

---

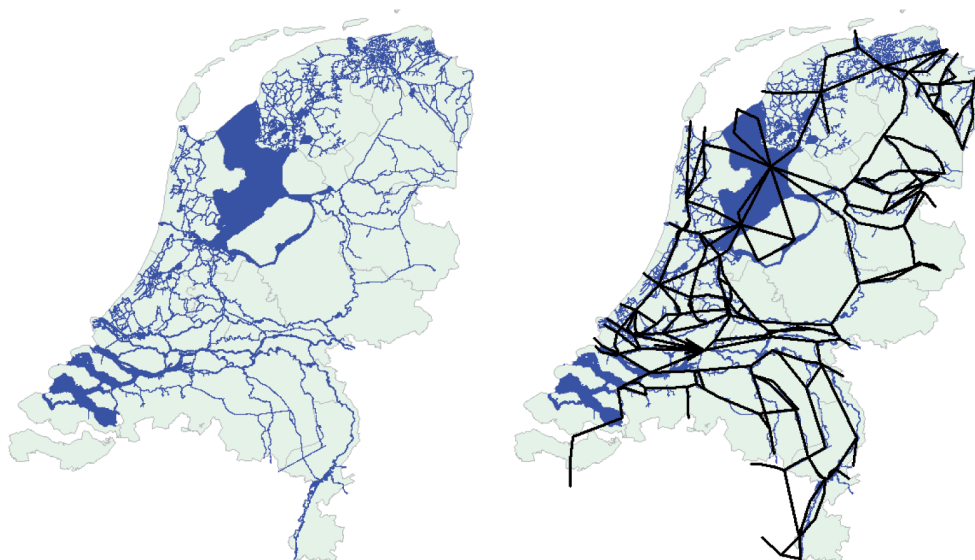
# Het Landelijk Sobek Model

Geert Prinsen<sup>1</sup>, Erik de Bruine<sup>2</sup>,  
Leon de Jongste<sup>3</sup> en Erik Ruijgh<sup>4</sup>

---

## Inleiding

Voor de beleidsanalyses in het Deelprogramma Zoetwater wordt het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium NHI gebruikt. NHI is het geïntegreerde grond- en oppervlaktewatermodel voor Nederland, en bestaat uit de componenten MODFLOW, METASWAP, MOZART en DM voor respectievelijk het grondwatersysteem, de onverzadigde zone, het regionale oppervlaktewater en het landelijk waterverdelingsnetwerk (zie [www.nhi.nu](http://www.nhi.nu) voor diverse NHI rapporten en andere informatie). De NHI 2.2 schematisatie bestond uit orde 150 MOZART-districten en orde 250 DM-knopen en takken. De oppervlaktewatermodellering in NHI met MOZART en DM is eerder in Stromingen beschreven (Delsman en Prinsen, 2008).



**Afbeelding 1:** Geschematiseerd oppervlaktewater (links, blauw) en DM schematisatie (rechts, zwart) in NHI-2.2.

Afbeelding 1 toont op het linkerplaatje in blauw het in het distributiemodel DM geschematiseerde oppervlaktewater. Hierin zijn de grote rivieren, kanalen, meren,

---

<sup>1</sup> Deltares, Delft ([Geert.Prinsen@deltares.nl](mailto:Geert.Prinsen@deltares.nl))

<sup>2</sup> Witteveen+Bos, Rotterdam ([E.dBruine@witteveenbos.nl](mailto:E.dBruine@witteveenbos.nl))

<sup>3</sup> Witteveen+Bos, Rotterdam ([L.dJongste@witteveenbos.nl](mailto:L.dJongste@witteveenbos.nl))

<sup>4</sup> Deltares, Delft ([Erik.Ruijgh@deltares.nl](mailto:Erik.Ruijgh@deltares.nl))

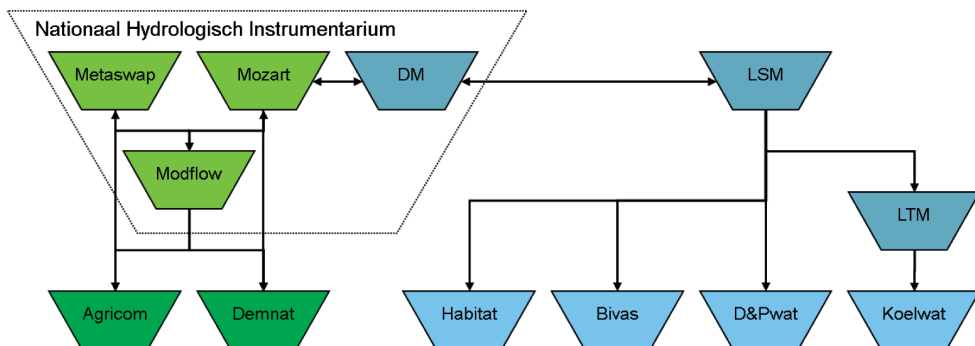
en de boezemsystemen van laag Nederland herkenbaar. Het rechterplaatje geeft met zwart de ruimtelijke discretisatie van DM weer als netwerk van knopen en takken. Al enige tijd leefde de wens om het landelijke oppervlaktewater in meer detail te schematiseren. Op die manier wordt de schematisatie voor de regionale waterbeheerders beter herkenbaar, het resultaat beter toepasbaar, mogelijk nauwkeuriger en het draagvlak vergroot. Tevens bestond vanuit de beleidsanalyse in het Deelprogramma Zoetwater de wens om het distributiemodel DM te koppelen met (modellen voor) koelwater, waterkwaliteit, ecologie en scheepvaart. Deze twee wensen vormden de aanleiding voor de ontwikkeling van het Landelijk Sobek Model (LSM). De ontwikkeling van LSM versie 1.0 gebeurde gelijktijdig en in nauwe afstemming met andere ontwikkelingen van NHI 3.0.

De eerste versie van LSM was gebaseerd op het bestaande Landelijk Temperatuur Model (LTM), een Sobek model dat voor koelwaterberekeningen was ontwikkeld (onder andere Boderie e.a., 2006 en Kallen e.a., 2008). De LTM-schematisatie bevatte alleen de rijkswateren (grote rivieren, kanalen, meren). Dit model is eerst uitgebreid met de overige DM takken van het waterverdelingsnetwerk (Prinsen en Becker, 2010). Vervolgens is in overleg met en ondersteund door de Waterdienst, STOWA en de regionale waterbeheerders de actie gestart om beschikbare regionale Sobek 1D Flow modellen op te nemen in LSM, en zo het model te verbeteren met beschikbare informatie en kennis van de regionale beheerders.

In dit artikel schetsen we eerst de relatie tussen LSM en NHI en het Deltamodel en het gebruik daarvan in het Deltaprogramma. Vervolgens gaan we in op de ontwikkeling en validatie van LSM, zoals het in nauwe samenwerking met de regionale waterbeheerders is gerealiseerd. Tot slot geven we een doorkijkje naar de mogelijke vervolgvactiteiten.

### LSM in relatie tot NHI-Deltamodel

Afbeelding 2 geeft schematisch de workflow weer voor Deelprogramma Zoetwater binnen het Deltamodel (Ruijgh 2013, [www.helpdeskwater.nl](http://www.helpdeskwater.nl)). De positie van LSM als onderdeel van het Deltamodel is aangegeven, evenals de relaties van LSM met NHI en diverse effectmodules. In NHI wordt de waterverdeling met (MOZART en) DM berekend, en LSM gebruikt deze NHI-resultaten. LSM wordt dus in het Deltamodel na NHI gedraaid.



**Afbeelding 2:** Positie van LSM binnen de workflow DP-Zoetwater in het Deltamodel, en relaties met NHI en effectmodellen.

## LSM en effectmodules

De effectmodules voor landbouw (AGRICOM) en terrestrische natuur (DEMNAT) gebruiken informatie die rechtstreeks uit NHI afkomstig is. Vier andere effectmodules maken gebruik van de LSM berekeningsresultaten.

### ***LSM > effectmodule drink- en proceswater***

LSM berekent - in het hydrodynamische rekenhart – de waterbeweging en de chlorideconcentratie in het oppervlaktewater. De chlorideconcentratie is van belang voor de inname van drinkwater en proceswater voor de industrie. De effectmodule drink- en proceswater bepaalt hoe vaak en hoe lang de berekende concentratie op belangrijke innamepunten boven een specifieke drempelwaarde uitkomt. Op dit moment worden de zoutberekeningen van LSM getest, en maakt de effectmodule nog gebruik van berekeningen van het oudere Sobek-RE model van het noordelijk deltabekken (NDB) (Kraaijeveld, 2003). Voor het noordelijk deltabekken zijn de resultaten van LSM en het Sobek-RE NDB model vergelijkbaar (Gao en Prinsen, 2013). Zodra de zoutberekeningen met LSM ook voor andere gebieden zijn geverifieerd, zullen deze gebruikt worden.

### ***LSM > Landelijk Temperatuurmodel > effectmodule koelwater***

Het Landelijk Temperatuurmodel LTM (Boderie e.a., 2006) gebruikt de resultaten van LSM samen met informatie over de thermische lozingen om de temperatuur van het oppervlaktewater te berekenen. De effectmodule koelwater bepaalt hoe vaak en hoe lang de berekende temperatuur boven een specifieke drempelwaarde uitkomt.

### ***LSM > effectmodule scheepvaart (BIVAS)***

De binnenvaart analyse module BIVAS ([bivas.chartasoftware.com](http://bivas.chartasoftware.com), en Witteveen+Bos, 2013) gebruikt de door LSM berekende waterdiepte als invoergegeven. BIVAS simuleert het vervoer over water op basis van onder meer de waterdiepte. Bij geringere diepte kunnen schepen minder zwaar beladen worden, zijn meer schepen nodig om dezelfde ladingen te vervoeren en nemen de kosten toe.

### ***LSM > effectmodule natte natuur (HABITAT)***

HABITAT (Haasnoot e.a., 2009) is een ruimtelijk analyse-instrument om de beschikbaarheid en de kwaliteit van leefgebieden van individuele soorten en soortgroepen, en ecotopen in kaart te brengen. De met LSM berekende waterdieptes vormen invoer voor de analyses met HABITAT.

## **Ontwikkeling LSM**

### ***Werkwijze proces***

Tijdens de bouw van LSM heeft STOWA diverse bijeenkomsten georganiseerd waar is gesproken tussen de waterbeheerders en modelbeheerders. Per regio zijn daarvoor vertegenwoordigers van de provincies, waterschappen en Rijkswaterstaat uitgenodigd om gezamenlijk het watersysteem door te nemen en de integratie van de beschikbare modellen in LSM te bespreken. Daarnaast zijn er individuele gesprekken geweest met enkele beheerders om hun regionale model in meer detail door te nemen of de resultaten van de integratie te tonen. De (tussen)resultaten van het gehele LSM-project zijn tijdens een aantal plenaire interactieve sessies besproken met alle betrokkenen. Door dit open en transparante proces is een verbeterd model ontstaan waarin het landelijk en regionaal watersysteem zo goed mogelijk is beschreven en de regionale waterbeheerders hun watersystemen goed kunnen herkennen.

### ***Informatie regionale waterbeheerders***

LSM is opgebouwd uit de informatie die beschikbaar is gesteld door de regionale waterbeheerders. Dit betreft naast de modellen ook rapportages van de werking van het watersysteem en gebiedsregelingen (Prinsen, 2013). Verder hebben de regionale waterbeheerders een grote hoeveelheid GIS-data aangeleverd, zoals de locaties van kunstwerken en uitwisselpunten (inlaat en uitmaal). Tenslotte hebben ze waardevolle correcties aangegeven op de gebiedsindeling van de Local Surface Waters (LSW's - vrijwel overeenkomend met de peilgebiedsindeling) en de indeling in districten. De informatie van de regionale waterbeheerders vormde een cruciale bijdrage bij de ontwikkeling van LSM.

### ***Databeheer***

Bij het verwerken van grote hoeveelheden data in een model door meerdere personen is een goed databeheer van belang. De aangeleverde basisinformatie van ieder model is daarom centraal bewaard. Vervolgens is ieder model afzonderlijk bewerkt in een nieuw Sobek project tot een versie die geïmporteerd kan worden in LSM. Deze eindversies van ieder regionaal model zijn ook gearchiveerd, zodat deze gemakkelijk opnieuw geïmporteerd kunnen worden. Tussenversies van LSM zijn opgeslagen, en er is een uitgebreid logboek bijgehouden met aanpassingen, en welk model in welke tussenversie is opgenomen. Ook is geverifieerd dat de resultaten van het in LSM opgenomen regionale model vergelijkbaar zijn met het oorspronkelijke regionale model. Kortom, er is systematisch en gestructureerd gewerkt.

### ***Aanpassingen aangeleverde regionale modellen***

De regionale modellen zijn geïntegreerd in LSM. Daarbij is op een aantal punten een uniformeringsstap gezet. Belangrijke aandachtspunten zijn geweest:

- **Jaarrond rekenen**

Met LSM moet jaarrond kunnen worden gerekend aan zowel droge als natte perioden. Sommige regionale modellen zijn echter alleen bedoeld om wateroverlastsituaties te simuleren, zodat wateraanvoer in deze modellen ontbreekt. Aan de hand van informatie van de waterbeheerders zijn inlaten en wateraanvoergemalen toegevoegd, of zijn sturingsregels van reeds geschematiseerde kunstwerken uitgebreid. Dit is onder andere gebeurd voor de modellen van waterschap Hunze en Aa's en het model van de Linge van waterschap Rivierenland.

Andere regionale modellen worden al door waterbeheerders ingezet voor jaarrond simulaties, zoals de modellen van Hoogheemraadschap Delfland, Hoogheemraadschap Rijnland en Waternet. Deze modellen waren daardoor relatief eenvoudig te integreren in LSM.

Soms zijn verschillende modellen aangeleverd voor zomer- en wintersituaties, met verschil in ruwheidswaarden voor de weerstand van de watergangen (seizoensvegetatie) en verschil in streefpeilen. Voorbeelden hiervan zijn modellen van Waterschap Peel & Maasvallei en van Waterschap Vallei & Eem. Deze modellen zijn in overleg met de betreffende waterbeheerders gecombineerd en geschikt gemaakt voor alle seizoenen.

- **Rekenpuntafstand**

In de regionale modellen bleek de rekenpuntafstand te variëren van 50 tot 500 meter. Dit hebben we binnen LSM aangepast zodat de rekenpuntafstand overal ongeveer 500 meter is, rekening houdend met eisen dat tussen kunstwerken, en tussen een kunstwerk en een lateraal debiet altijd een rekenpunt moet liggen. Het vergroven van de rekenpuntafstand van de regionale modellen is de rekentijd van LSM sterk ten goede gekomen. Voor de inzet van LSM voor de afweging van maatregelen op een landelijke schaal is een fijnere resolutie niet noodzakelijk.

- **Consistentie**

De in de regionale modellen gemodelleerde polderwatergangen zijn niet overgenomen in LSM, omdat de polders reeds zijn opgenomen in NHI (namelijk in MOZART).

- **Randvoorwaarden**

Bij de ontwikkeling van LSM is veel aandacht besteed aan de 'randen' van de modellen. Het kwam regelmatig voor dat de randen van aangrenzende modellen nog niet goed aansloten. Daarnaast waren de kunstwerken op de randen van het model meestal niet geschematiseerd, maar werd als randvoorwaarde een reeks gemeten debieten opgedrukt. Beide aspecten zijn aangepast. Een voorbeeld is het model van Hollands Noorderkwartier, waar de inlaat van water in de Schermerboezem vanuit het IJsselmeer was opgelegd door een tijdreeks. Deze randvoorwaarde is vervangen door het kunstwerk op die locatie (de sluisen) te schematiseren met sturing zoals in de gebiedsregeling is vastgelegd. Hiermee wordt het debiet tussen het IJsselmeer en de Schermerboezem dus berekend in het model, in plaats van opgelegd in de invoer van het model.

- **Sturing**

De wijze van sturing van kunstwerken varieert in de verschillende regionale modellen: soms worden debiettijdreeksen 'opgedrukt', in andere modellen worden diverse typen controllers en triggers gebruikt, en ook komt het voor dat sturing is gemodelleerd met de Sobek-Real Time Control module gecombineerd met Matlab.

In LSM is waar nodig een kunstwerk met sturing op de koppelpunten toegevoegd, en de sturing is vereenvoudigd zodat alles met de binnen Sobek 1D Flow beschikbare sturingsmogelijkheden kan worden gemodelleerd.

- **Rioolwaterzuiveringsinstallaties**

Een aantal regionale modellen bevat voor de RWZI afvoeren jaargemiddelde waarden, een aantal andere juist de droogweerafvoer. Voor gebruik in LSM is alleen de droogweerafvoer gewenst, omdat de afvoer van hemelwater al via de MOZART local surface waters en districten loopt. Voor de RWZI's waarvoor jaargemiddelden waren ingevoerd, is de lozing gereduceerd.

- **Neerslag- en verdampingsknopen**

De verschillende regionale modellen bevatten verschillende 'user defined' knooptypes voor neerslag en verdamping. Binnen LSM hebben we de lateralen voor neerslag en open water verdamping gekoppeld aan lokale stations van één landsdekkend bestand met meteorologische gegevens. Dit zijn dezelfde data die ook in NHI gebruikt zijn.

De weerstandsformulering en de waarde van de (gekalibreerde) weerstand varieert in de regionale modellen, zowel qua gekozen formulering als gekozen ruwheidswaarde. Dit is ongewijzigd overgenomen in LSM. Tot slot zijn de aangeleverde modellen door het LSM-team gecontroleerd op schematisatiefouten. Een vergelijking met het beheerregister oppervlaktewatergegevens is echter niet gemaakt: de waterbeheerder blijft dus zelf verantwoordelijk voor de modellering van het eigen watersysteem.

### **Selectie watergangen**

Bij de selectie van de watergangen in LSM zijn we uitgegaan van het waterverdelingsnetwerk - het met DM geschematiseerde oppervlaktewater dat blauw is weergegeven in afbeelding 1. In aanvulling hierop hebben we watergangen toegevoegd die relevant zijn voor de effectbepaling, bijvoorbeeld voor de scheepvaart. Zo zijn alle bevaarbare watergangen boven CEMT<sup>5</sup> klasse 0 (alle beroepsvaart) opgenomen in LSM. We hebben er niet voor gekozen om alle KRW-waterlichamen op te nemen, omdat dit teveel rekentijd zou kosten. Wel zijn enkele watergangen (zoals het Valleikanaal) specifiek toegevoegd aan LSM in verband met de ecologische effectbepaling.

In het peilbeheerste deel van Nederland bevat LSM grofweg alle boezemwateren. Soms zijn er ook pragmatische keuzes gemaakt, zoals bij het model van Flevoland, waar zeer veel primaire waterlichamen in open verbindingen staan met de Hoge en Lage Vaart. In dit geval is besloten om al deze watergangen over te nemen in LSM.

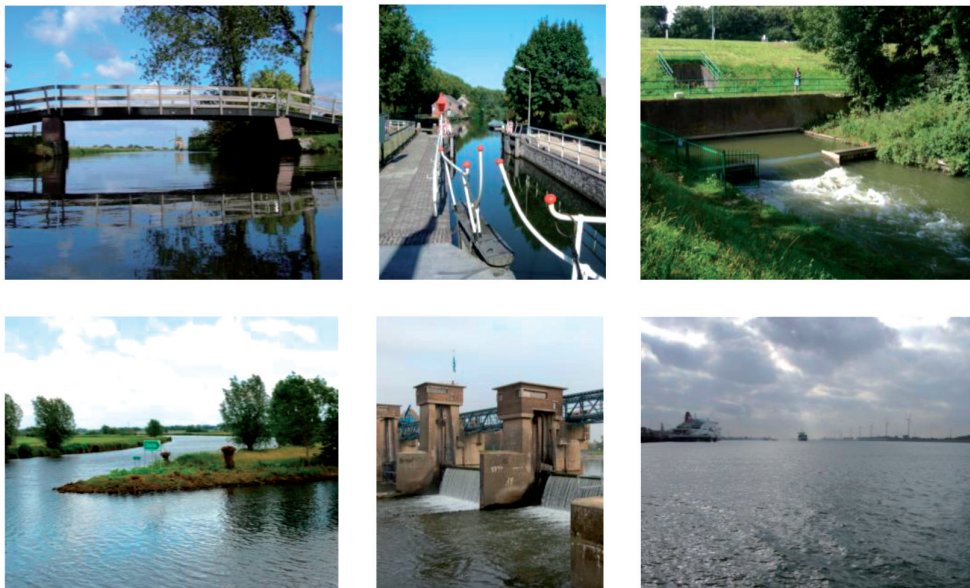
Voor het vrij afwaterende deel van Nederland ging de discussie vooral over de vraag welke beken in de LSM-schematisatie opgenomen moesten worden. Van een aantal beken was geen model beschikbaar en deze beken konden dus ook niet worden opgenomen in LSM. Droogvallende beken zijn bewust buiten de schematisatie gelaten omdat deze (door de automatische tijdstapreductie in Sobek) de rekentijd van het

---

<sup>5</sup> CEMT: Conférence Européenne des Ministres de Transport

model sterk verhogen. Dan blijven er nog altijd veel beken over, te veel om allemaal op te nemen in LSM. Bij de uiteindelijke keuze heeft het schaalniveau een belangrijke rol gespeeld. Grote beken zijn wel opgenomen en kleine beken niet, tenzij er een goede reden is om dit wel te doen. Bij deze selectie zijn echter geen harde criteria gebruikt, maar is in overleg met de regionale waterbeheerder een selectie gemaakt.

Afbeelding 3 geeft een foto-impressie van watergangen en kunstwerken die zijn opgenomen in LSM.



**Afbeelding 3:** Foto-impressie van watergangen in LSM. Op de bovenste rij van links naar rechts: Groeneveldse vaart, Haanwijkersluis, Grebbesluis; op de onderste rij van links naar rechts: Overijsselse Vecht, stuw Borgharen en Nieuwe Waterweg.

### ***Aanpassing districtsindeling MOZART***

Door de detaillering van LSM ten opzichte van DM is de oorspronkelijke districtsindeling van MOZART in NHI 2.2 te grof. Daarom is besloten om de MOZART-districten ook te verfijnen. Dit sloot gelijk ook goed aan op de wens van de waterschappen omdat met deze verfijning de resultaten van NHI 3.0 beter te vergelijken zijn met de metingen en bestaande kennis van het lokale watersysteem. Bij deze verfijning van de districten is het aantal districten vergroot van ongeveer 150 naar 244. Gelijktijdig zijn enkele kleine correcties in de districtsgrenzen aangebracht. Afbeelding 4 geeft de nieuwe districtsindeling voor NHI 3.0 weer.

Per district is het aantal inlaat- en uitlaatpunten naar LSM vergroot. De door NHI berekende lozingen en onttrekkingen van de MOZART districten op DM knopen worden in LSM als laterale debieten verdeeld over meerdere locaties. Om LSM ook direct beter geschikt te maken voor waterkwaliteitsberekeningen zijn lozingen en onttrekkingen gescheiden.



**Afbeelding 4:** Districtsindeling MOZART (in NHI 3.0).

### ***Performance***

Bij het testen van LSM zijn verschillende knelpunten aan het licht gekomen ten aanzien van de performance in termen van rekentijd. Zo vielen diverse locaties droog in de simulaties. Hierdoor trad automatische tijdstapreductie op, met als gevolg een lange rekentijd. Veelal gebeurde dit in droogtesituaties in van oorsprong hoogwatermodellen. Dit is verholpen door de sturing van de kunstwerken aan te passen op basis van informatie van de beheerder. In gevallen waarbij het om bovenstroomse beken zonder wateraanvoermogelijkheid ging is dat deel van de beek in het model verwijderd. Een ander knelpunt vormen korte takjes (kleine rekenpuntafstand), of soms de wijze van schematiseren van kunstwerken. Zo kan het gebeuren dat één kort takje de rekentijdstap voor het hele model verkleint en de rekentijd met uren doet toenemen. De rekentijd van LSM is aanzienlijk versneld door het optimaliseren van de rekenpunten. LSM rekent nu met een opgegeven tijdstap van 10 minuten, maar door de automatische tijdstapreductie wordt de tijdstap soms teruggebracht naar 1 seconde.



De rekentijd voor een berekening van één jaar met LSM 1.0 is door deze versnellingsacties gereduceerd van 48 uur naar 18 uur.

### Validatie van LSM

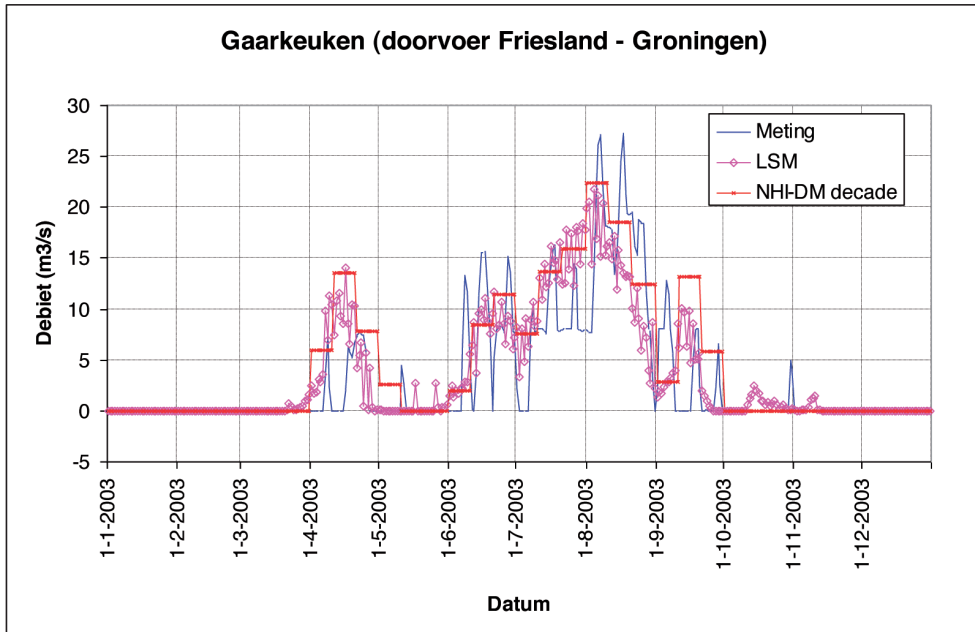


**Afbeelding 5:** LSM 1.0 schematisatie.

Voor de oplevering van LSM 1.0 (zoals weergegeven in afbeelding 5) aan Rijkswaterstaat Waterdienst is LSM gevalideerd voor het jaar 2003 (Prinsen, 2013). Hierbij is gebruik gemaakt van de resultaten van een run van NHI 3.0 voor het jaar 2003. In NHI 3.0 met DM zijn er voor de 244 MOZART districten ongeveer 580 unieke combinaties van MOZART-district, DM-knoop en type koppeling (lozing of onttrekking). De debieten voor deze 580 koppelingen zijn verdeeld over ongeveer 3400 laterale debietlocaties in LSM 1.0. Omdat DM met tijdstappen van een decade rekent, krijgen we zo laterale debieten in LSM die per decade veranderen. De rivierafvoeren die in DM per decade zijn gemiddeld, worden in LSM op dagbasis als randvoorwaarde opgelegd. Ook gebruikt LSM dagcijfers voor neerslag en verdamping, terwijl DM en MOZART de decade-gemiddelde cijfers gebruiken. In vergelijking met DM zijn in LSM meer droogweerafvoerlosingen van RWZI's opgenomen. En tenslotte is de sturing van de kunstwerken in LSM veel meer gebaseerd op de werkelijk operationele sturing dan de sturing zoals die

in DM zit, en is het peilbeheer flexibeler. Kortom, LSM maakt weliswaar gebruik van NHI resultaten, maar er zijn toch wel enige verschillen met DM te verwachten.

Voor het valideren van LSM 1.0 is dezelfde dataset gebruikt die ook voor de toetsing van NHI 3.0 gebruikt is. Waar NHI 3.0 op decadebasis getoetst is omdat DM op decadebasis rekent, kunnen we nu LSM 1.0 resultaten vergelijken met de metingen op dagbasis. Voor een aantal locaties laten we hierna enkele resultaten zien van LSM in vergelijking met metingen en/of DM resultaten.



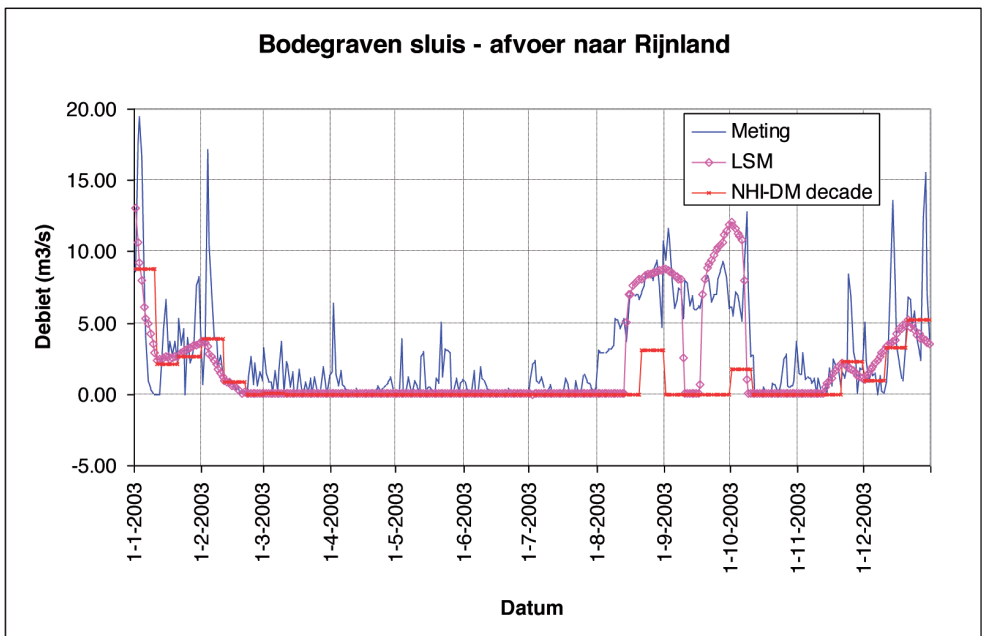
**Afbeelding 6:** Vergelijking berekeningsresultaten LSM en DM met metingen voor Gaarkeuken.

Afbeelding 6 toont de gemeten en berekende doorvoer van Friesland naar Groningen bij Gaarkeuken in 2003. De NHI decadewaarden van DM zijn herkenbaar als per 10 dagen constante debieten. De metingen en de LSM resultaten zijn zoals verwacht dynamischer. LSM berekent in vergelijking met DM iets lagere debieten en zit iets dichterbij de metingen. Het patroon van zowel DM als LSM is consistent met de metingen. De overgang van winterpeil naar zomerpeil in het regionale oppervlaktewater is in het model op een vaste datum opgedrukt, terwijl in de praktijk de waterbeheerder daar flexibeler mee omgaat. In het model wordt een wateroverschot vlak voor het moment van peilopzet nog geloosd, terwijl het in de praktijk wordt vastgehouden. NHI en LSM zijn daarom voor deze locatie in april 2003 hoger dan de metingen, maar bijvoorbeeld in april 2006 klopt NHI voor Gaarkeuken wel goed met de metingen.

Voor de meeste locaties in LSM zijn de resultaten qua debieten in het hoofdwatersysteem van NHI (met DM) en LSM op deze manier vergelijkbaar: de debieten hebben hetzelfde patroon, maar LSM is dynamischer omdat een deel van de gebruikte invoer op dagbasis is. Bij een aantal locaties is het verschil van de inherent verschillende sturing in het waterverdelingsmodel DM en het hydrodynamische model LSM zichtbaar.

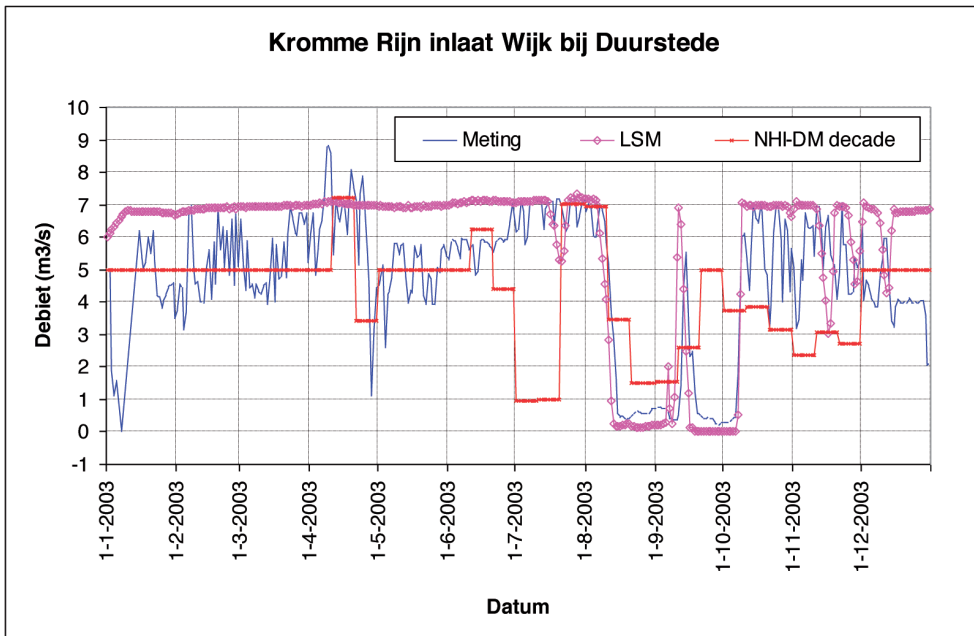
Daarvan volgen hieronder een aantal voorbeelden.

Afbeelding 7 toont de berekende afvoer van Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden (HDSR) naar Hoogheemraadschap Rijnland bij de sluis Bodegraven. In wateroverschot-situaties (winter) loost HDSR bij Bodegraven naar Rijnland. Dat wordt door NHI en LSM redelijk gereproduceerd. Volgens de metingen gebeurt dit ook regelmatig in voorjaar en najaar, maar dat wordt door beide modellen niet gereproduceerd (kleine wateroverschotten worden in het model vooral op het Amsterdam-Rijnkanaal geloosd). In augustus-september 2003 is de zogenaamde Kleinschalige Wateraanvoer (KWA) ingeschakeld en is via Bodegraven water naar Rijnland aangevoerd, omdat de waterinlaat bij Gouda in verband met te hoge chloridegehalten in de Hollandsche IJssel stilgelegd is. Voor deze periode blijkt dat LSM het duidelijk beter doet dan NHI met DM. Dat komt omdat in DM de KWA per decade in- of uitgeschakeld wordt, terwijl in LSM die afweging veel vaker (elke rekentijdstap) gebeurt. En in LSM wordt de KWA conform de praktijk op volle capaciteit aangezet; dat is in het vraaggestuurde DM niet het geval.



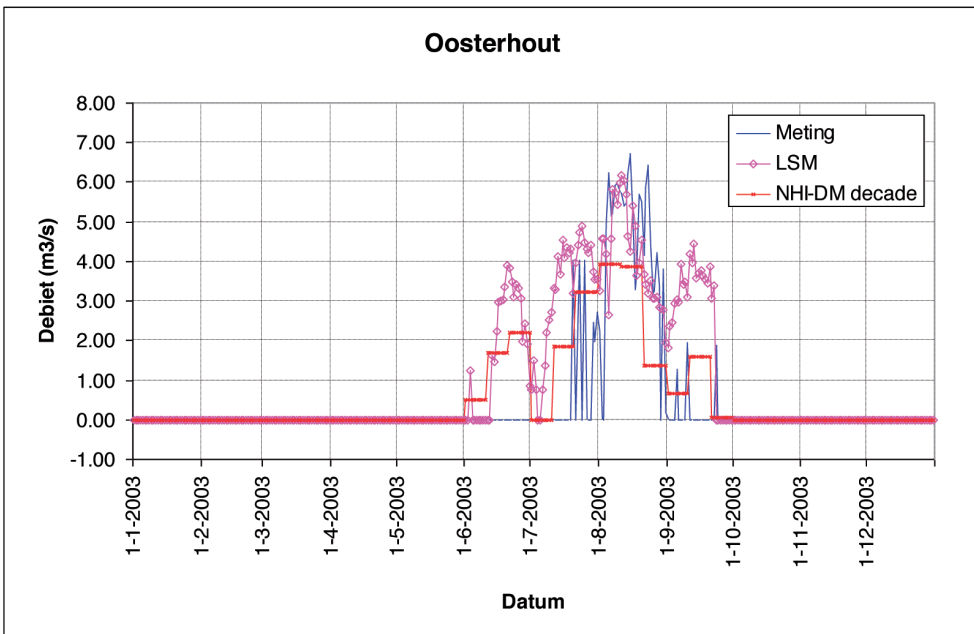
**Afbeelding 7:** Vergelijking berekeningsresultaten LSM en DM met metingen voor Bodegraven.

Voor de inlaat Kromme Rijn (afbeelding 8) geldt dat zowel LSM als DM in het voorjaar 2003 de dynamiek van de metingen niet reproduceren. Een verklaring hiervoor is dat de in de praktijk toegepaste gebiedsregeling rekening houdt met voorspelde neerslag en met verschillende peilregimes voor de inlaat Wijk bij Duurstede, terwijl in LSM met vereenvoudigde sturing wordt gerekend. De sturing in LSM onderscheidt slechts één peilregime en houdt geen rekening met voorspelde neerslag. DM heeft een nog meer vereenvoudigde sturing, die het in het voorjaar iets beter doet dan LSM. Echter, vanaf juli is LSM duidelijk beter dan DM op decadebasis. De inlaatpieken worden goed weergegeven, en ook de momenten dat de inlaat beperkt wordt door lage waterstanden op de Nederrijn-Lek in augustus en september worden door LSM heel goed gereproduceerd,



**Afbeelding 8:** Vergelijking berekeningsresultaten LSM en DM met metingen voor de inlaat Kromme Rijn.

inclusief de korte periode dat inlaat in september 2003 wel mogelijk was. Dat komt doordat in LSM de afvoer bij Lobith op dagbasis wordt opgelegd, waardoor in vergelijking met DM (die met decadegemiddelden werkt) de periode van inlaatbeperkingen beter wordt berekend. Vanaf oktober zit de meting tussen de door LSM en DM berekende waarden.



**Afbeelding 9:** Vergelijking berekeningsresultaten LSM en DM met metingen bij Oosterhout.

Een ander belangrijk aspect is dat het beheer van het watersysteem in de loop van de jaren kan wijzigen. Bijvoorbeeld, in het beheergebied van waterschap Brabantse Delta wordt recent in de zomer (begin juni tot eind september) meer en langer water ingelaten bij Oosterhout ten behoeve van doorspoeling bij Dintelsas en Bovensas, om te voorkomen dat chloride en algenproblematiek vanuit het Volkerak-Zoommeer het Mark-Vliet watersysteem nadelig beïnvloedt. Anderzijds kan het voorkomen van bruinrot in het Wilhelminakanaal leiden tot een verminderde inlaat. In 2003 werd de inlaat bij Oosterhout wel gebruikt, maar gedurende een kortere periode dan het model berekent met het nieuwe beheer (met langere inlaatperiode). Afbeelding 9 laat de vergelijking zien van het model met de meting.

### **Van één geïntegreerd Sobek-model naar gekoppelde modellen**

Het LSM is opgebouwd uit de toegeleverde en beschikbare regionale Sobek modellen. LSM is daarmee feitelijk één groot Sobek-model waarin alle informatie, data en kennis over het waterverdelingsnetwerk is geïntegreerd, waar nodig vereenvoudigd qua sturing en door het weglaten van enkele beken. Deltares beheert LSM namens RWS Waterdienst. Het beheer van de opgenomen regionale modellen ligt (uiteraard) bij de regionale waterbeheerders - zowel de waterschappen en provincies als de regionale diensten van Rijkswaterstaat. Zij zorgen met enige regelmaat voor een actualisatie, verbetering, of aanpassing van de regionale modellen. We mogen daarom verwachten dat in de (nabije) toekomst de wens bestaat om één of meerdere onderdelen van LSM te vervangen. In de huidige opzet betekent dit dat we de “oude” onderdelen verwijderen uit LSM en de nieuwe onderdelen toevoegen. Dit is een nogal omslachtige werkwijze, waarbij steeds een intensief contact nodig is tussen de beheerder van het regionale model en de beheerder van LSM.

Voor de langere termijn stellen we voor om dit te vereenvoudigen, door over te stappen van het huidige grote geïntegreerde Sobek-model naar een systeem van verschillende onderling gekoppelde modellen. Dit zou betekenen dat de regionale modellen onafhankelijk blijven bestaan, en LSM de combinatie van deze regionale modellen vormt. Het beheer en onderhoud van de regionale modellen kan daarmee volledig bij de regionale waterbeheerders blijven liggen, ook binnen LSM. De beheerder van LSM is verantwoordelijk voor het beheer van de koppelingen, en de onderlinge afstemming van de verschillende componenten.

Voor de koppeling van de verschillende regionale modellen is de OpenMI techniek ontwikkeld ([www.openmi.org](http://www.openmi.org)). OpenMI biedt de mogelijkheid voor parallele koppelingen, dat wil zeggen voor modellen die gelijktijdig draaien. Bijkomend voordeel is dat met OpenMI ook modelkoppelingen tussen verschillende (versies van) software systemen kunnen worden gerealiseerd. Uit testen met OpenMI blijkt dat het een veelbelovende ontwikkeling betreft (Talsma e.a., 2012). Nader onderzoek en overleg met de regionale waterbeheerders zal moeten uitwijzen of we in de toekomst ook daadwerkelijk kunnen overstappen van een geïntegreerd naar een gekoppeld modelsysteem.

Bij het koppelen via OpenMI is het idee dat het relatief eenvoudig is om een deelmodel te vervangen door een nieuwere versie. Maar met alleen OpenMI zijn we er nog niet.

Dezelfde aandachtspunten die zijn opgelost in LSM 1.0 blijven van kracht en moeten opgelost worden voordat een koppeling met OpenMI werkelijkheid wordt. Het gaat hierbij concreet om:

- Het opnemen van kunstwerken op de randen van de modellen;
- De uitwisselpunten duidelijk afspreken;
- Het ontwikkelen van modellen die jaarrond kunnen rekenen.

Naar ons idee zou bovenstaande werkwijze en afstemming ten goede komen aan de kwaliteit, toepasbaarheid en herkenbaarheid van het landelijk instrumentarium, want:

- Het vergroot de herkenbaarheid van het landelijk instrumentarium door de waterbeheerders;
- Het vergemakkelijkt het vervangen van een (regionaal) model door een nieuwere versie;
- Het geeft inzicht in de sturing van kunstwerken nabij grenzen van beheersgebieden van waterbeheerders;
- Het bevordert de uitwisseling van kennis van en ervaring met waterbewegingsmodellen tussen waterbeheerders.

Een andere interessante ontwikkeling is om te trachten alle basisdata van de beheerregisters oppervlaktewater te koppelen tot een landelijke basisdataset, zoals die er ook voor grondwater is. Uit zo'n landelijke dataset zou dan ook een Sobek model gegeneerd kunnen worden. De ervaring leert dat 'harde' informatie zoals topografie, cross-sections en afmetingen van stuwen, sluizen, en pompcapaciteiten goed in een dergelijk systeem gezet kunnen worden, maar dat de complexe sturing en beheer van kunstwerken lastig in een (modelonafhankelijke) database te zetten is. Een uit de basisdataset gegeneerd Sobek model zal daarom altijd qua kunstwerksturing nog moeten worden afgeregeld. Voorlopig zal LSM nog gebaseerd blijven op de beschikbare modellen, omdat daarin de sturing én de kennis van de regionale waterbeheerder immers al is opgenomen.

### **Wat kun je met LSM (huidig en toekomstig gebruik)**

LSM is beschikbaar als postprocessor van NHI. In LSM kunnen we de met NHI bepaalde locaties aan districten als laterale debieten opgeven, en vervolgens met LSM berekenen wat dit betekent qua waterstanden en debieten in LSM netwerk. Hiermee levert LSM extra informatie ten opzichte van de NHI berekening met DM. Immers, de ruimtelijke resolutie van LSM is een stuk gedetailleerder dan de resolutie van DM, en LSM berekent in het hele netwerk waterstanden, terwijl DM alleen voor de grote meren en stuwpanden een peil berekent en verder uitgaat van vaste waterstanden. In LSM worden hoofdwatersysteem, boezemsystemen en regionale kanalen en grote beken in samenhang doorerekend. Door de grotere mate van detail in LSM, vooral in de grote boezemsystemen in laag-Nederland, kunnen de effecten van waterverdeling en inlaat van water beter worden bestudeerd. LSM levert in het Deelprogramma Zoetwater informatie aan voor een aantal belangrijke postprocessing modules, die binnen DP-Zoetwater gebruikt worden om de gevolgen van scenario's en de effecten van strategieën te kwantificeren. Van LSM is voor het Deelprogramma IJsselmeer een uitsnede genomen voor analyses met betrekking tot de peilstatistiek van het IJsselmeer voor de diverse klimaatscenario's,

en voor analyses van beheersmaatregelen zoals spuien of pompen. In de toekomst kan LSM in FEWS systemen opgenomen worden. In FEWS-Waterbeheer kan LSM gebruikt worden ter ondersteuning van de Landelijke Coördinatiecommissie Waterverdeling (LCW). In het Deelprogramma Zoetwater worden op basis van LSM analyses gemaakt voor scheepvaart. LSM vormt de basis voor de analyse van temperatuur in het oppervlaktewater en de koelwaterproblematiek. LSM kan op dezelfde manier gebruikt worden als basis voor waterkwaliteitsmodellering. Afstemming tussen NHI, LSM en KRW-verkenner teams is gaande en de samenwerking wordt verder uitgebouwd.

## Conclusies

Het is gelukt een landsdekkend Sobek 1D Flow model operationeel te krijgen op basis van de beschikbare regionale modellen. LSM is tot stand gekomen dankzij intensieve samenwerking met alle waterbeheerders. LSM combineert de beschikbaar gestelde modellen in één groot Sobek model. De watertoedeling die is berekend met NHI (hoeveel water kunnen/mogen de districten onttrekken) wordt door LSM als input gebruikt in de vorm van laterale debieten. Resultaten van LSM geven meer inzicht in tijd en ruimte dan DM. LSM voorziet effectmodellen van benodigde waterstanden, waterdiepten en debieten, en is daarom een belangrijk model binnen het Deelprogramma Zoetwater. Uitsnedes van LSM worden al in een aantal projecten gebruikt. In de toekomst zal LSM ook in FEWS-Waterbeheer en andere systemen gebruikt kunnen worden.

## Dankwoord

Graag willen we iedereen die heeft bijgedragen aan de ontwikkeling van LSM hartelijk bedanken. We bedanken de STOWA voor de organisatie van de verschillende sessies met de regionale waterbeheerders in het Waterschapshuis in Amersfoort, en we bedanken de waterschappen, regionale diensten van Rijkswaterstaat, provincies en drinkwaterbedrijven voor het aanleveren van modellen en informatie, en de coöperatieve bijdragen op basis van hun (gebieds)kennis en goede ideeën. De Waterdienst, in het bijzonder Timo Kroon, bedanken we voor het constructief meedenken qua inhoud en proces en voor commentaar op de eerste versie van dit artikel.

## Literatuur

### **bivas.chartasoftware.com**

**Boderie, P., E. Meijers en R. Peñaillo** (2006) Verificatie Sobek landelijk temperatuurmodel; rapport Q4161; WL|Delft Hydraulics, Delft

**Delsman, J.R. en G.F. Prinsen** (2008) Oppervlaktewater in het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium; in: Stromingen vol. 14-4, pag. 25-36

**Gao, Q. en G.F. Prinsen** (2013) Zoutindringing in het Noordelijk Deltabekken, Modelberekeningen met Sobek-RUR ontwikkelversie 2.13; Deltares rapport 1206107-001-BGS-0005, Delft

- Kallen, M.J., T. Botterhuis en J. Udo** (2008) Koppeling DM en Sobek, stuurboordproject koelcapaciteit rijkswateren; HKV rapport PR1420.11, Lelystad
- Kraaijeveld, M.** (2003) Een SOBEK model van het Noordelijk Deltabekken; kalibratie en verificatie zoutbeweging Noordrand; RIZA werkdocument 2003.047X, Dordrecht
- Prinsen, G.F. en B.P.J. Becker** (2010) Deltamodel 2010, deelrapport 5A: Waterverdelingsnetwerk Sobek-schematisatie v360; project 1202134, Deltares, Delft
- Prinsen, G.F.** (2013) Achtergronddocument LSM 1.04; Deltares rapport 1207765-004-ZWS-0001, Deltares, Delft
- Ruijgh, E.F.W.** (2013) Protocol van Overdracht Deltamodel; Deltares rapport 1207765, Deltares, Delft
- Talsma, J., B.P.J. Becker, Quanduo Gao, E.F.W. Ruijgh** (2012) Coupling of multiple channel flow models with OpenMI, 10th International Conference on Hydroinformatics HIC 2012, Hamburg, GERMANY
- Witteveen+Bos** (2013) Handboek BIVAS, Modelbeschrijving BIVAS 3.0 beta
- [www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/deltamodel](http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/deltamodel)**
- [www.nhi.nu](http://www.nhi.nu)**
- [www.openmi.org](http://www.openmi.org)**