



Marlies Zantvoort, HydroLogic

Frans van Kruijningen, Hoogheemraadschap van Rijnland

Nico ten Heggeler, Waterschap de Dommel

Maarten Spijker, HydroLogic

2D-modelleren waardevol voor regionaal waterbeheer

Voor het beantwoorden van watervraagstukken maken waterbeheerders in toenemende mate gebruik van 2D-modellen. Vooralsnog worden deze modellen vooral toegepast om overstromingen te berekenen die het gevolg zijn van het doorbreken van primaire waterkeringen. In dit artikel beantwoorden we de vraag of 2D-modellering ook een belangrijke rol kan spelen in het regionale waterbeheer. We behandelen hiervoor twee praktijk-toepassingen: een beekherstelproject in hoog Nederland en een waterkering-project in laag Nederland.

In het nationale waterbeheer wordt ruimtelijke modellering vooral toegepast voor het bepalen van overstromingsrisico's en voor calamiteitenbestrijding. Een voorbeeld hiervan is het project Veiligheid Nederland in Kaart. In dit project brengt men voor een aantal dijkringen het

overstromingsrisico in kaart met behulp van 1D/2D-modellen.

In het regionale waterbeheer werden tot voor kort op modelleringsgebied voornamelijk traditionele, ééndimensionale stromingsmodellen en neerslagafvoermogelijkheden toegepast. Tegenwoordig wordt steeds vaker gebruik gemaakt van 2D-modellen voor het doorrekenen van ruimtelijke watervraagstukken, bijvoorbeeld in het kader van WB21-maatregelen (onder andere beekherstel). Ook voor het bepalen van de gevolgen van een doorgebroken boezemkade worden ruimtelijke modellen toegepast.

Om te bepalen of het gebruik van 2D-modellen in het regionale waterbeheer daadwerkelijk een meerwaarde biedt in vergelijking met de eerdere aanpak bekijken we twee recente studies waarin 2D-modellering is toegepast. Het betreft één studie in laag Nederland (polder- en boezemgebied) en één in hoog Nederland (vrij afwaterende beek), namelijk modellering van overstromingen als gevolg van boezemkadedoorbraken in Rijnland en een modellering van beekherstel in de Essche Stroom (Dommel-stroomgebied). Per studie is kort het doel beschreven met een toelichting waarom voor ruimtelijke modellering is gekozen. Voor beide studies is geanalyseerd of het beoogde doel met de 2D-modellering is bereikt, welke mogelijkheden het biedt én wat de bepalende factoren voor een succesvolle modellering zijn.

Modellering overstromingen vanuit de boezem

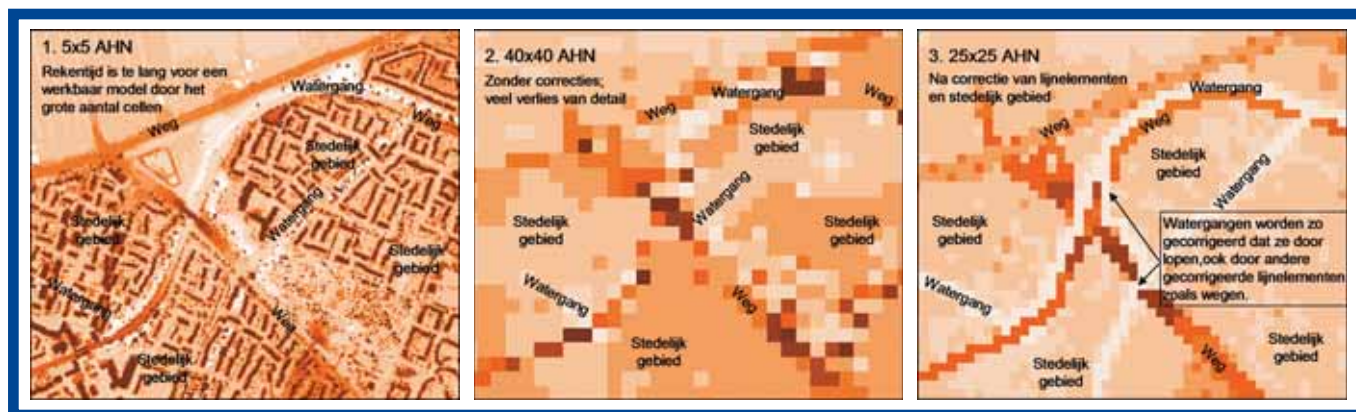
In opdracht van het Hoogheemraadschap van Rijnland is het Calamiteiten Informatie

Systeem (CIS) ontwikkeld. Het CIS heeft als doel waterbeheerders te ondersteunen tijdens een boezemkadedoorbraak door informatie te verschaffen over de (te verwachten) overstroming in de vorm van gedetailleerde overstromingsanimaties en grafieken. Om snelle besluitvorming mogelijk te maken, bevat het systeem een bibliotheek met 400 doorgerekenede dijkdoorbraken. Door het raadplegen hiervan weet de waterbeheerder op welke wijze zijn gebied inundeert en welke inundatiediepten op welk moment ontstaan. De waterbeheerder kan ook potentiële maatregelen analyseren met het CIS, zoals het compartimenteren van de boezem. Daarnaast kan tijdens de doorbraak een nieuwe berekening worden uitgevoerd met het systeem om snel te kunnen bepalen waar ingrepen nodig zijn. Om ruimtelijk inzicht te krijgen in overstromingen vanuit de boezem, is het beschikbare boezemmodel van Rijnland uitgebreid met een 2D-model voor het CIS. De keuze voor het gebruiken van een ruimtelijk model was in deze studie eenvoudig: zonder 2D-modellering kan geen inzicht worden gekregen in de lokale gevolgen van overstromingen. Het toevoegen van een tweede dimensie leidt tot een complexere modellering. In deze studie zijn een tweetal aandachtspunten naar voren gekomen die van belang zijn voor een goed functionerend 2D-model: de rekentijd en de kwaliteit van het hoogtebestand.

Het eerste aandachtspunt is dat een 1D/2D-model aanzienlijk trager rekent dan een 1D-model. Bovendien neemt de rekentijd sterk toe met het detailniveau van het hoogtebestand. De rekentijd kan

Een 1D-model simuleert de stroming in een watergang in één richting, namelijk de richting van de hoofdstroom. Stroming van het water dwars op deze hoofdstroom wordt in een 1D-model niet meegenomen. Deze modellen zijn dus niet geschikt voor het modelleren van overstromingen. Water stroomt bij een overstroming immers diffuus over het oppervlak. Om deze reden worden ruimtelijke modellen (2D) gebruikt. De basis van zo'n model is een hoogtebestand, bijvoorbeeld het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN). Een hoogtebestand is opgebouwd uit hoogten van een gebied, uitgedrukt in een grid. De hoogteverschillen bepalen de door het 2D-model berekende stroming van het water over het maaiveld.





Afb. 1: In de eerste optimalisatiestap wordt de juiste balans gevonden tussen opschaling (detailverlies (2)) en rekentijd en wordt het ruwe hoogtebestand (1) geoptimaliseerd voor (lijn)elementen en het stedelijke gebied (3).

worden beperkt door het hoogtebestand op te schalen. In het CIS-project is opschaling van het hoogtebestand naar gridcellen van 25x25 m noodzakelijk gebleken om de rekentijd ook in een operationele situatie werkbaar te houden. Door opschaling neemt de nauwkeurigheid van het 2D-model echter af, omdat details verloren gaan (zie afbeelding 1). Deze details kunnen, hoe klein ook, de gesimuleerde overstromingspatronen in grote mate beïnvloeden. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de invloed van een verhoogde weg of fietstunnel; de aan- of afwezigheid van dit soort elementen bepaalt of een groot gebied wel of niet overstroomt. Een voorbeeld van de invloed van dit soort details is in afbeelding 2 te zien. Door het in het model wel of niet afsluiten van twee duikers in de Liniedijk verandert het overstromingspatroon in de Haarlemmermeer aanzienlijk.

Het tweede aandachtspunt is daarom de vereiste kwaliteit van het hoogtebestand. Het opgeschaalde, ruwe AHN (Actueel Hoogtebestand Nederland) vormt de basis van het ruimtelijke model van Rijnland. In deze studie zijn twee stappen doorlopen om het hoogtebestand te optimaliseren voor het doel van het 2D-model. In de eerste optimalisatiestap zijn belangrijke elementen van het ruwe hoogtebestand gecorrigeerd om een correct inundatiebeeld te kunnen simuleren. Elementen zoals wegen, kaden en doorgangen zijn op basis van GIS-bestanden gecorrigeerd door middel van geavanceerde interpolatie- en filteralgoritmen. Extra aandacht is besteed aan het modelleren van de secundaire watergangen; deze zijn bepalend voor de manier waarop en de snelheid waarmee het water zich over het gebied verdeelt.

Een voor Rijnland belangrijk doel van het CIS is om te weten wanneer het water na een dijkdoorbraak de verschillende stedelijke gebieden instroomt. In de ruwe data ligt het stedelijke gebied veelal te hoog, veroorzaakt door de aanwezige bebouwing. In de eerste optimalisatiestap is dit punt daarom gecorrigeerd, zodat in de bebouwde gebieden een bij de werkelijkheid aansluitend inundatiebeeld ontstaat. Afbeelding 1 geeft de resultaten weer van de eerste optimalisatiestap voor een deel van het hoogtebestand.

In de tweede stap is het hoogtebestand ter verificatie voorgelegd aan gebiedsexperts van het hoogheemraadschap. Het gebruik maken van deze gebiedskennis maakt het mogelijk om ook details op de gewenste wijze in het hoogtebestand te brengen. Vastgesteld is bijvoorbeeld of de duikers in de Liniedijk (zie afbeelding 2) open of gesloten zijn in de doorbraakberekeningen. De twee optimalisatiestappen van het hoogtebestand hebben geresulteerd in een 1D/2D-model waarmee de gevolgen van kadedoorbraken in Rijnland goed in kaart kunnen worden gebracht.

Concluderend kan worden gezegd dat het toepassen van 2D-modellering in deze studie grote meerwaarde opleverde. Daarbij waren modellering op het juiste detailniveau en voldoende aandacht voor de optimalisatie van het hoogtebestand van cruciaal belang voor een voor Rijnland bevredigend resultaat.

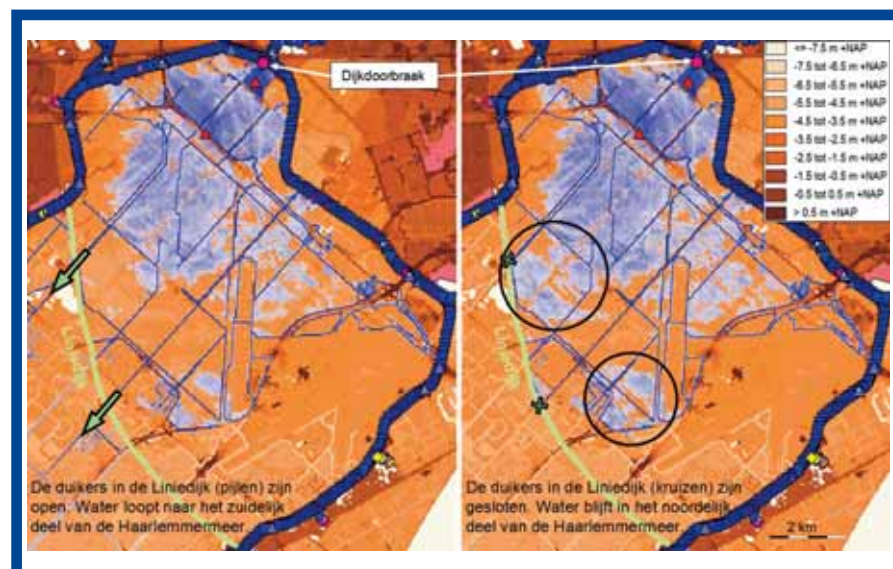
Modellering beekherstel in de Essche Stroom

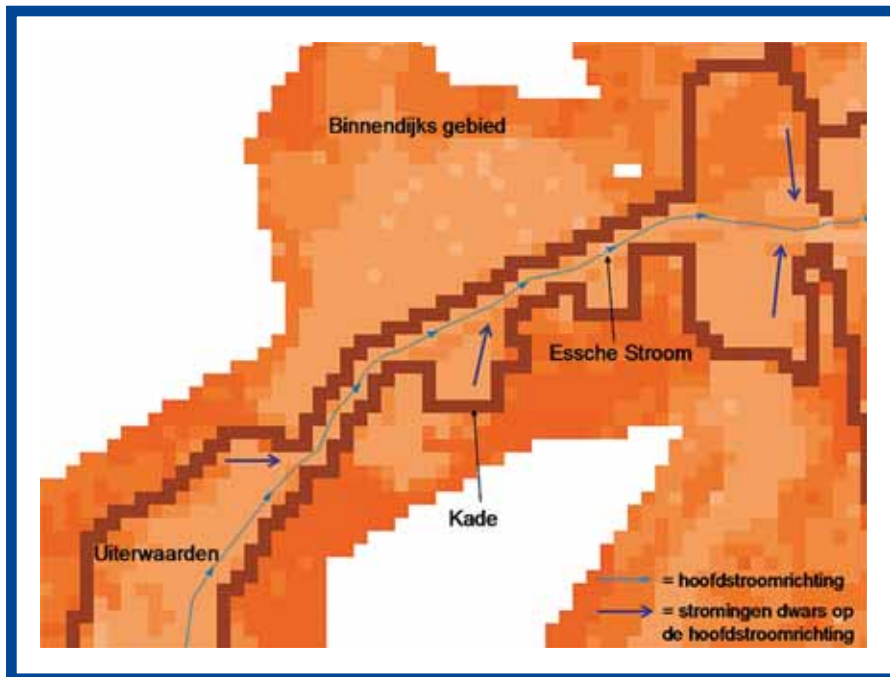
De Essche Stroom is een vrijafstromende zijbeek van de Dommel die Waterschap de Dommel momenteel herinricht. Deze herinrichting bestaat uit hermeandering,

het verkleinen van het zomerbed en het verruimen van de uiterwaarden door het verplaatsen van kaden. Na uitvoering van deze ingrepen wijzigt het afvoer- en overstromingspatroon, doordat de uiterwaarden veel eerder dan voorheen gaan meestromen. Belangrijke randvoorwaarden voor een succesvolle herinrichting zijn dat de lokale waterstanden bij extreme neerslag niet toenemen en er geen extra debiet benedenstrooms wordt afgewenteld.

Deze studie heeft als doel inzichtelijk te maken of met de huidige plannen voor herinrichting aan deze randvoorwaarden wordt voldaan. Om deze vraag te beantwoorden, is een model vervaardigd waarbij de uiterwaarden in 2D zijn gemodelleerd, terwijl het zomerbed in het 1D-model is opgenomen. Uit de met het model uitgevoerde berekeningen bleek vervolgens dat het verkleinen van het zomerbed resulteert in een onacceptabele toename van de waterstanden. Belangrijkste oorzaak hiervan is de te forse opstuwing bij plaatselijke vernauwingen in het uiterwaardenprofiel, bijvoorbeeld bij bruggen. De herinrichtingsplannen voor de Essche Stroom worden op het moment verder verfijnd op basis van de modelresultaten.

Afb. 2: Overstromingspatronen in de Haarlemmermeer twee dagen na doorbraak van de kade rond de Ringvaart. De cirkels geven aan waar de grootste verschillen in het overstromingspatroon optreden doordat de duikers in de Liniedijk zijn gesloten.





Afb. 3: Wanneer het water bij obstakels, zoals een abrupte vernauwing, opeens wordt 'gedwongen' van richting te veranderen, ontstaan stromingen dwars op de hoofdstroomrichting die de waterstanden in de rivier beïnvloeden.

De belangrijkste reden om in de studie 'Modellering van beekherstel in de Essche Stroom' te werken met een 2D-model is om het overstromingsproces ruimtelijk inzichtelijk te maken. Een tweede reden hiervoor is om de invloed van de ruimtelijke variatie van de uiterwaarden op de waterstanden nauwkeurig mee te nemen in de modellering. In de uiterwaarden is de stroming van het water veel meer afhankelijk

van ruimtelijke (hoogte)variëaties dan in het redelijk uniforme zomerbed (zie afbeelding 3). De hoogteverschillen, obstakels en vernauwingen in de uiterwaarden veroorzaken 2D-stromingen met een niet te verwaarlozen invloed op de waterstanden; voor een nauwkeurige berekening van de waterstanden dienen deze 2D-stromingen te worden meegenomen (zie kader op pagina 41).

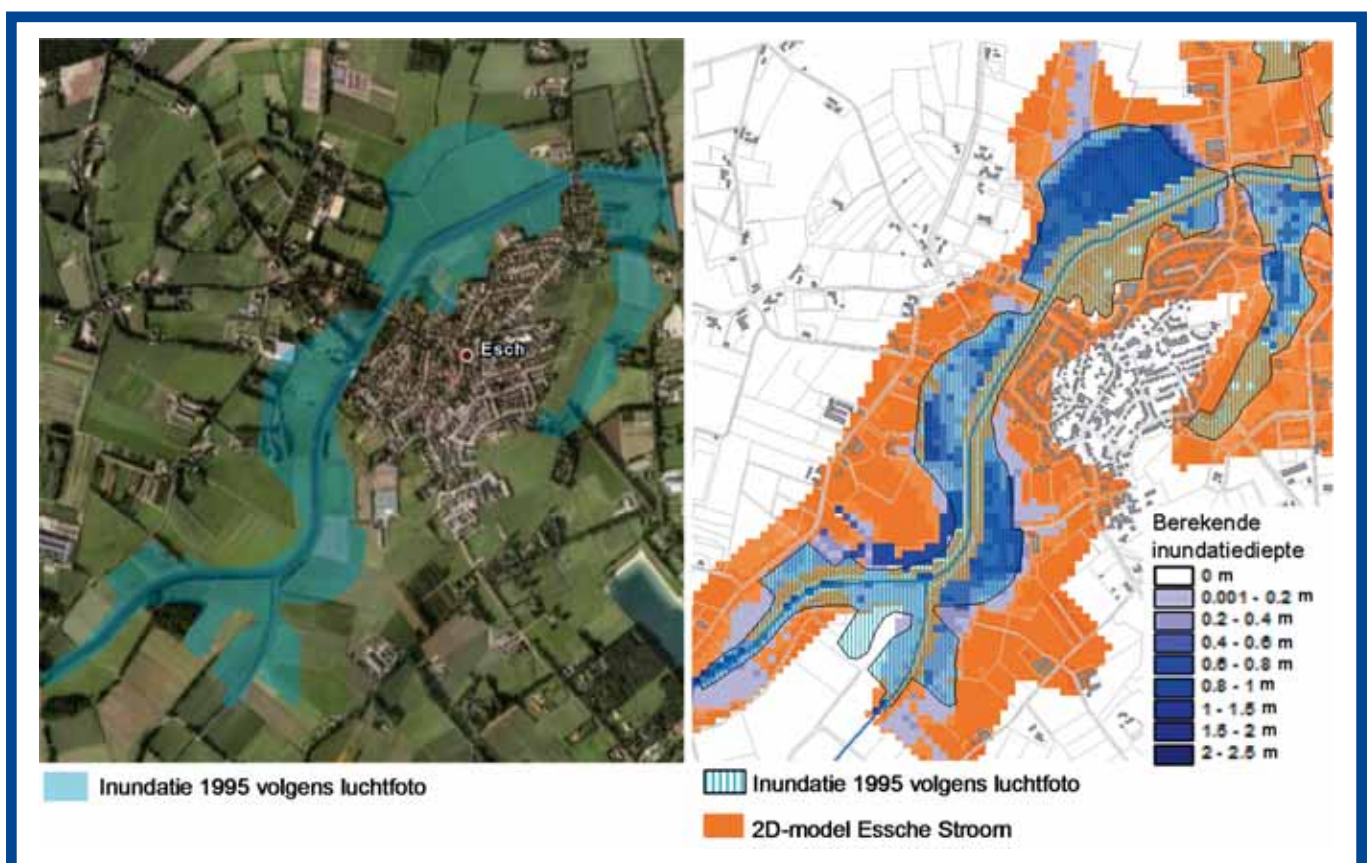
Tijdens het ontwikkelen en het kalibreren van het Essche Stroom model is een aantal belangrijke aandachtspunten naar voren gekomen. Deze punten zijn in twee categorieën te verdelen: de optimalisatie van het hoogtebestand en de interactie tussen het 1D- en het 2D-model.

Het eerste aandachtspunt is ook in de overstromingstudie van Rijnland naar voren gekomen. Het AHN van het Essche Stroom gebied is opgeschaald naar 25x25 meter. Ook tijdens deze studie is veel aandacht besteed aan het vervaardigen van een correct hoogtebestand met behulp van automatische correctiealgoritmen en bijeenkomsten met gebiedsexperts.

Het tweede belangrijke aandachtspunt dat uit deze studie naar voren is gekomen, heeft te maken met de interactie tussen 1D en 2D. In de Rijnland-studie is de locatie van de dijkdoorbraak het enige punt van interactie tussen 1D en 2D. In het Essche Stroom model is het 1D-model geïntegreerd in het ruimtelijke model, waardoor het water vanuit de hoofdstroom op elk punt het 2D-model kan instromen, mits de waterstand boven het maaiveld uitkomt. Uit verschillende kalibratieberekeningen blijkt dat de wijze waarop het 1D- en 2D-model water kunnen uitwisselen van groot belang is voor het behalen van bij de werkelijkheid aansluitende resultaten. Een onjuiste of onnauwkeurige koppeling tussen het 1D- en 2D-model kan bijvoorbeeld resulteren in een forse lokale opstuwing van waterstanden.

De 2D-schematisatie van de uiterwaarden van de Essche Stroom heeft geleid tot een

Afb. 4: Verificatie van het gesimuleerde overstromingsbeeld met het 1D/2D-model van de Essche Stroom aan de hand van luchtfoto's van een overstroming uit 1995.



beter inzicht in het huidige en na beekherstel te verwachten overstromingsproces, mede door het nauwkeurig meenemen van 2D-stromingen. Als voorwaarde hiervoor geldt echter wel de inzet van specifieke expertise op het gebied van 1D/2D-modelleren én het gebruik van gedetailleerde gebiedskennis.

Extra mogelijkheden van ruimtelijke modellering

Naast het beter meenemen van 2D-stroming biedt 2D-modelleren ook mogelijkheden voor modelverificatie en het communiceren van de uitkomsten.

Van een regionaal stroomgebied is vaak slechts een beperkte hoeveelheid meetgegevens voor handen. Deze meetgegevens zijn veelal onvoldoende voor een goede modelkalibratie. De overstromingsbeelden en -animaties die met het 2D-model kunnen worden gemaakt, vormen dan ook een welkome aanvulling bij de verificatie van het model (zie afbeelding 4). Gebiedsexperts kunnen aan de hand van de beelden het overstromingsproces volgen en op basis van hun ervaringen aangeven waar het water bijvoorbeeld over een kade is gestroomd.

Het model kan ook ondersteuning bieden

bij de communicatie met derden. Het kan in de vorm van overstromingsanimaties worden gebruikt bij het overbrengen en het bediscussiëren van ideeën. Tevens kunnen de gevolgen van bijvoorbeeld herinrichting op heldere en begrijpelijke wijze worden gepresenteerd.

Conclusie

Uit de analyse van de beschreven casestudies blijkt dat het toepassen van 2D-modellering in het regionale waterbeheer vele voordelen biedt. Het creëert de mogelijkheid om regionale overstromingsberekeningen uit te voeren en kan ook bij andere ruimtelijke vraagstukken tot een betere simulatie van de werkelijkheid leiden. Het Essche Stroomproject is hiervan een voorbeeld.

De inzichtelijkheid van de problematiek neemt sterk toe door het gebruiken van een ruimtelijk model. Het biedt bovendien kansen voor een betere kalibratie/verificatie en creëert ook op het communicatieve vlak grote meerwaarde.

De ervaringen uit de besproken studies leren ons dat de kwaliteit van het hoogtebestand, die de basis vormt voor het ruimtelijke model, zeer belangrijk is. 2D-modellering dient daarom alleen te worden toegepast indien er voldoende kennis is om het

hoogtebestand verantwoord te corrigeren en optimaliseren. Door middel van geavanceerde automatische algoritmen en het inbrengen van gebiedskennis worden elementen als wegen, kaden, sloten en straten op de juiste wijze in het hoogtebestand gebracht.

Om een betrouwbaar 1D/2D-model te krijgen, moet ook ruime aandacht worden besteed aan de interactie tussen de 1D- en 2D-modules. Wanneer beide delen niet correct op elkaar zijn afgestemd, zal dit de betrouwbaarheid van gesimuleerde afvoeren en waterstanden nadelig beïnvloeden.

Het gebruik van 2D-modellering biedt een grote meerwaarde bij watervraagstukken met een ruimtelijke component. Een voordeel van ruimtelijke modellen ten opzichte van ééndimensionale modellen is de toename van inzicht in de problemen, gevolgen en oplossingen rond watervraagstukken. In vergelijking met 1D-modelleren is het toevoegen van een tweede dimensie bewerklijker en vergt het meer detailkennis van het studiegebied. Deze extra inzet zal zich echter in veel gevallen terugbetalen met een veel grotere realiteitswaarde van de simulatieresultaten.