgevoerd met vooraf vastgestelde bresbreedtes.

5.1.2 Duinafslag

Het bresgroeimodel in SOBEK beschrijft de ontwikkeling van de bres in de tijd als functie van het verschil in binnen- en buitenwaterstand, de stroomsnelheid door de bres en de materiaalkenmerken van de dijk (gevoeligheid voor erosie). De beschikbare formulering is vooral geschikt voor het modelleren van bresgroei in zand en kleidijken en in mindere mate voor bresgroei in duinen. Tijdens VNK1 is de wens uitgesproken om een formulering in te bouwen in SOBEK waarin bresgroei in duinen adequaat wordt beschreven. Op dit moment is echter nog geen "duinafslagmodel" beschikbaar in SOBEK. Wel wordt overwogen om de bestaande formulering op korte termijn geschikt te maken voor de simulatie van 'bresgroei' in duinen.

5.2 Schematisatie in Delft-FLS

Wanneer het overstromingsmodel wordt ontwikkeld in SOBEK kan de breedte van de bres op objectieve en reproduceerbare wijze worden berekend. Wanneer het overstromingsmodel wordt ontwikkeld in Delft-FLS is dit niet mogelijk. De modelleur beschikt dan over twee opties:

1. Hij/zij maakt een inschatting van de te verwachten bresbreedte op basis van doorbraken in het verleden.
2. Hij/zij gebruikt een ander programma (bijvoorbeeld het programma BREACH) om de breedte van de bres en het bresdebiet vast te stellen.

5.3 Conclusie

SOBEK beschikt over een bresgroeimodel dat de ontwikkeling van de bres in de tijd beschrijft, als functie van het verschil in binnen- en buitenwaterstand, de stroomsnelheid door de bres en de materiaalkenmerken van de dijk (gevoeligheid voor erosie). Het bresgroeimodel is vooral toepassing op zand en kleidijken en in mindere mate voor bresgroei in duinen. Op dit moment is echter nog geen “duinafslagmodel” beschikbaar in SOBEK.

Delft-FLS heeft geen mogelijkheid om bresgroei op objectieve wijze te modelleren. In dit geval moet de gebruiker zelf een aanname doen over de bresbreedte, of een apart programma gebruiken.

Omdat het instroomdebiet, en daarmee het overstroomd oppervlak binnen de dijkkring, voor een groot deel bepaald wordt door de bresbreedte, is het belangrijk dat deze op objectieve en reproduceerbare wijze wordt bepaald. Eventueel kan een gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd om het effect van de bresbreedte op het overstromingspatroon vast te stellen. Binnen VNK2 is ervoor gekozen om met verschillende, vooraf vastgestelde, bresbreedtes te rekenen (gevoeligheidsanalyse).

6 Modellerings doorbraak secundaire keringen

In opdracht van Provincie Zeeland is afgelopen zomer een nieuwe optie in SOBEK ingebouwd die het mogelijk maakt om dijken “automatisch” te laten bezwijken, als functie van de stroomsnelheid van het water dat over de dijk heen stroomt.

Zoals eerder aangegeven is niet met zekerheid aan te geven of secundaire keringen, of lijnelementen die als dusdanig zouden kunnen functioneren, bezwijken wanneer er water overheen stroomt. Deze onzekerheid wordt in modelstudies meegenomen met behulp van een gevoeligheidsanalyse. Dit betekent dat een doorbraakscenario eerst wordt doorgerekend met als aanname dat alle secundaire keringen intact blijven. Daarna wordt de modelrun herhaald door secundaire keringen te laten bezwijken wanneer er water met hoge snelheid overheen stroomt. Het uitvoeren van deze laatste modelrun vraagt om een iteratieve aanpak die veel tijd vergt. Immers, in de eerste run wanneer geen keringen bezwijken, moet worden nagegaan welke kering als eerste overstroomt en of de stroomsnelheid over deze kering voldoende hoog is om hem te laten bezwijken. Vervolgens moet een nieuwe run worden opgestart waarbij een bres wordt aangebracht over de kering die zou bezwijken. Het bezwijken van één of meerdere secundaire keringen heeft tot gevolg dat het water zich sneller door het gebied kan verplaatsen, waardoor ook verder weggelegen keringen kunnen bezwijken. Ook over deze secundaire keringen dienen bresgroeitakjes te worden aangebracht in het model, waarna de modelrun moet worden herhaald. Deze iteratieve procedure moet worden herhaald totdat geen aanvullende doorbraken meer te verwachten zijn.

Omdat de Provincie Zeeland gekenmerkt wordt door vele polders die van elkaar gescheiden zijn door secundaire keringen, bestond de wens om doorbraken in secundaire keringen automatisch plaats te kunnen laten vinden. Dit maakt de iteratieve procedure overbodig. Om dit mogelijk te maken is in SOBEK de optie ingebouwd om cellen in het hoogtemodel die zijn aangemerkt als secundaire kering (zogenaamde 2D-breaking dam cellen) te laten bezwijken (zakken) in de tijd. De mogelijkheid om dit op een aangegeven tijdstip te kunnen doen bestond al langer. Nieuw is dat dit nu ook kan op basis van het overschrijden van een kritieke waterstand of stroomsnelheid. De hoogteligging van de als ‘2D-breaking dam’ gemarkeerde cellen in het 2D hoogtemodel is te controleren door gebruik te maken van de Real-Time Control module in SOBEK (RTC-module). De snelheid waarmee de hoogteligging van de 2D gridcel verandert in de tijd kan worden opgegeven als functie van de stroomsnelheid van het water over deze cel. In het prototype model is aangenomen dat een stroomsnelheid van 1 m/s gedurende een periode van minimaal 30 minuten moet worden overschreden voordat bresgroei plaats gaat vinden. De bresgroei stopt wanneer de stroomsnelheid beneden een door de gebruiker op te geven waarde zakt (hier 0.5 m/s) of wanneer de hoogte van de cel gelijk is aan die van het omringende maaiveld (cellen die niet gemarkeerd zijn als 2D-breaking dam).

Een nadeel van deze methode is dat een doorbraak in een secundaire kering altijd de breedte heeft van 1 gridcel. Smallere doorbraken zijn niet mogelijk. De vraag is echter of dit gezien de onzekerheden omtrent het wel of niet falen van secundaire keringen een belangrijk minpunt is.

In Delft-FLS bestaat wel de mogelijkheid om gridcellen te verlagen in de tijd. Dit kan echter niet “automatisch” gebeuren wanneer een kritieke stroomsnelheid wordt overschreden. Wanneer men secundaire keringen wil laten bezwijken wanneer er water overheen stroomt moet daarom gebruik worden gemaakt van de iteratieve procedure zoals aan het begin van dit hoofdstuk beschreven is.

7 Modelkalibratie en validatie

Om vertrouwen te kunnen hebben in de uitkomsten van het overstromingsmodel is het belangrijk dat het model goed gekalibreerd en gevalideerd is. “Helaas” is er voor veel dijkringen in Nederland geen data beschikbaar om een overstromingsmodel te kalibreren. Daarom wordt de volgende procedure aanbevolen.

7.1 Kalibratie watergangen, rivieren en meren

Voor waterlopen in het gebied zijn vaak waterstandsmetingen beschikbaar bij het beherende waterschap. Deze kunnen worden gebruikt om het 1D Channel Flow model in SOBEK te kalibreren. Kalibratie van deze waterlopen hoeft niet met grote nauwkeurigheid te gebeuren. Het belangrijkste is dat de orde van grootte van het debiet dat door de waterlopen kan stromen correct is.

Wanneer de dijkkring wordt begrensd door een rivier, en de doorbraak plaatsvindt vanuit deze rivier, is het zeer belangrijk dat het model voor de rivier goed is gekalibreerd. De combinatie van bovenstrooms debiet en benedenstroomse waterstand moet de juiste waterstanden opleveren bij potentiële doorbraak locaties. Gelukkig zijn ook voor de grote rivieren in Nederland waterstandsmetingen bij verschillende afvoeren beschikbaar, zodat kalibratie mogelijk is. Deze kalibratie dient te worden uitgevoerd voor zowel rivieren die in SOBEK Channel Flow gemodelleerd zijn als in 2D, bijvoorbeeld in Delft-FLS. Indien het overstromingsmodel wordt ontwikkeld in SOBEK kan gebruik worden gemaakt van de geconverteerde SOBEK-River modellen van het RIZA. Deze modellen bevatten de verschillende Rijntakken in Nederland en de waterlopen in onder meer het Noordelijk Delta Bekken en zijn toegepast in verschillende projecten, waaronder DeltaBreed, NDB model, en Nationaal model.

Wanneer de dijkkring begrensd wordt door een meer en de doorbraak plaatsvindt vanuit dit meer is het belangrijk dat dit deel van het model wordt gekalibreerd zodat de combinatie van initiële waterstand en windopzet als gevolg van storm correct door het model wordt gereproduceerd. Dit is bijvoorbeeld van belang bij alle dijkringen die grenzen aan het IJsselmeer.

7.2 Kalibratie overstromingen in 2D grid

Voor een beperkt aantal dijkringen in Nederland zijn overstromingsdata beschikbaar. Dit geldt onder andere voor dijkringen in de provincie Zeeland. Met behulp van deze data kan worden gekeken of het ontwikkelde overstromingsmodel in staat is de gevolgen van een dijkdoorbraak op juiste wijze te voorspellen.

Voor de meeste dijkringen ontbreken gegevens van overstromingen uit het verleden. Kalibratie van het model kan dan alleen plaats vinden volgens het “principle of minimum astonishment”. Hiermee wordt bedoeld dat de modelleur met mensen die het gebied goed kennen (vaak medewerkers van de provincie en het waterschap) om de tafel gaat zitten om de eerste modelresultaten te bekijken. Vaak kunnen deze personen aangeven of alle belangrijke waterlopen in het model zitten, en of tunnels en viaducten op juiste wijze zijn aangebracht. Ook wanneer wel data beschikbaar is om het model te kalibreren wordt aangeraden de modelresultaten te bespreken met personen die het gebied goed kennen om de laatste onvolkomenheden uit het model te halen.

8 Hoe om te gaan met verschillen in bestaande modelschematisaties

De voorafgaande hoofdstukken gaan vooral in op de eisen die gesteld worden aan de ontwikkeling van nieuwe hoogtemodellen. Veel provincies en waterschappen beschikken echter al over overstromingsmodellen. Omdat niet iedere provincie in staat is om hun modellen aan te passen om aan al deze eisen te voldoen gaat dit hoofdstuk in op de manier waarop binnen VNK met deze verschillen kan worden omgegaan en hoe een aantal van deze verschillen op relatief eenvoudige wijze kan worden verholpen. De mogelijke verschillen worden puntsgewijs besproken.

8.1 Delft-FLS of SOBEK

In hoofdstuk 2 is uitgebreid ingegaan op de verschillen tussen Delft-FLS en SOBEK-1D2D.

Wanneer een provincie reeds beschikt over overstromingsmodellen die zijn ontwikkeld binnen Delft-FLS worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Controleer of de waterstanden en debieten in de waterlopen correct worden berekend (door het hoekige verloop van relatief smalle rivieren en overige watergangen wordt extra ruwheid in het model geïntroduceerd). Indien te weinig gegevens beschikbaar zijn om dit te verifiëren dient in ieder geval te worden gecontroleerd of het doorstroomoppervlak van de dwarsprofielen in het 2D grid overeenkomen met de werkelijke doorstroomoppervlakken.
- Controleer of de viaducten en andere doorgangen op correcte wijze in het model zijn geschematiseerd (zijn de belangrijke doorgangen aanwezig? zijn tunnels en viaducten op juiste wijze samengevoegd? zijn de afmetingen realistisch? etc.). Deze aanbeveling geldt overigens ook voor bestaande SOBEK-1D2D modellen.

Overwogen kan worden om een bestaande FLS-schematisatie in SOBEK te importeren. SOBEK-1D2D kan volledig 2D rekenen, waardoor de bestaande schematisatie niet hoeft te worden aangepast. Een voordeel van het omzetten van de FLS-schematisatie naar SOBEK is dat viaducten en tunnels op eenvoudige wijze als 1D takje kunnen worden gemodelleerd. Ook kan dan gebruik worden gemaakt van het bresgroei model in SOBEK. De waterlopen in het gebied kunnen geschematiseerd blijven in het 2D hoogtergrid, zoals dat ook bij Delft-FLS gebeurt. Nadeel van deze optie is dat de rekentijd van het model toe zal nemen, maar vooral dat de provincie de beschikking dient te hebben over SOBEK (kostenpost).

8.2 Verouderd model

Op dit moment worden de hoogtemodellen die ten grondslag liggen aan de overstromingsmodellen ontwikkeld met behulp van gedetailleerde en recente hoogtemetingen zoals beschikbaar in het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN).

Oudere overstromingsmodellen zijn soms gebaseerd op minder gedetailleerde en minder actuele hoogtebestanden. Wanneer vermoed wordt dat het gebruikte hoogtebestand onbetrouwbaar is, moet het hoogtemodel opnieuw worden aangemaakt op basis van het AHN. In de meeste gevallen zal echter kunnen worden volstaan met de volgende controles en aanpassingen:

- Controle hoogtegegevens in gebieden met veranderd landgebruik: In gebieden waar het landgebruik niet is veranderd zal de hoogteligging weinig zijn veranderd. Bijvoorbeeld, in gebieden met weiland of akkerland kan de bodemligging zijn veranderd door klink, maar de verschillen zullen relatief beperkt zijn. Echter, wanneer sprake is van uitbreiding van stedelijk gebied, mag worden verwacht dat het maaiveld significant is opgehoogd. In deze gebieden moet het hoogtemodel daarom worden aangepast.
- Controle hoger gelegen lijnelementen: Omdat hoger gelegen lijnelementen een grote invloed hebben op het overstromingsmodel moet worden nagegaan of (1) alle lijnelementen in het model aanwezig zijn en (2) of de hoogteligging van deze lijnelementen correct is. Ook moet worden nagegaan of viaducten, tunnels en andere doorgangen op juiste wijze in het hoogtemodel zijn opgenomen. Wanneer het hoogtemodel wordt gebruikt binnen SOBEK moeten tunnels, viaducten en andere doorgangen als 1D-takje worden gemodelleerd.

Om een indruk te krijgen van de nauwkeurigheid van het bestaande hoogtemodel, kan steekproefsgewijs een vergelijking worden gemaakt met recentere hoogtebestanden.

Indien het landgebruik sinds de ontwikkeling van het model is veranderd, dient ook het ruwheidsgrid te worden aangepast. Hiervoor zijn actuele landgebruiksbestanden nodig.

Grote aanpassingen in de schematisatie van waterlopen binnen het gebied dienen eveneens te worden doorgevoerd. Te denken valt bijvoorbeeld aan de uitbreiding van gemaalcapaciteit, of het verbreden van watergangen.

8.3 Conclusie

Wanneer bestaande en/of verouderde overstromingsmodellen worden gebruikt binnen VNK2 dienen de modellen op de volgende punten te worden gecontroleerd:

- De nauwkeurigheid van het bestaande hoogtemodel kan worden gecontroleerd door steekproefsgewijs een vergelijking te maken met recentere hoogtebestanden. De hoogteligging van lijnelementen dient apart te worden gecontroleerd. Ook moet worden nagegaan of alle hoger gelegen lijnelementen in het model zijn opgenomen.
- Indien het model in Delft-FLS is ontwikkeld moet worden gecontroleerd of de waterstanden en debieten in de waterlopen correct worden berekend en of alle viaducten en andere doorgangen op correcte wijze in het model zijn geschematiseerd.

9 Referenties

Asselman, N.E.M. (2006), WINN-Verkenning compartimentering. Rapport WL | Delft Hydraulics Q4112

Knoeff, J.G., Van Mierlo, T. en Schoofs, C.A. (2003), Effectiviteit tweede waterkeringen fase 5.0. Delft Cluster rapport 0.2.03.01-49.

Verheij, H.J. (2002), Aanpassen van het bresgroeimodel binnen HIS-OM. Conceptrapport WL | Delft Hydraulics Q3299.