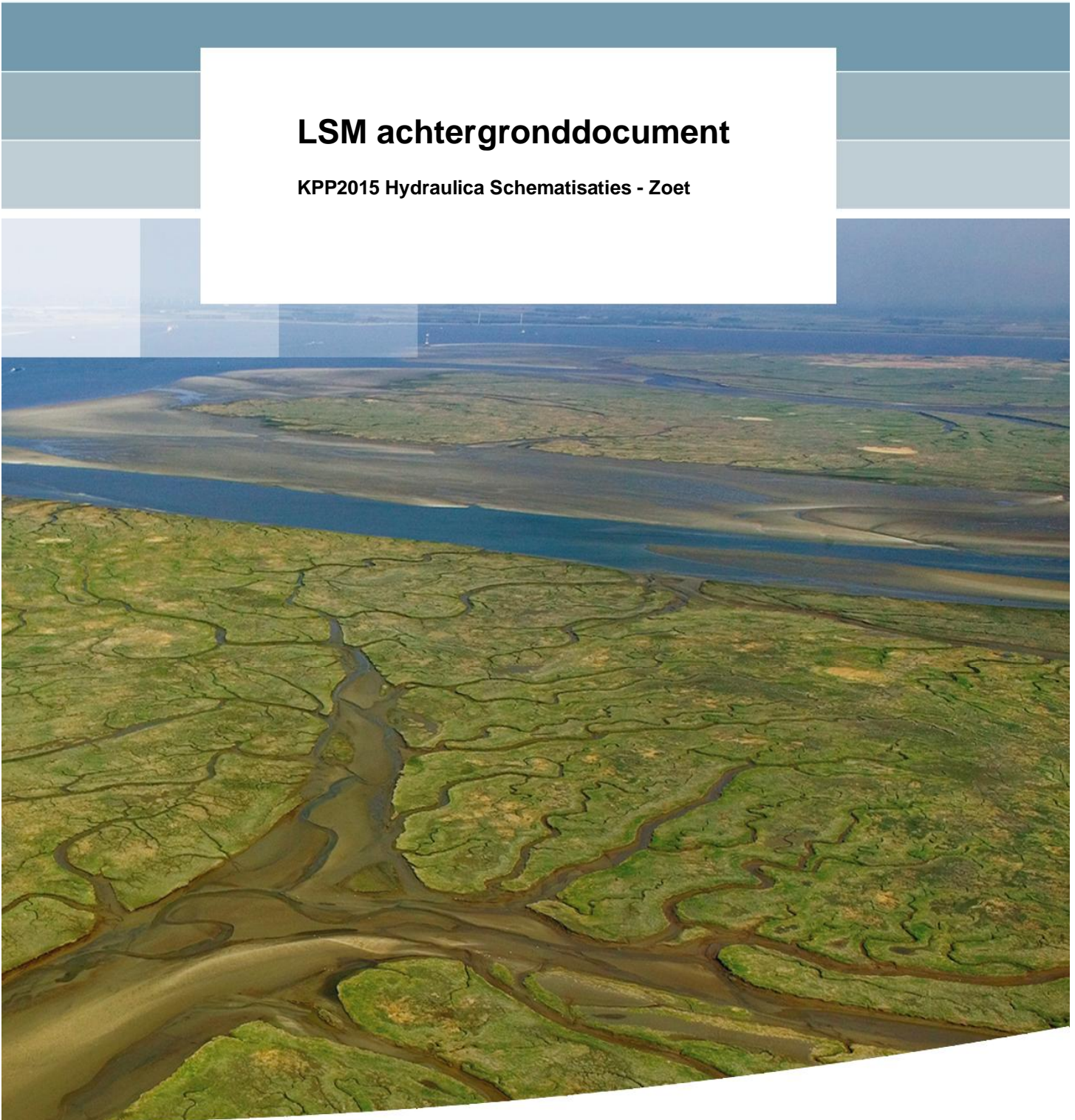


# **LSM achtergronddocument**

**KPP2015 Hydraulica Schematisaties - Zoet**





# **LSM achtergronddocument**

**KPP2015 Hydraulica Schematisaties - Zoet**

Geert Prinsen  
Carine Wesselius

1220072-015



**Titel**  
LSM achtergronddocument

**Opdrachtgever**  
Rijkswaterstaat Water,  
Verkeer en Leefomgeving  
Locatie Lelystad

**Project**  
1220072-015

**Kenmerk**  
1220072-015-ZWS-0002

**Pagina's**  
67

**Trefwoorden**  
Landelijk Sobek Model, waterverdeling, NHI, VONK

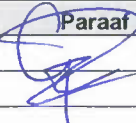


## Samenvatting

Het Landelijk Sobek Model (LSM) is ontwikkeld door de beschikbare Sobek-modellen van landelijke en regionale waterbeheerders te combineren in één grote Sobek-schematisatie. Dit is beschreven in het achtergronddocument LSM 1.04. Daarna zijn in het project Deltamodel diverse kleine updates en verbeteringen van LSM en de daaruit afgeleide variant LSM-light geweest. De laatste complete beschrijving is van LSM-light 1.08 van medio 2013. Ook zijn er updates geweest van het Nederland Hydrologisch Instrumentarium NHI en de schematisatie (LHM = Landelijk Hydrologisch model). Deze worden o.a. gebruikt om laterale debieten voor LSM mee af te leiden.

Naast het gebruik van LSM voor beleidsanalyses in het Deltaprogramma, en dan met name het Deelprogramma ZoetWater, zijn LSM resultaten recent ook gebruikt door het project VONK (VervangingsOpgave Natte Kunstwerken).

Dit rapport beschrijft LSM 1.3, de wijzigingen ten opzichte van vorige versies, en geeft de resultaten van een validatie van debieten en waterstanden van LSM 1.3 voor het droge jaar 2003 en het natte najaar van 1998. Dat laatste is een uitbreiding ten opzichte van de eerdere achtergronddocumenten, die vooral focusten op de toepassing van LSM voor waterverdelingsvraagstukken in droge situaties, en dus op de verificatie van debieten op cruciale waterverdelingslocaties voor het jaar 2003. In het nu voorliggende rapport wordt ook aandacht besteed aan waterstanden.

LSM 1.3 levert voor het jaar 2003 in het algemeen plausibele resultaten, die voor droogtetoepassingen goed bruikbaar zijn. Ook de waterstanden op diverse locaties worden beter gereproduceerd (zowel voor het droge jaar 2003 als het natte najaar van 1998) dan eerdere LSM versies. Voor hoogwater toepassingen is het echter ook belangrijk om wind mee te nemen, en dat is in de huidige berekeningen nog niet gebeurd.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	Aug. 2015	Geert Prinsen		Carine Wesselius		Gerard Blom	

**Status**  
definitief



## Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2 Aanpassingen in LSM 1.3</b>	<b>3</b>
<b>3 Resultaten LSM 1.3 waterverdeling</b>	<b>5</b>
3.1 Schematisatie	5
3.2 Maas	6
3.3 Bovenrivierengebied	10
3.4 IJsselmeer	13
3.5 Benedenrivierengebied	17
3.6 ARK-NZK	18
3.7 Twentekanaal	22
3.8 Friesland en Groningen	24
3.9 Drenthe	29
3.10 Hollands Noorderkwartier	32
3.11 Stichtse Rijnlanden	33
3.12 Rijnland	35
3.13 Delfland	38
3.14 Brabant	41
3.15 Linge	44
3.16 Overige opmerkingen	45
<b>4 Resultaten van LSM voor waterstanden</b>	<b>48</b>
4.1 Inleiding	48
4.2 Maas	48
4.3 Bovenrivierengebied	50
4.4 IJssel-Vecht Delta	56
4.5 Benedenrivierengebied en Zuidwestelijke Delta	57
4.6 ARK-NZK	60
4.7 Twentekanaal	61
4.8 Samenvatting	61
<b>5 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen</b>	<b>63</b>
<b>6 Referenties</b>	<b>67</b>





## 1 Inleiding

Het Landelijk Sobek Model (LSM) is ontwikkeld in het kader van het project Deltamodel en het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) (Prinsen & Becker, 2010). Zoals beschreven in het achtergronddocument van LSM 1.0 (Prinsen, 2012) en van LSM 1.04 (Prinsen, 2013) is het LSM opgebouwd uit een eerder beschikbare versie van het Sobek model voor het Landelijk Temperatuur Model (LTM), waarin de Rijkswateren zijn opgenomen, gecombineerd met diverse regionale Sobek-modellen van de waterschappen. Ook is voor gebruik in het Deltamodel een minder zware versie van het model gemaakt, LSM-light (Prinsen, 2013).

In het kader van het Deltamodel zijn in 2013 en 2014 nog diverse updates van het LSM en LSM-light gedaan. Deze updates hadden vooral het karakter van verbetering van gevonden foutjes en kleine aanpassingen in schematisatie en/of modelinvoer. Ook is het model zowel qua benedenstroomse getijrandvoorwaarden en qua bovenstroomse afvoerrandvoorwaarden geschikt gemaakt voor simulaties vanaf januari 1961 tot en met december 2013. Voor de laterale debieten die op basis van NHI-berekeningen gevuld worden zijn diverse sets beschikbaar. In het Deelprogramma Zoetwater van het Deltaprogramma is gerekend voor de periode 1961-1995 voor diverse scenario's. Bij de jaarlijkse update van NHI is recent steeds voor de periode 1996-2006 gerekend.

Dit rapport beschrijft de laatste aanpassingen aan LSM. De resultaten van LSM 1.3 worden net als de eerdere achtergronddocumenten op belangrijke verdeelpunten in het netwerk vergeleken met metingen. Dit betreft debieten op belangrijke locaties in het netwerk en waterstanden in het IJsselmeer. Deze resultaten zijn vooral van belang voor de toepassing van LSM in projecten als het Deelprogramma Zoetwater. Daarnaast wordt er voor diverse kunstwerken een overzicht gegeven van de waterstanden. Dit zijn typisch resultaten die voor het project VONK (VervangingsOpgave Natte Kunstwerken) van belang zijn. Deze resultaten waren niet eerder in het achtergronddocument opgenomen, maar in een apart memo vastgelegd (Wesselius, 2014)

### Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt eerst een beknopt overzicht gegeven van de aanpassingen in LSM 1.3 sinds versie LSM 1.04. In hoofdstuk 3 worden vervolgens de relevante resultaten van LSM 1.3 voor NHI en DPZW toepassingen getoond voor het droge jaar 2003. Hierbij zijn op decadebasis laterale debieten voor het LSM afgeleid uit een NHI 3.02 run (1996-2006) van de najaar 2014 opgeleverde NHI versie. De neerslag op en verdamping vanuit open water in LSM maakt wel gebruik van dagbasis meteodata. Hoofdstuk 4 bevat vervolgens data van waterstanden bij kunstwerken die voor VONK relevant zijn. Hiervoor is behalve naar het droge jaar 2003 ook gekeken naar het 3<sup>e</sup> en 4<sup>e</sup> kwartaal van het natte jaar 1998.



## 2 Aanpassingen in LSM 1.3

In LSM zijn sinds het achtergronddocument van LSM 1.04 diverse aanpassingen gedaan. Dit zijn meestal kleine aanpassingen, verbeteringen of foutcorrecties geweest in het kader van het project Deltamodel. Bij de diverse updates van het Deltamodel is in het protocol van overdracht van het Deltamodel ook aangegeven voor LSM om welk type wijzigingen in LSM het ging. Omdat LSM slechts één van de modellen is die in het Deltamodel is opgenomen is, zijn de wijzigingen kort beschreven. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de aanpassingen tussen LSM 1.04 en LSM 1.3.

Tussen de versies LSM 1.04 en LSM 1.2 zijn de volgende aspecten aangepast:

- De doorspoeling van de Zaan is voor toepassing in het Deltaprogramma ZoetWater voor alle jaren op 1 m<sup>3</sup>/s gezet. In het beheer is dat weliswaar pas vanaf medio 2004 standaard praktijk, maar voor DPZW is wenselijk om het meest actuele beheer goed in LSM opgenomen te hebben, voor alle hydrologische jaren. Bij het doorrekenen van historische situaties van voor 2004 en de interpretatie van de resultaten moet hier rekening mee worden gehouden.
- Het beheer van de kunstwerken in Midden Limburg en Noord-Brabant (Panheel, inlaat Noordervaart) is iets aangepast om ongewenste schommelingen in waterstanden en debieten te vermijden. De inlaat bij Panheel wordt in het model nu ingeschakeld als het debiet dat via Loozen over de ZuidWillemsvaart naar Nederland komt onder de 9.8 m<sup>3</sup>/s komt.
- Het beheer van de inlaat Oosterhout is aangepast conform informatie van het waterschap (2013): in de zomerperioden wordt meer water bij Oosterhout ingelaten om doorspoeling bij Dintelsas en Bovensas te realiseren.
- De sturing van de kunstwerken van Volkerak-Zoommeer (Bath, Katse Heule, Brouwerssluis) is verbeterd door gebruik te maken van een time controller met correcte sturing.
- De verdeling van water over de ZuidWillemsvaart en het Wilhelminakanaal is verbeterd door aanpassing van het sluisbeheer (sluis 4 WHK, sluis 6 ZWLM)
- De tijdtabelen van diverse controllers en triggers zijn óf periodiek gemaakt, óf zodanig verlengd dat ze geschikt zijn voor simulatie van elk gewenst hydrologisch jaar tussen 1961 en 2013.
- Laterale debieten met niet-periodieke tijdtabelen die niet op basis van NHI resultaten worden aangepast, zijn omgezet naar lange tijdreeks tabellen of periodieke tijdtabelen, zodat ze voor elk jaar realistische waarden geven (en niet constant de eerste of laatste waarde uit de tijdtabel gebruiken)
- De sturing van de Irenesluizen is verbeterd zodat de aanvoer in droge perioden beter overeenkomt met de praktijk. De extra aanvoer via het Amsterdam-Rijnkanaal voor de KWA wordt gemodelleerd op basis van de afvoer bij Lobith (als vereenvoudigde weergave van chlorideproblemen bij Gouda) en het tijdstap in het jaar. Extra aanvoer via de Irenesluizen is alleen toegestaan in de zomerperiode van 1 mei tot 15 oktober, en vanaf het moment dat de afvoer bij Lobith onder 950 m<sup>3</sup>/s zakt, totdat de afvoer bij Lobith weer boven de 1020 m<sup>3</sup>/s komt.
- Enkele correcties en aanpassingen specifiek voor toepassing van het Landelijk Temperatuur Model (LTM), dat immers gebruik maakt van de resultaten van het LSM: opname van enkele warmtelozingen in de schematisatie, rekenpunten op de kunstwerken e.d.
- Correctie van enkele foutieve profielen in het Noordzeekanaal
- Correctie van weerstandsdefinities afhankelijk van het debiet en de locatie op de tak (reach). Er waren diverse takken (in Sobek terminologie: reaches) die door het plakken

met regionale modellen in verschillende takken opgeknipt waren. Hierdoor was de oorspronkelijke debiet- en locatieafhankelijke weerstandsdefinitie niet meer correct of werd deze niet meer gebruikt. Dit speelt voor enkele takken op de Maas en in de Rijntakken (Waal, Nederrijn en IJssel)

- De getijrandvoorwaarden en bovenstroomse debietrandvoorwaarden zijn verlengd tot 2013. Voor de getijrandvoorwaarden is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van beschikbare meetgegevens uit DONAR en Waterbase.
- Diverse bestanden zijn opgeschoond: niet meer gebruikte kunstwerkdefinities, controllers, profieldefinities e.d. zijn verwijderd.

De meeste aanpassingen zijn dus geen netwerkwijzigingen, maar wijziging van invoergegevens zoals randvoorwaarden, weerstandsdefinities, aansturing van kunstwerken e.d.

## **Aanpassingen in LSM 1.3 ten opzichte van LSM 1.2**

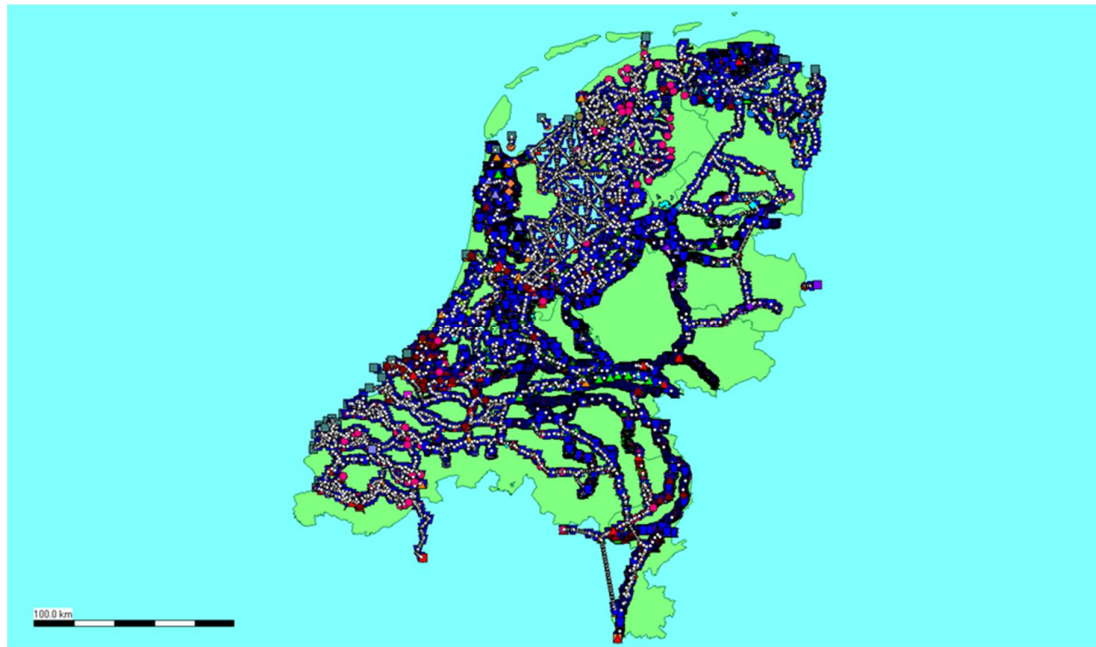
De in 2015 uitgevoerde aanpassingen voor LSM 1.3 ten opzichte van LSM 1.2 zijn gedaan voor gebruik van LSM resultaten door de KRW-Verkenner. Het gaat vooral om het netjes leggen van een aantal takken: een aantal takken die in LSM 1.2 nog niet netjes op de kaart liggen, zijn in LSM 1.3 gecorrigeerd. Dat is iets meer dan een cosmetische aanpassing, want in een aantal gevallen is daardoor de taklengte veranderd, zijn rekenpunten verschoven en worden dus iets andere resultaten berekend. Takken waarvoor dit speelde zijn onder andere de Overijsselsche Vecht, de Grensmaas en het Julianakanaal, de Beneden Merwede en de Biesbosch.

Verder zijn de tijdtabellen voor sturing van IJsselmeerpeilen waar nodig verlengd, en is de periode van peilopzet en peilverlaging veranderd van vrijwel instantaan op 1 april en 1 oktober naar de in het peilbesluit aangegeven perioden van een dag of 15 a 20 om deze data heen.

### 3 Resultaten LSM 1.3 waterverdeling

#### 3.1 Schematisatie

Figuur 3.1 geeft de schematisatie van het Landelijk Sobek Model (LSM 1.3) weer.



Figuur 3.1 Schematisatie van LSM 1.3

LSM 1.3 is gedraaid voor het hydrologische jaar 2003 met watervragen (laterale debieten) uit de NHI 3.02 run voor de periode 1996-2006. Dat is de NHI som die de basis is voor de NHI 3.02 oplevering en bijbehorende rapportage. Voor NHI rapportages is deze periode recent steeds doorgerekend. De periode 1996-2006 is lang genoeg is voor GHG en GLG bepaling (minstens 8 jaar), en bevat een aantal droge jaren (2003 en 2006 zijn de jaren waarvoor eerder de regionale toetsing van NHI is gedaan), en een nat jaar (1998). De NHI som is een som voor de huidige situatie.

Dit hoofdstuk bevat plaatjes van berekende versus gemeten afvoeren voor 2003; dat zijn figuren die ook bij de NHI toetsing gebruikelijk zijn. De hydrologie van 2003 is gebruikt, omdat dit voor toepassingen van NHI en LSM in het kader van het Deelprogramma Zoet Water (DPZW) een relevant droog jaar is. In het volgende hoofdstuk wordt nader ingegaan op enkele waterstandsresultaten.

De opgegeven rekentijdstap in het LSM model is 10 minuten. De modelresultaten zijn weergegeven met daggemiddelde waarden. Hierdoor is de getijdynamiek niet meer zichtbaar. Bij de controle van de resultaten voor wat betreft de debieten is gelet op zowel hoge als lage afvoeren. Er is vergeleken met (daggemiddelde) metingen en ook met vorige LSM versies. In de volgende paragrafen worden de berekende debieten en gemeten debieten voor belangrijke locaties in het waterverdelingsnetwerk toegelicht. Hoewel de locaties voor zout-

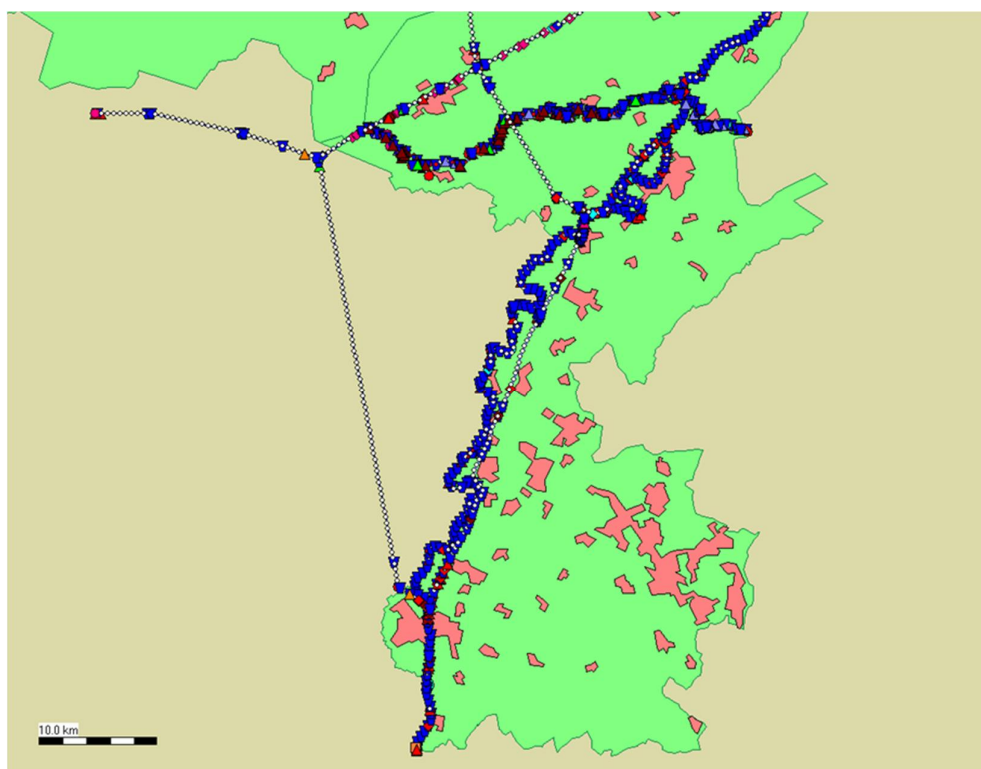
zoetsluizen in LSM zijn opgenomen, is nog geen vergelijking van met LSM berekende en gemeten chlorideconcentraties uitgevoerd. Enerzijds moeten in NHI nog verbeteringen met betrekking tot de zoutmodellering worden uitgevoerd waardoor de in LSM op te drukken zoutconcentraties van laterale debieten verbeterd worden. Die verbeteringen worden noodzakelijk geacht om een goede interne zoutbelasting (vanuit de districten op LSM) te kunnen gebruiken. Anderzijds vergt LSM met zout duidelijk meer rekentijd.

Achtereenvolgens komen bij het bespreken van de resultaten aan de orde:

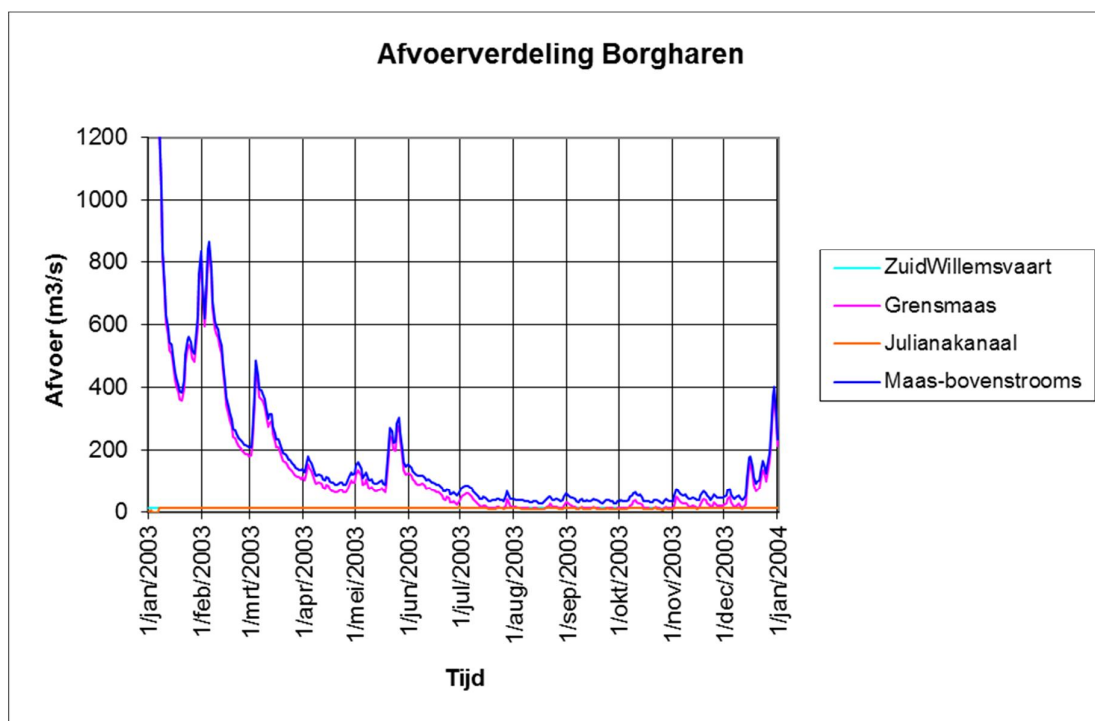
- de verdeling Maaswater bij Borgharen;
- de waterverdeling in het Bovenrivierengebied (stuw bij Driel);
- het IJsselmeer;
- het systeem Haringvliet – Nieuwe Waterweg;
- het systeem ARK – NZK;
- de interactie met regionale systemen zoals Twentekanaal, Drenthe, Friesland en Groningen, Noord Holland, HdSR, Rijnland, Delfland, en Noord-Brabant; en
- enkele koppelpunten in de regionale systemen.

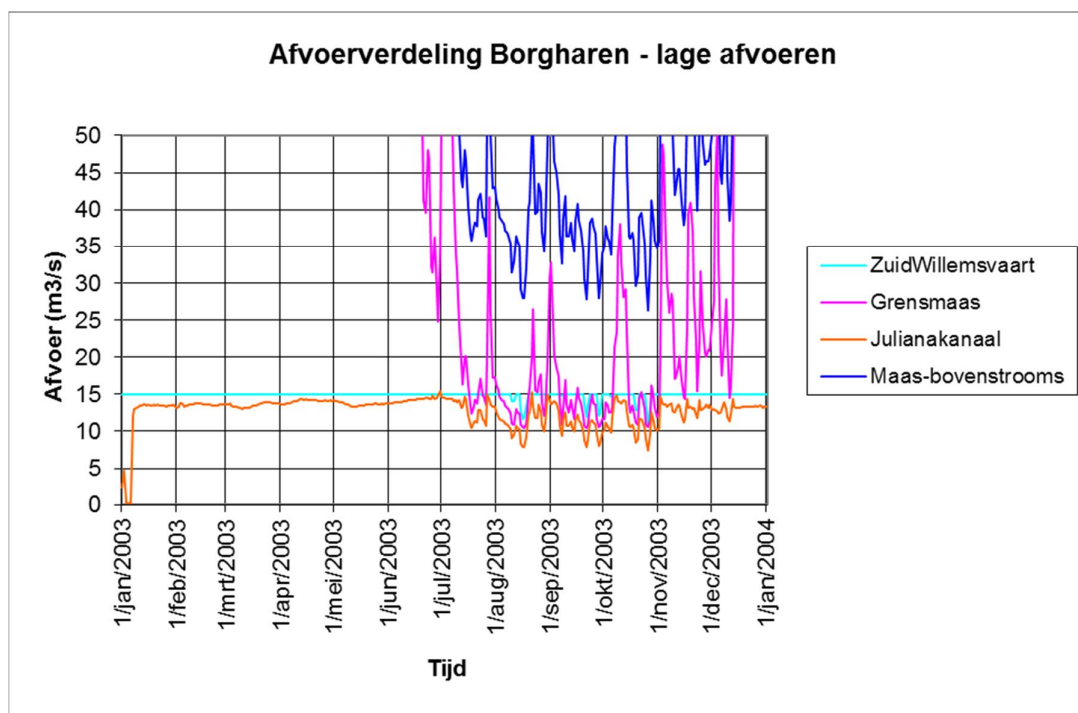
### 3.2 Maas

Nabij Borgharen wordt het Maaswater verdeeld over Zuid-Willemsvaart, Grensmaas en Julianakanaal (zie figuur 3.2). In het LSM model zijn hiervoor een aantal kunstwerken met controllers en triggers, en een aantal meetstations gedefinieerd. Hoge Maasafvoeren worden via de Grensmaas geleid, uitgezonderd een afvoer via de Zuid-Willemsvaart van 15 m<sup>3</sup>/s en via het Julianakanaal van ongeveer 13 m<sup>3</sup>/s. Bij lage afvoeren wordt eerst een minimum afvoer van 10 m<sup>3</sup>/s via de Grensmaas gehandhaafd, en bij toenemende afvoeren wordt getracht zowel Zuid-Willemsvaart als Julianakanaal geleidelijk te laten toenemen tot de genoemde waarden. De situatie nabij Borgharen en de met LSM berekende debieten worden in figuur 3.2 en 3.3. weergegeven.



Figuur 3.2: Situatieschets waterverdeling Maaswater in Zuid-Limburg

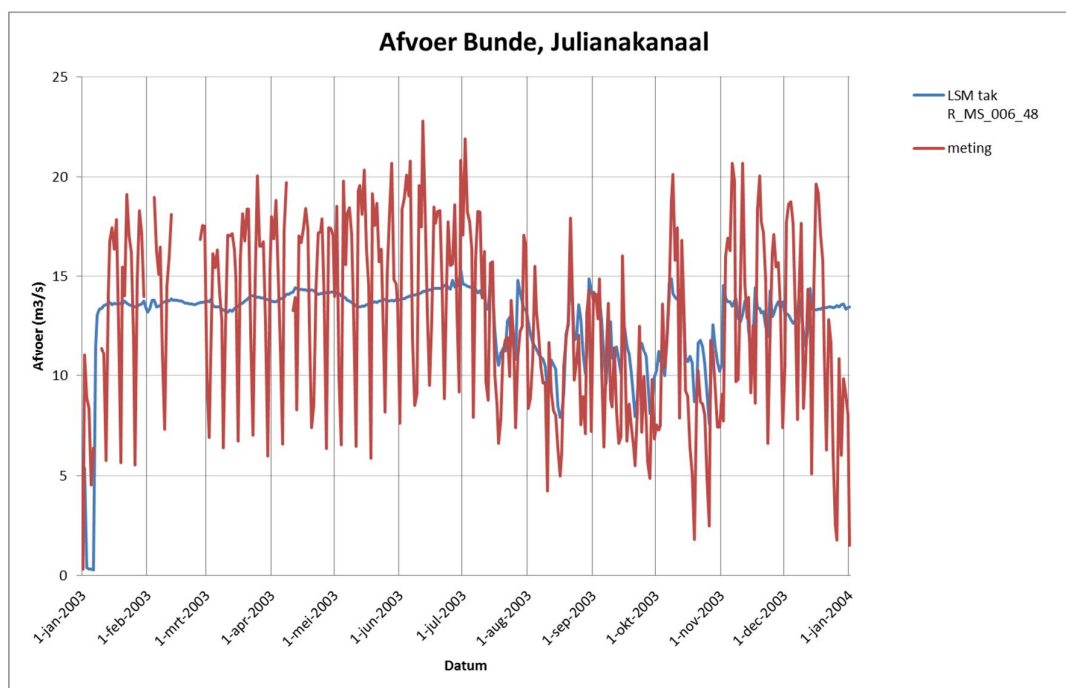




Figuur 3.3: Met LSM berekende verdeling Maaswater over Grensmaas, ZuidWillemsvaart, Julianakanaal (2003)

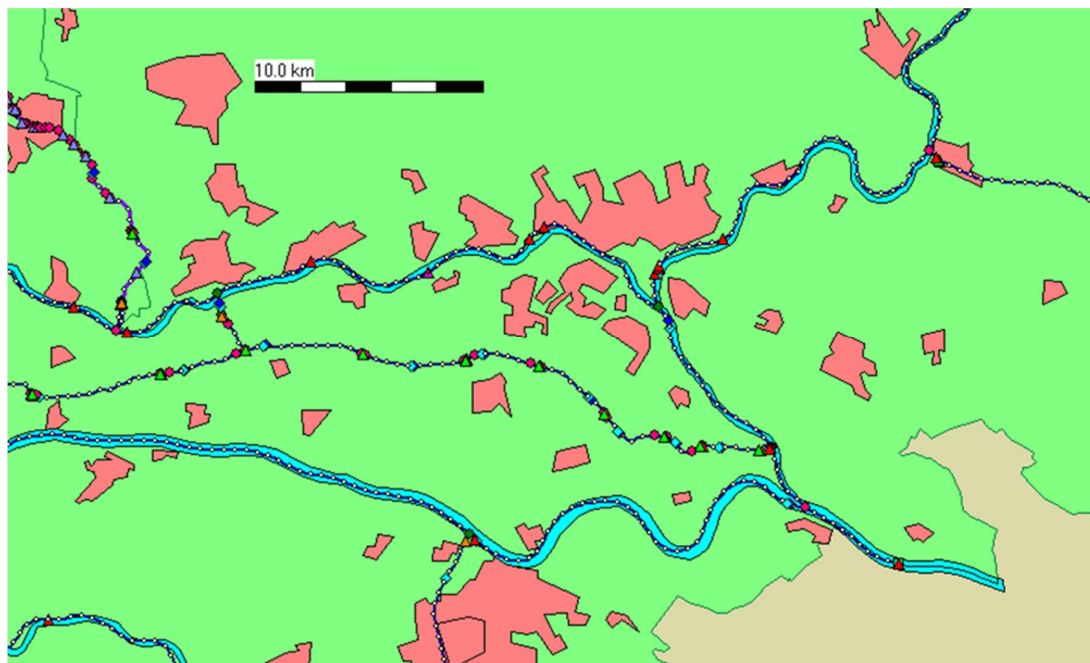
- De LSM schematisatie begint met de zogenaamde ongedeelde Maasafvoer bij Monsin (Luik) als randvoorwaarde. Dit is ook de afvoer die met Grade wordt gegenereerd. In LSM is de Maasschematisatie bovenstrooms Eijsden uitgebreid zodat de Monsin-afvoer als rand gebruikt wordt, en een extra tak om de onttrekking naar het Albertkanaal conform het Maasafvoeroverdrag te implementeren (plus 4 m<sup>3</sup>/s die voorheen via Bocholt-Herentals ging).
- Bij lage afvoeren van de Maas-bovenstrooms zoals in het najaar van 2003 wordt de Grensmaas in LSM op debieten tussen 10 en 15 m<sup>3</sup>/s gehandhaafd en wordt de afvoer via Julianakanaal en de Zuid-Willemsvaart gekort. De afvoer over het Julianakanaal is in LSM orde 13 m<sup>3</sup>/s bij voldoende beschikbaarheid terwijl dat ongeveer 15 m<sup>3</sup>/s zou moeten zijn volgens het Maasafvoeroverdrag. Echter in vergelijking met de daggemiddelde metingen bij Bunde lijkt 13 m<sup>3</sup>/s niet slecht, zie figuur 3.4. De metingen schommelen weliswaar sterk, maar het gemiddelde komt goed overeen met het door LSM berekende debiet. De sturing in LSM houdt de afvoerverdeling vrij glad. Nadere analyse van de metingen laat zien dat de periodieke fluctuaties in de metingen samenhangen met zon- en feestdagen (met duidelijk minder scheepvaart). Dit aspect is echter niet in LSM meegenomen. De berekende afvoeren over het Julianakanaal in de periode augustus-oktober 2003, als de Maasafvoer laag is, kloppen goed met de metingen.





Figuur 3.4: Afvoer Bunde (Julianakanaal) in vergelijking met metingen voor 2003 (model=blauw)

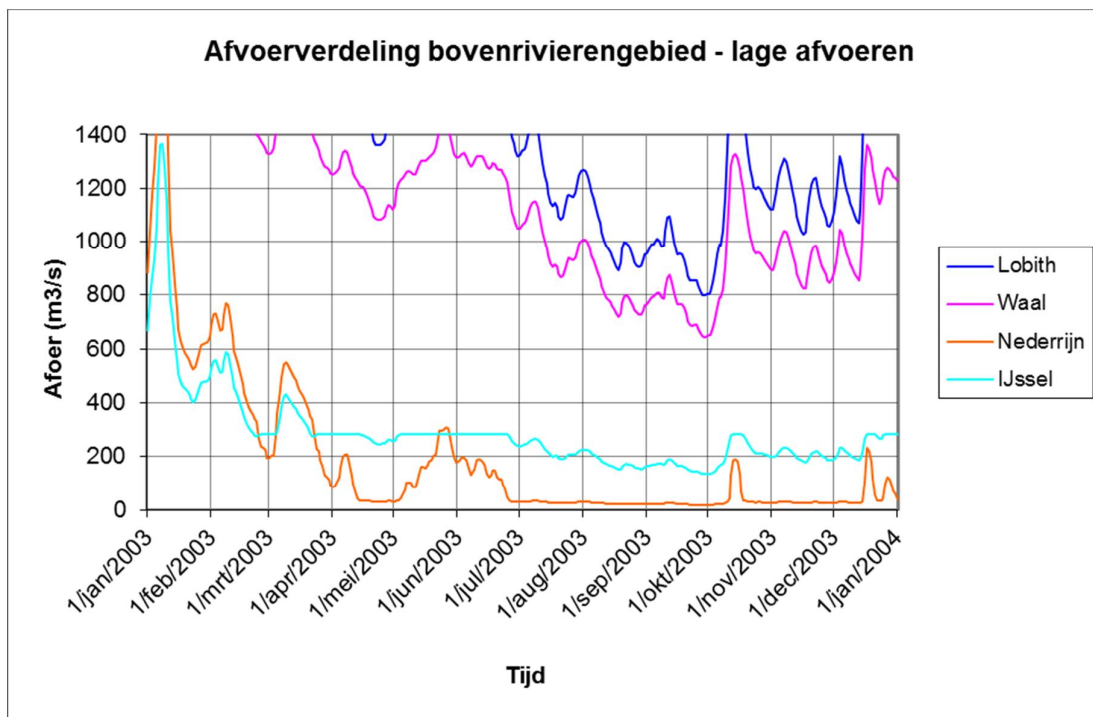
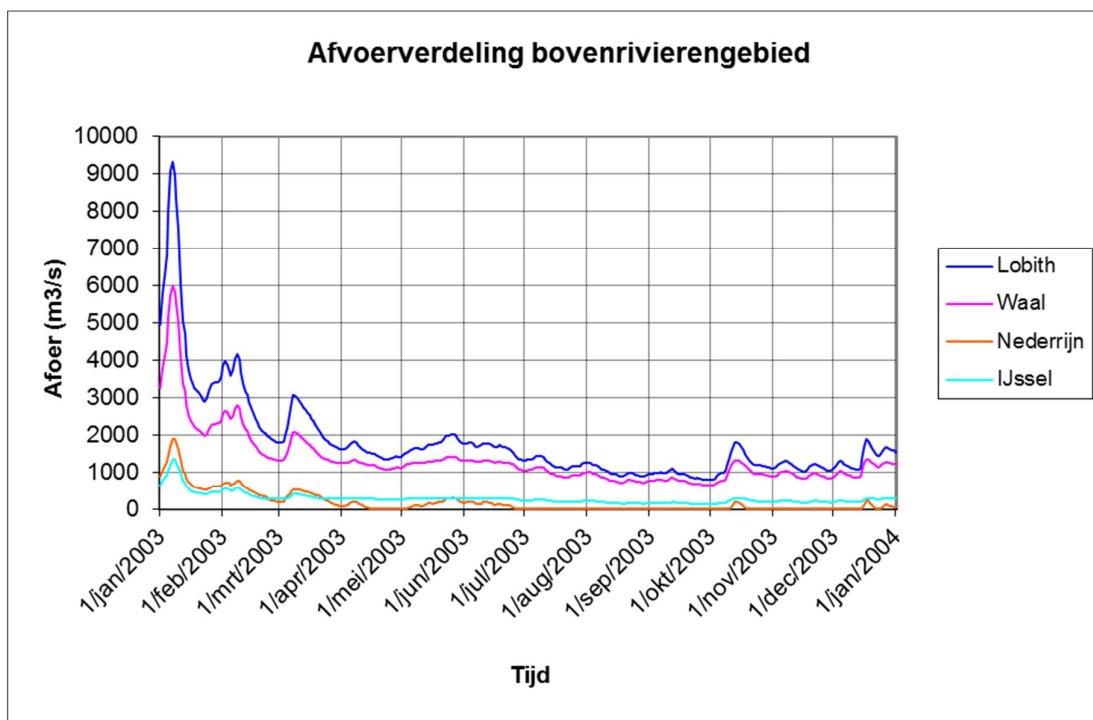
### 3.3 Bovenrivierengebied



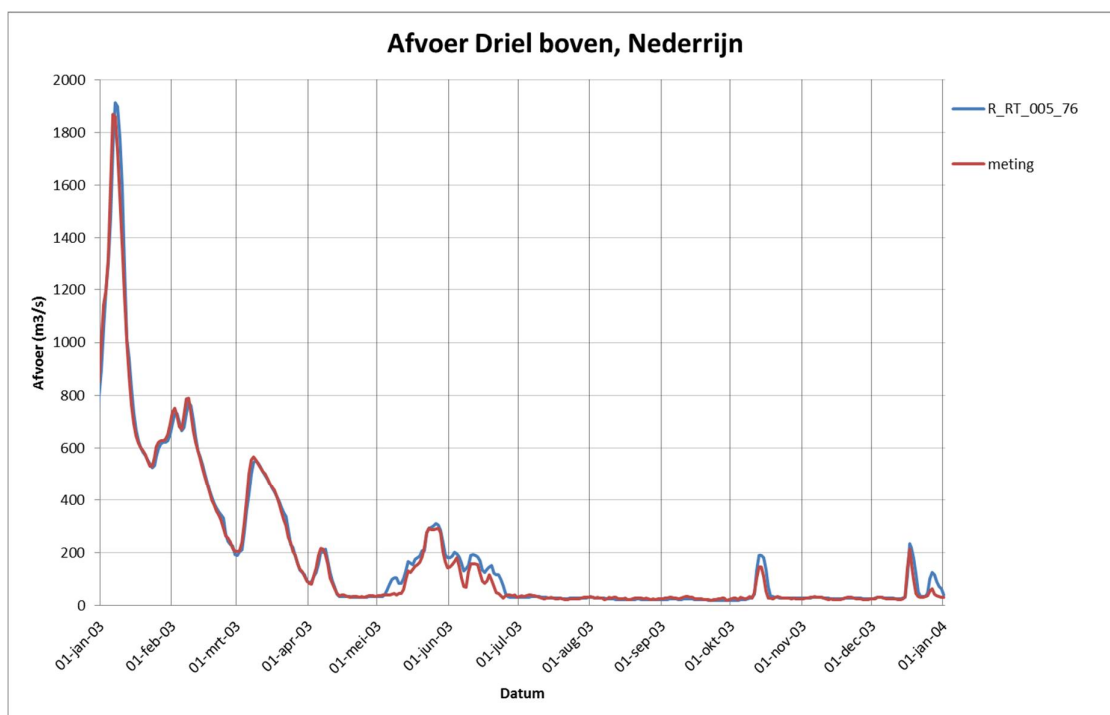
Figuur 3.5: Situatieschets waterverdeling Bovenrivierengebied

Figuur 3.5 geeft een weergave van het bovenrivierengebied. De waterverdeling van het Rijnwater over de Waal, Nederrijn en IJssel wordt gestuurd door het beheer van de stuw bij Driel. Verder is de Linge zichtbaar, met de diverse stuwen en de inlaat bij Doornenburg uit het Pannerdens kanaal. De berekende afvoerverdeling met LSM wordt weergegeven in figuur 3.6.

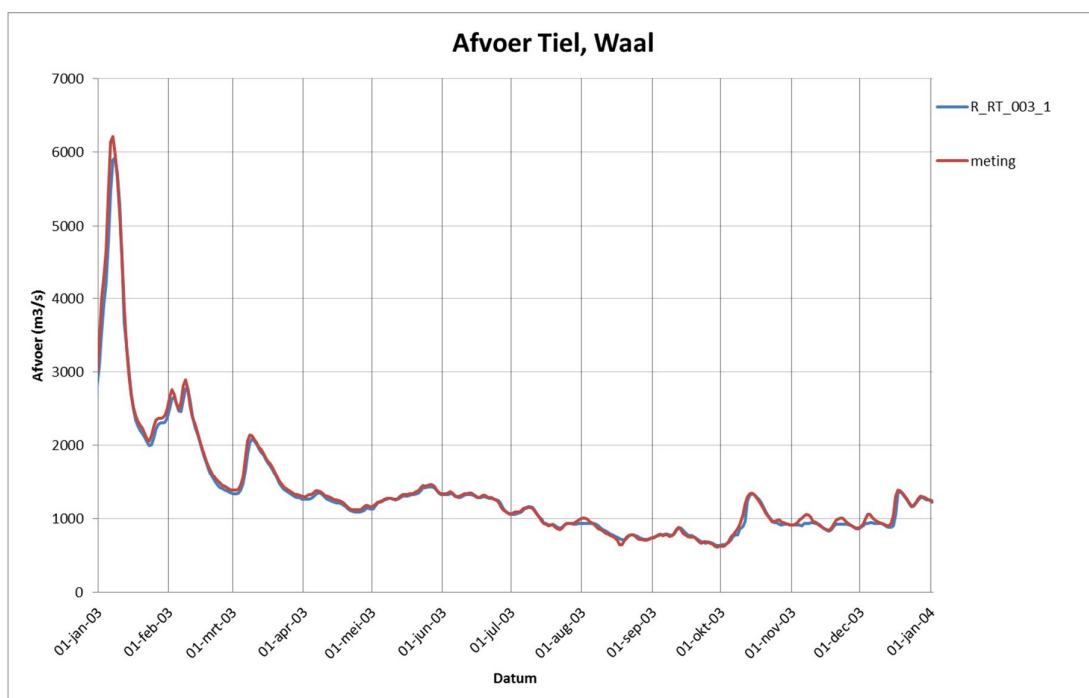
- De Waal voert het meeste Rijnwater af. Bij lage afvoeren bij Lobith wordt de stuw bij Driel ingezet om de afvoer op de IJssel zo groot mogelijk (streefwaarde  $285 \text{ m}^3/\text{s}$ ) te maken, onder garantie van een minimum afvoer (orde  $25 \text{ à } 30 \text{ m}^3/\text{s}$ ) over de Nederrijn. Bij lage Rijnafoeren wordt wel de minimum afvoer over de Nederrijn gehandhaafd, maar wordt het streefdebiet op de IJssel niet meer gehaald. Het modelresultaat van LSM is in lijn met de verwachtingen en het beheer zoals in DM is geïmplementeerd. In vergelijking met de metingen zijn er nog wel enige verschillen, zie figuur 3.7 en 3.8 voor Tiel (Waal) en Driel (Nederrijn). De afvoeren wijken soms nog wat af van de metingen. Bij hoge afvoeren komt dit o.a. doordat de extra weerstanden (extra resistance) die in het Sobek-RE model van de Rijntakken zijn opgenomen niet zijn overgenomen in het LSM Sobek 2.13 model. Toen LSM werd samengesteld was deze functionaliteit nog niet beschikbaar in Sobek 2. Zolang de extra resistances niet in het model zijn opgenomen of nog niet op een (via OpenMI gekoppelde) nieuwe Sobek-3 versie van het Rijntakken model wordt overgestapt (waar de extra resistance al wel in is opgenomen) blijven die verschillen. Bij lage afvoeren blijken er ook kleine verschillen tussen gemeten afvoeren bij Driel en de in LSM berekende afvoeren (met ingewikkelde sturing van de stuw bij Driel met controllers en triggers). Omdat het basis Rijntakken model niet voor lage afvoeren is gecalibreerd, is het niet op voorhand te zeggen of deze verschillen komen door een minder nauwkeurige modellering, of dat er in de praktijk is afgeweken van het beleidsmatig vastgelegde beheer.



Figuur 3.6: Met LSM berekende verdeling Rijnafoer over Waal, Nederrijn en IJssel (2003)

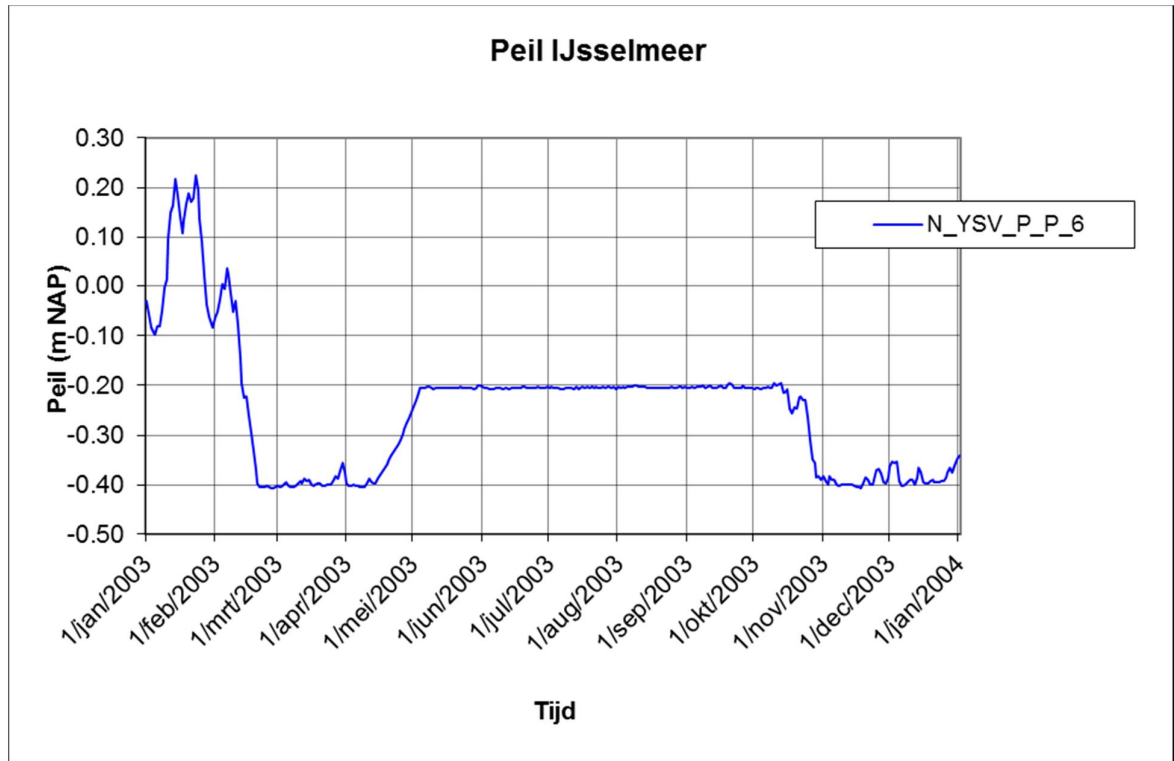


Figuur 3.7: Vergelijking afvoer Driel met meting voor 2003 (model = blauw)



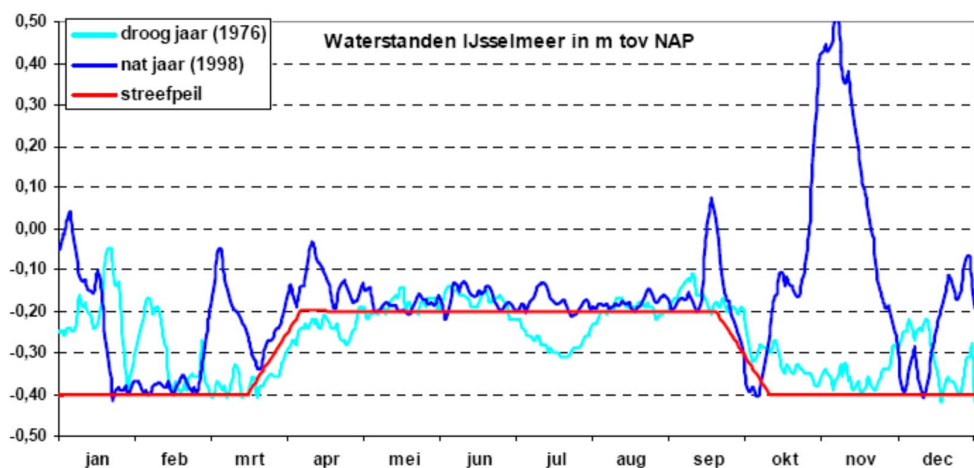
Figuur 3.8: Vergelijking afvoer Tiel (Waal) met meting 2003 (model = blauw)

### 3.4 IJsselmeer

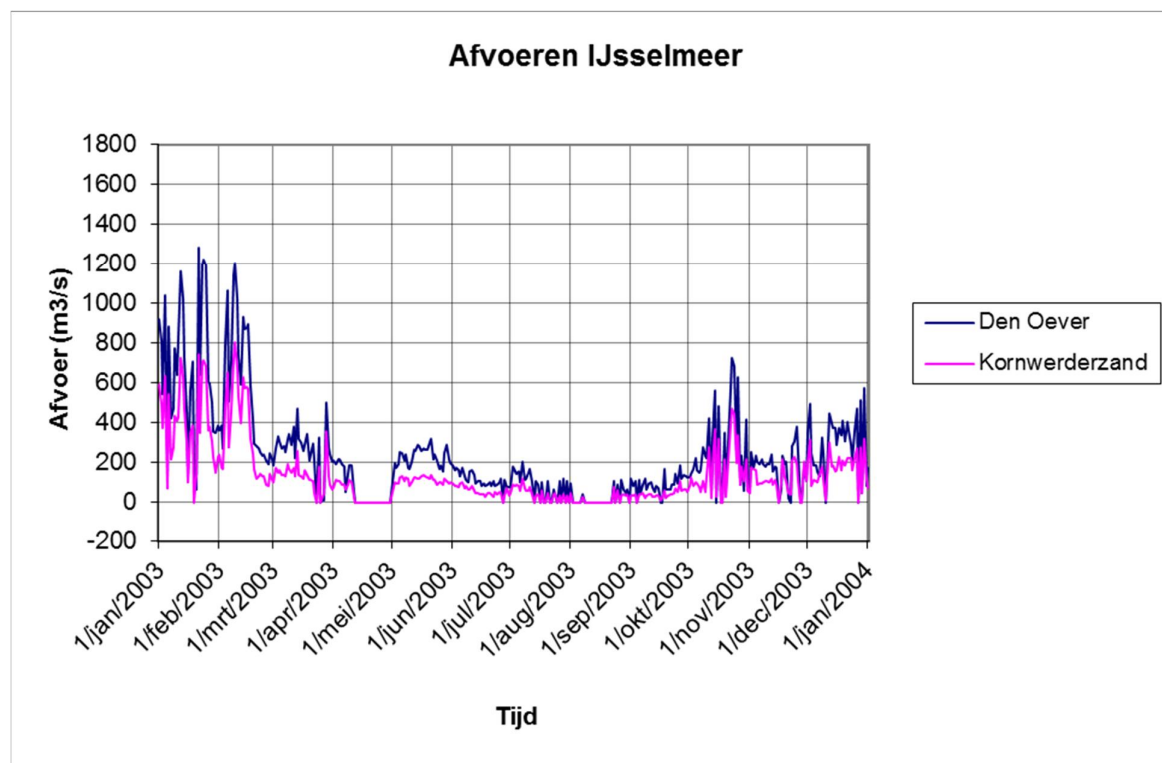


Figuur 3.9: Met LSM berekend IJsselmeer peil (2003)

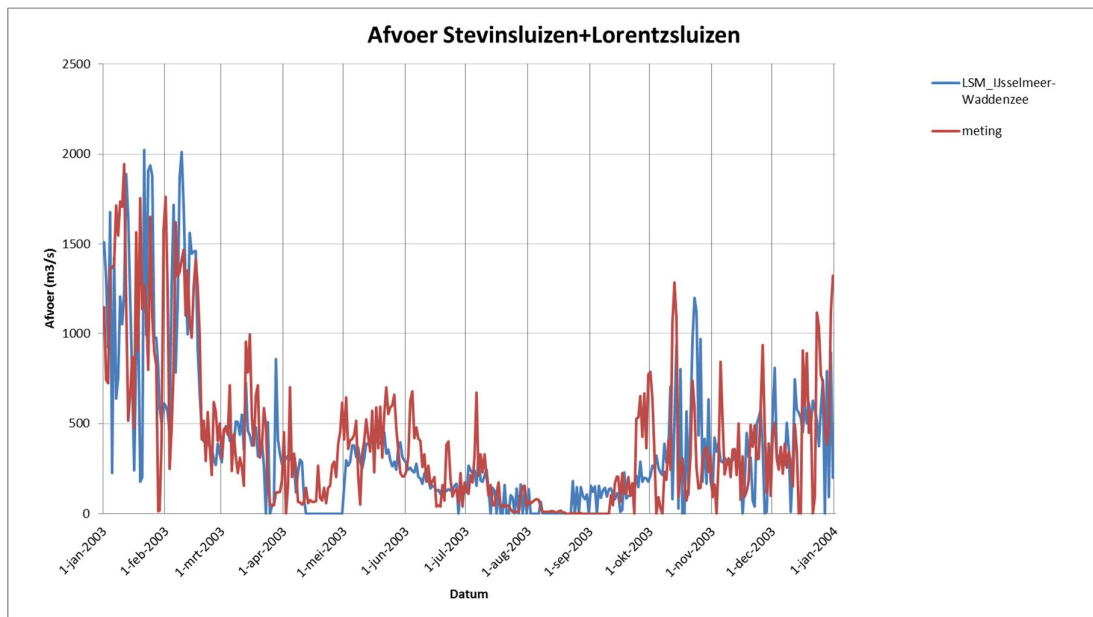
- Bij het IJsselmeer is een streefpeilregime van -0.4 m NAP in de winter, -0.2 m NAP in de zomer opgelegd. Overgang van winter- naar zomerstreefpeil en andersom vindt volgens het peilbesluit rijkswateren IJsselmeergebied voor het IJsselmeer plaats tussen 20 maart-10 april en 20 september – 10 oktober. Het initiële peil van de meren was in deze som nog iets te hoog, maar loopt door de afvoergolf begin januari 2003 nog verder op tot ruim boven 0 m NAP. In werkelijkheid is dat minder geweest, omdat het peil wel netjes op winterstreefpeil was voordat de afvoergolf kwam. In het winterhalfjaar komt het peil regelmatig boven streefpeil, door lozingsbelemmeringen door hoge buitenwaterstanden en/of door hoge rivierafvoeren. In droge zomers zakt het IJsselmeerpeil soms onder het streefpeil van -0.20 NAP. In de NHI som (met DM) voor 2003 is dit ook het geval en zakt het peil volgens de metingen tot 4 cm beneden het streefpeil van -0.20 m NAP (dus tot -0.24 m NAP), maar in de hier gepresenteerde LSM som niet. De metingen van IJsselmeerpeilen van de provincie Overijssel voor de droge zomer van 2003 geven aan dat het peil van het IJsselmeer eerst tot boven het streefpeil is opgezet (bovenkant peilbesluit -0.17 m NAP), maar daarna orde 5 cm is uitgezakt. De met DM berekende uitzakking klopt dus goed. Uitgezocht moet nog worden waarom LSM nauwelijks uitzakking van het IJsselmeerpeil laat zien.
- Het uitzakken van het peil in oktober gebeurt wat langzamer in het model dan in werkelijkheid. Er wordt wel gespuid zoals uit de berekende afvoeren blijkt (zie figuur 3.11), maar blijkbaar is de spuicapaciteit eerst onvoldoende om het peil te laten zakken. Dit is mogelijk een gevolg van het niet meenemen van wind in de berekeningen.



Figuur 3.10: Gemeten waterstanden IJsselmeer (1976 en 1998)



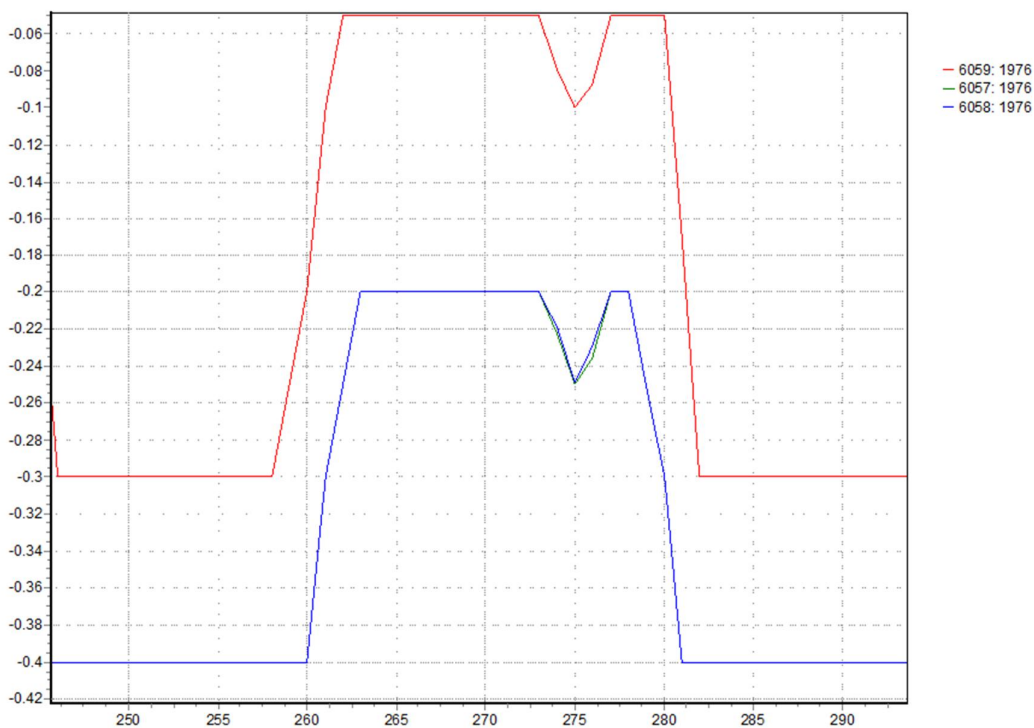
Figuur 3.11: Met LSM berekende afvoeren Den Oever en Kornwerderzand (2003)



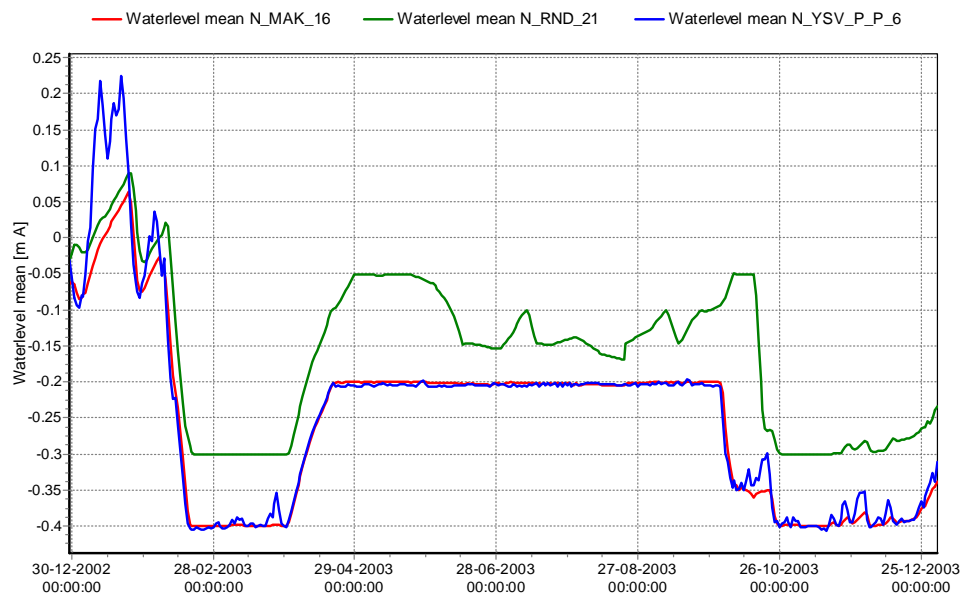
Figuur 3.12: Totale afvoer Afsluitdijk in vergelijking met metingen voor 2003 (model=blauw)

- Alleen in perioden van wateroverschot wordt water naar de Waddenzee afgevoerd. In de periode van peilopzet (april) en als in de zomer door een verdampingoverschot en grote regionale watervragen het peil onder streefpeil zakt, wordt er geen water geloosd naar de Waddenzee. Bij de periode van peilopzet van het IJsselmeer in het model in april wordt er dus geen water geloosd naar de Waddenzee; in de zomerperiode is er volgens de LSM berekening gedurende 2 weken in augustus geen lozing naar de Waddenzee geweest; volgens de metingen was dat orde 4 weken lang het geval. Dat is consistent met de observatie dat in de metingen het IJsselmeerpeil uitzakt en in het LSM nauwelijks.
- In de NHI berekening met DM zakken in 2003 de peilen van IJsselmeer, Markermeer en Veluwemeer orde 5 cm uit. In het LSM zakken IJsselmeer en Markermeer nauwelijks uit, en zakt het Veluwemeer langdurig orde 10 cm uit.
- De sturing van de Stevinsluizen en Lorentzsluizen gebeurt in LSM op basis van de waterstand in het midden van het IJsselmeer. Als de waterstand boven streefpeil is, wordt er water geloosd. Bij een waterstand onder streefpeil blijven de sluizen gesloten.





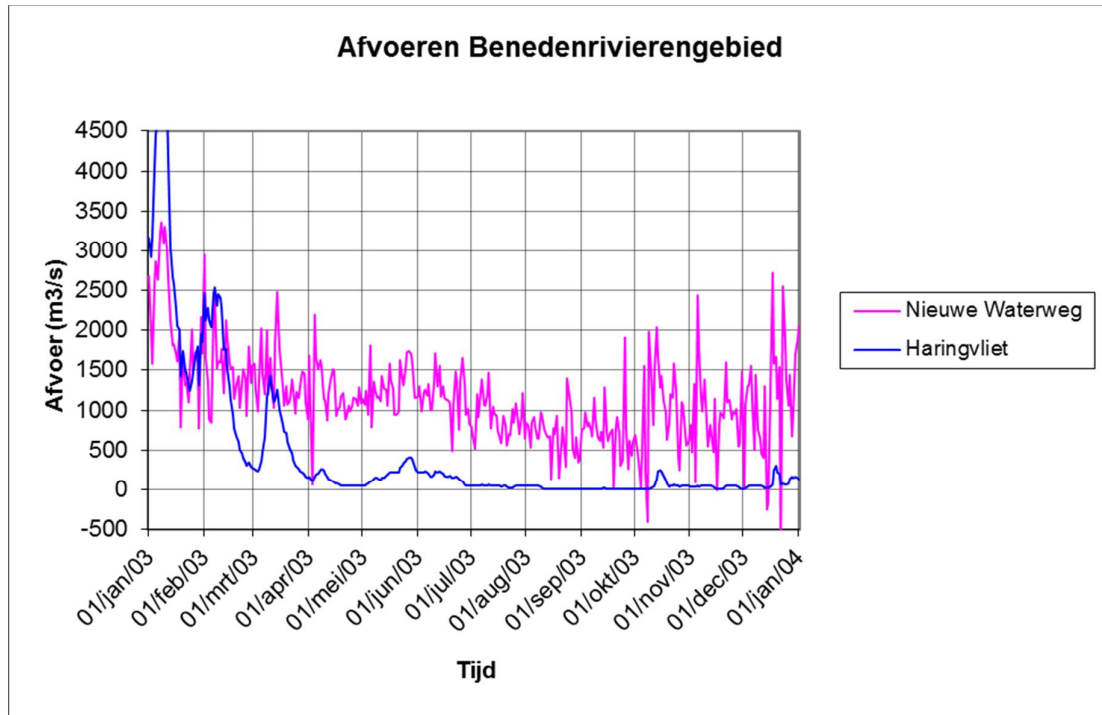
Figuur 3.13: Met NHI 3.02 berekende peilen in IJsselmeer/Markermeer (groen/blauw) en Veluwemeer (rood), 2003



Figuur 3.14: Met LSM berekende peilen in IJsselmeer/Markermeer (groen/rood) en Veluwemeer (blauw) voor 2003



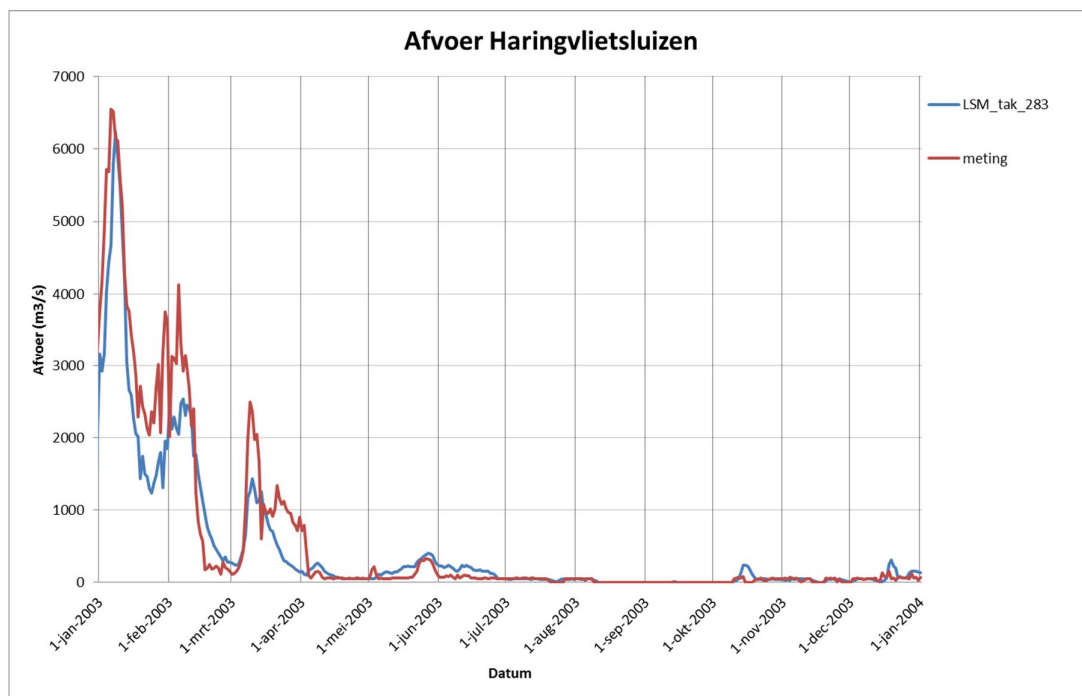
### 3.5 Benedenrivierengebied



Figuur 3.15: Berekende afvoeren Nieuwe Waterweg (Stormvloedkering NWW) en Haringvlietsluizen (2003)

- De Haringvlietsluizen worden in LSM bij lage afvoeren op de Waal bij Tiel gesloten, en vervolgens (bij eb) steeds verder geopend bij toenemende afvoeren bij Tiel. Deze sturing op basis van de Waalafvoer bij Tiel gebeurt (en dus niet op basis van de Rijnaafvoer bij Lobith) is overgenomen TMR 2006 Sobek-RE model van het Noordelijk Deltabekken waarin de bovenrand bij Tiel ligt. De officiële sturing van de Haringvlietsluizen is echter op basis van de afvoer bij Lobith, daardoor kunnen verschillen tussen model en metingen ontstaan. Ook speelt een rol dat de afvoerverdeling in de loop van de jaren langzaam wijzigt door erosie/sedimentatie en implementatie van diverse maatregelen.
- Van half april tot begin mei, en van juli tot half december is de Rijnaafvoer bij Lobith vrijwel altijd beneden de 1500 m<sup>3</sup>/s, met uitzondering van een afvoerpiekje half oktober. In die periode blijken de sluisen op het Haringvliet vrijwel steeds gesloten. Via de Nieuwe Waterweg dringt bij deze lage Rijnaafvoeren zout water naar binnen. Op sommige dagen is het daggemiddelde debiet negatief (dus van Hoek van Holland richting Rotterdam), door een combinatie van lage rivierafvoeren en hoge buitenwaterstanden (windopzet).
- In de periode januari-februari geeft LSM een forse afvoer via de Nieuwe Waterweg (veel achtereenvolgende daggemiddelde waarden boven de 1500 m<sup>3</sup>/s). In het beheer in DM wordt tot 1500 m<sup>3</sup>/s over de Nieuwe Waterweg gestuurd en verder overtollig water via het Haringvliet gespuid. Bij vergelijking van het door LSM berekende debiet met de metingen 2003 (zie figuur 3.16) blijkt dat er meer via Haringvliet is afgevoerd dan door het model berekend wordt. LSM laat in die periode dus te veel uit via Nieuwe Waterweg, en te weinig via het Haringvliet. Ook bij een beschikbare som met het Sobek-RE model voor het hydrologische jaar 2003 blijkt dit het geval te zijn. Onderzocht zou moeten

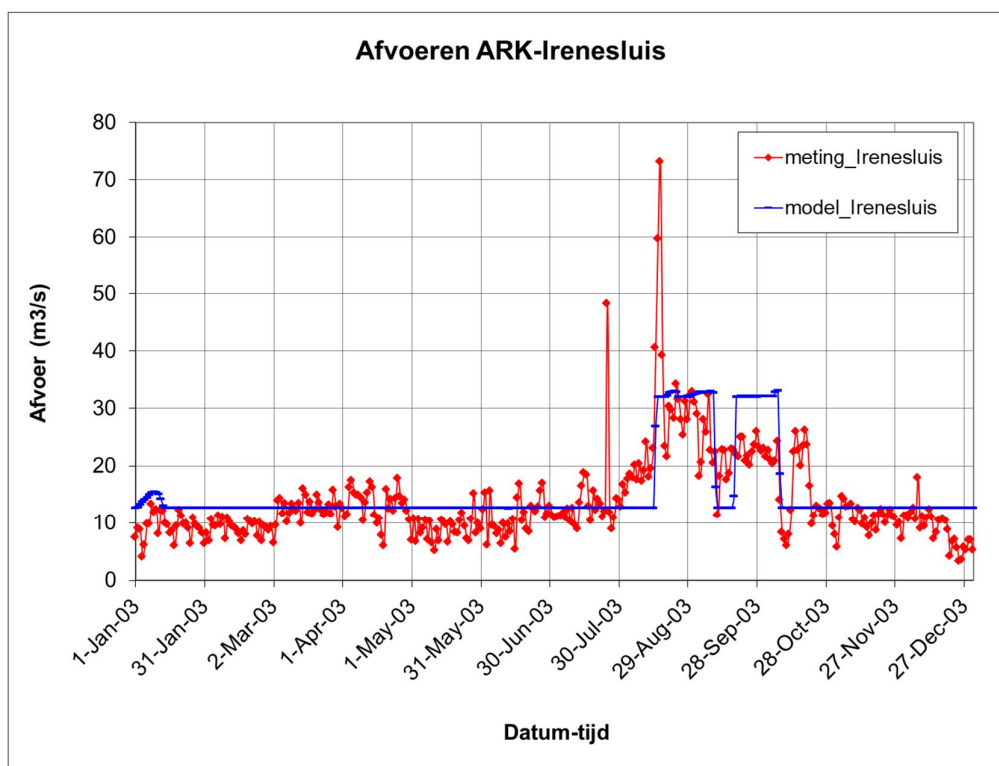
worden of dit voor beide sommen ligt aan de korte initialisatieperiode, of aan de implementatie van de sturing van de Haringvlietsluizen in de modellen, en of het met het nieuwere RMM model in Sobek-3 ook optreedt.



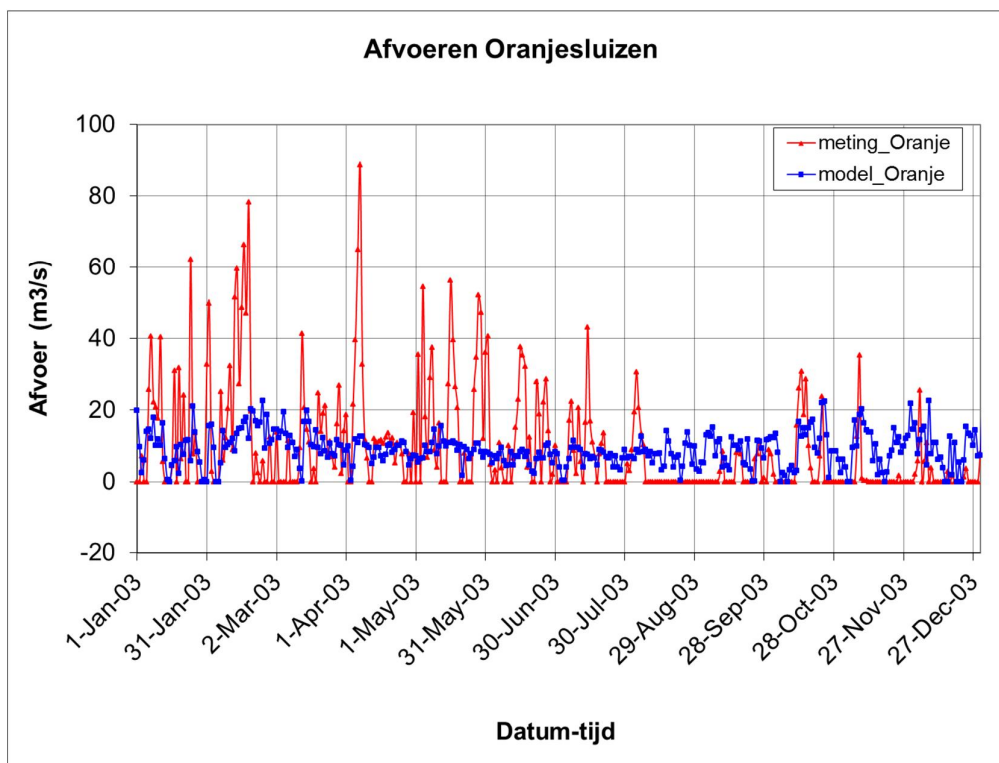
Figuur 3.16: Afvoeren Haringvliet in vergelijking met metingen 2003 (model=blauw)

### 3.6 ARK-NZK

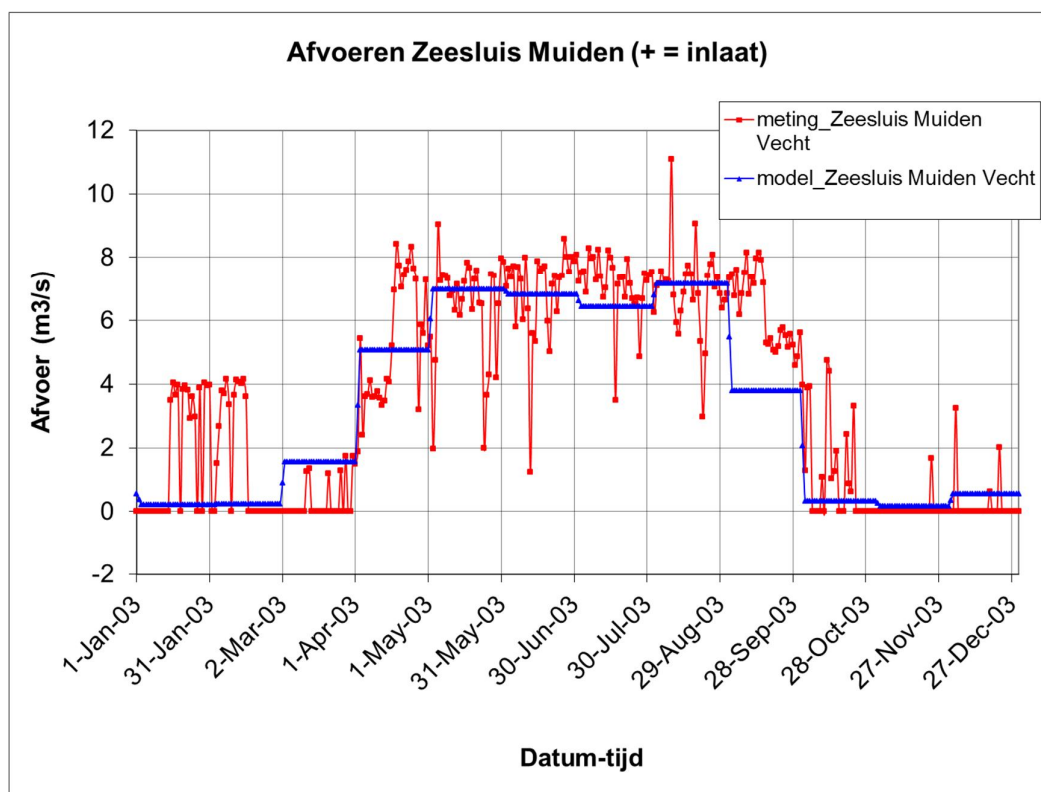
Voor het Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal zijn vooral de inlaten bij de Prinses Irenesluizen op het ARK en de Oranjesluizen (van Markermeer naar NZK) van belang. De inlaat van de Beatrixsluizen is veelal kleiner dan de inlaat bij de Irenesluizen. Daarnaast staat het systeem in verbinding met de Vecht; bij de Zeesluis Muiden wordt water uit het IJmeer ingelaten. De volgende figuren geven een vergelijking van de berekende en gemeten debieten bij de Irenesluizen, de Oranjesluizen, de Zeesluis Muiden en de Noordzeekanaalsluizen bij IJmuiden.



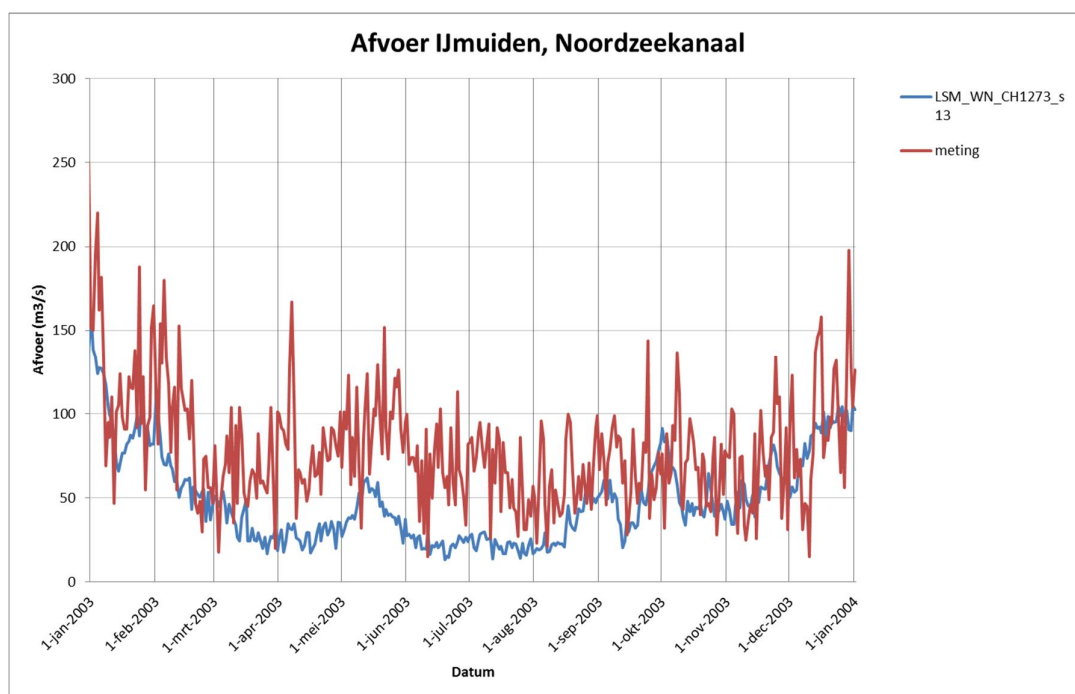
Figuur 3.17: Debiet bij de Irenesluizen (inlaat ARK) en metingen 2003 (model = blauw)



Figuur 3.18: Debiet bij de Oranjesluizen (Markermeer-NZK) en metingen 2003 (model = blauw)



Figuur 3.19: Debiet bij Muiden 2003 (model = blauw)

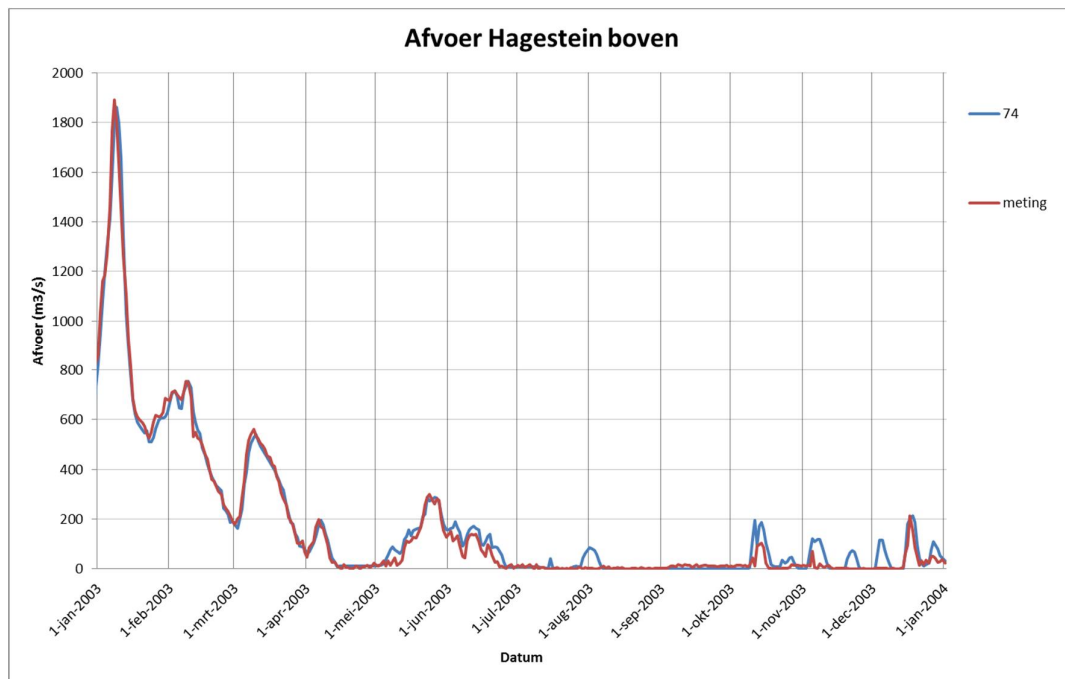


Figuur 3.20: Debiet bij IJmuiden en metingen 2003 (model = blauw)

De Irenesluizen worden gestuurd met controllers en triggers. De inzet van de KWA (met extra afvoer over de Irenesluis) wordt getriggerd als in de zomerperiode 1 mei - 15 oktober de afvoer bij Lobith onder de  $950 \text{ m}^3/\text{s}$  komt. De opening van de sluis wordt vervolgens met een hydraulische controller geregeld. Net als bij de sluis op het Julianakanaal is in de metingen een effect te zien van zon- en feestdagen (scheepvaart), maar dit is in de sturing in LSM niet meegenomen. De Irenesluizen geven tijdens de inzet van de KWA in het model nog iets hogere debieten dan gemeten, maar LSM 1.3 is wel beter dan LSM 1.04 die nog hogere debieten berekende. Voor de overige perioden is de vrij constante afvoer in het model qua orde grootte goed, maar de metingen tonen meer fluctuaties.

Voor de Oranjesluizen is het gemeten daggemiddelde debiet ook tamelijk wisselvallig. In de berekeningen met LSM 1.3 is het debiet veel minder variabel en in de winter duidelijk lager dan de metingen. In de periode mei-juli 2003 geldt dat ook. In augustus geven de metingen nul aan, maar het model berekent nog wel een afvoer van Markermeer naar NZK. Bij IJmuiden is het LSM systematisch lager dan de metingen; dat kan worden verklaard door enerzijds de twijfel die er is over de kwaliteit van de metingen cq het al of niet netjes sluiten van de sluis IJmuiden, en anderzijds doordat in het model de aanvoer via Oranjesluizen meestal lager is dan de metingen waardoor ook de berekende afvoer bij IJmuiden lager zal zijn.

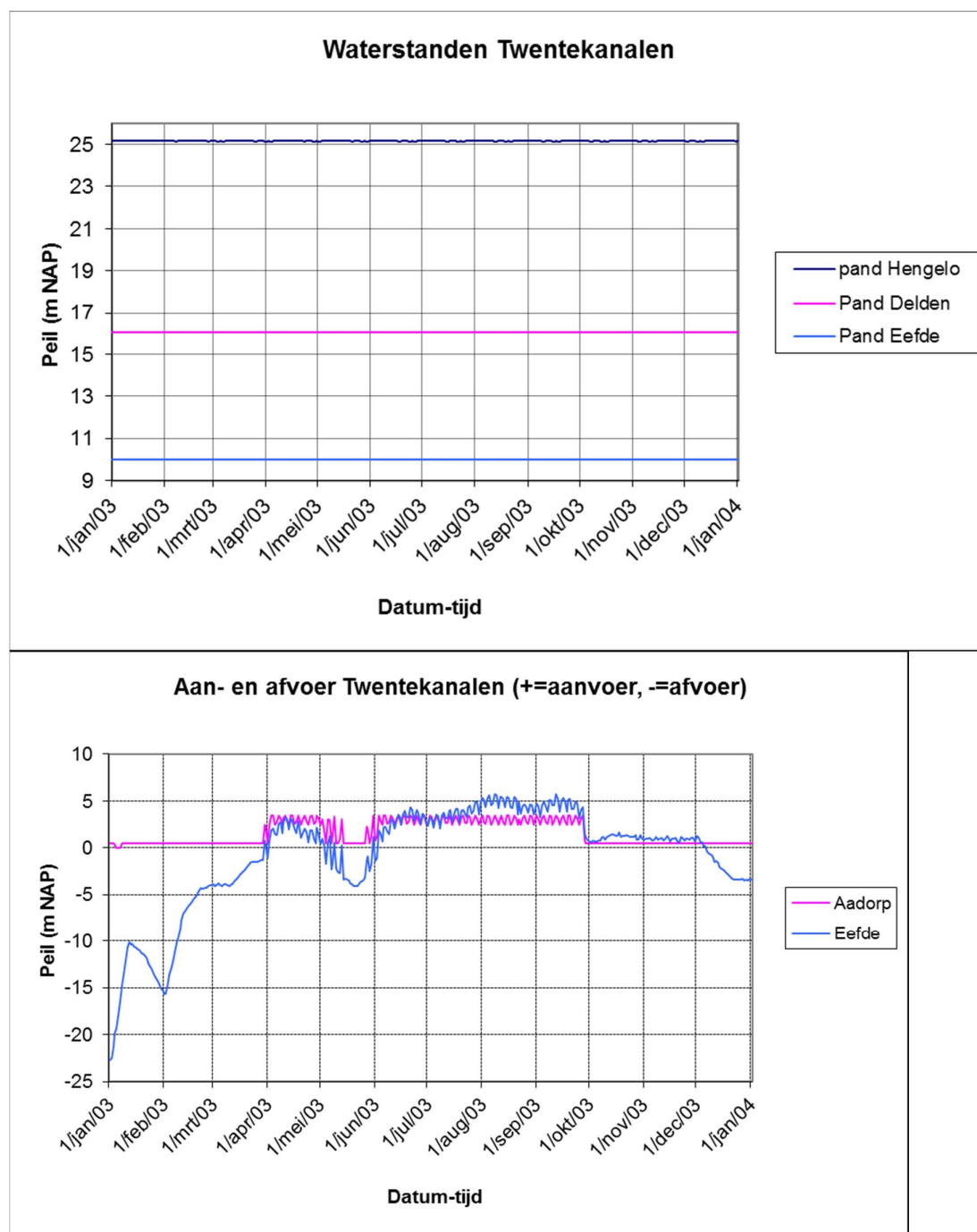
De afvoer die bij Hagestein over de Lek gaat klopt redelijk met de metingen. De verschillen die al bij Driel (figuur 3.7) waren geconstateerd werken uiteraard ook door in de afvoer bij Hagestein. De verschillen in het vierde kwartaal 2003 hangen samen met het net wel of niet open staan van de sluis van het Betuwepand (staan open bij een peil bij Tiel onder de +3 m NAP), en daardoor een andere verdeling van de afvoer over Tiel en Hagestein. Dat is consistent met de verschillen in figuur 3.8 voor de afvoer bij Tiel en de figuren in hoofdstuk 4 met de waterstanden bij Tiel en Hagestein (figuur 4.6 en 4.8).



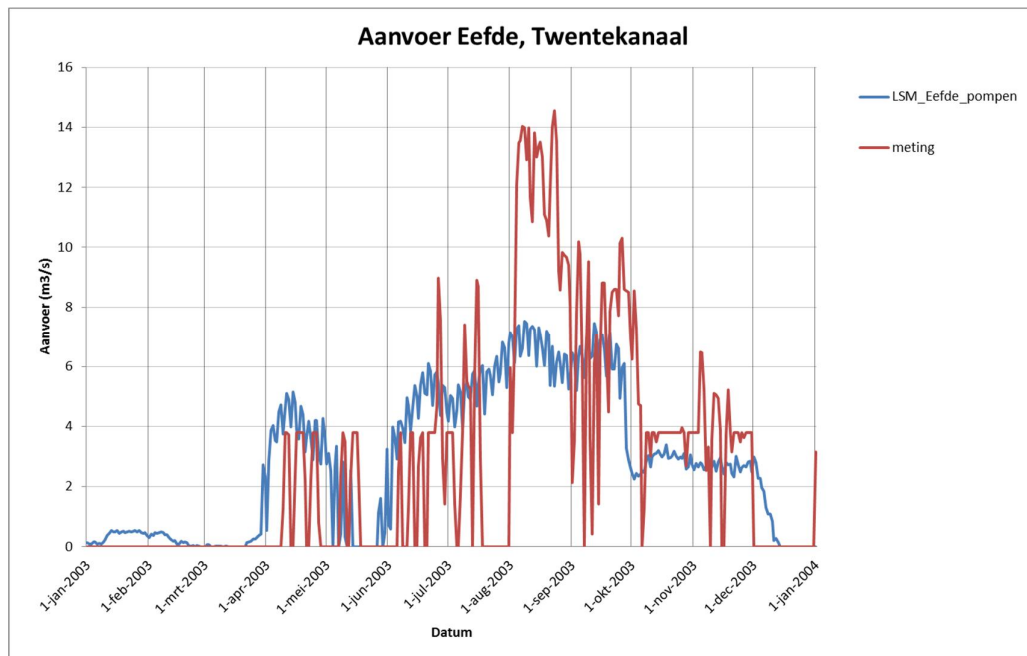
Figuur 3.21: Debiet bij Hagestein en metingen 2003 (model = blauw)

## 3.7 Twentekanaal

Figuur 3.22 tot en met 3.24 laten de waterstanden voor de drie panden in het Twentekanaal zien, en de gemeten en berekende aan- en afvoer bij Eefde.



Figuur 3.22: Berekende waterstanden en afvoeren Twentekanaal

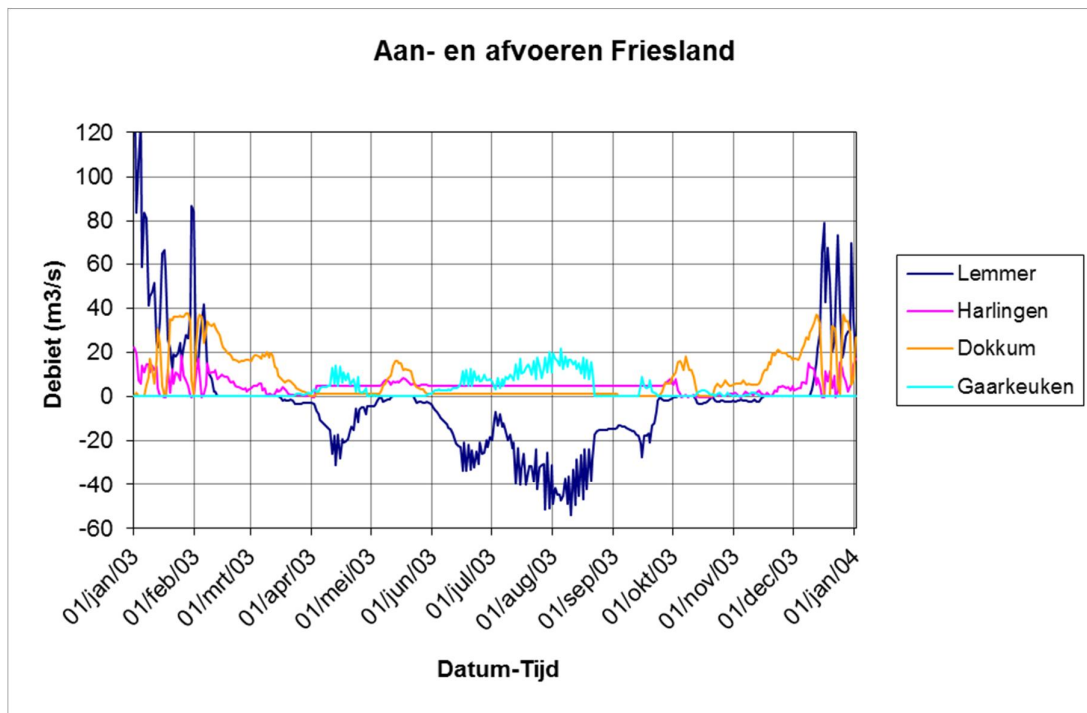


Figuur 3.23: Vergelijking berekende en gemeten afvoeren Eefde 2003 (model = blauw)

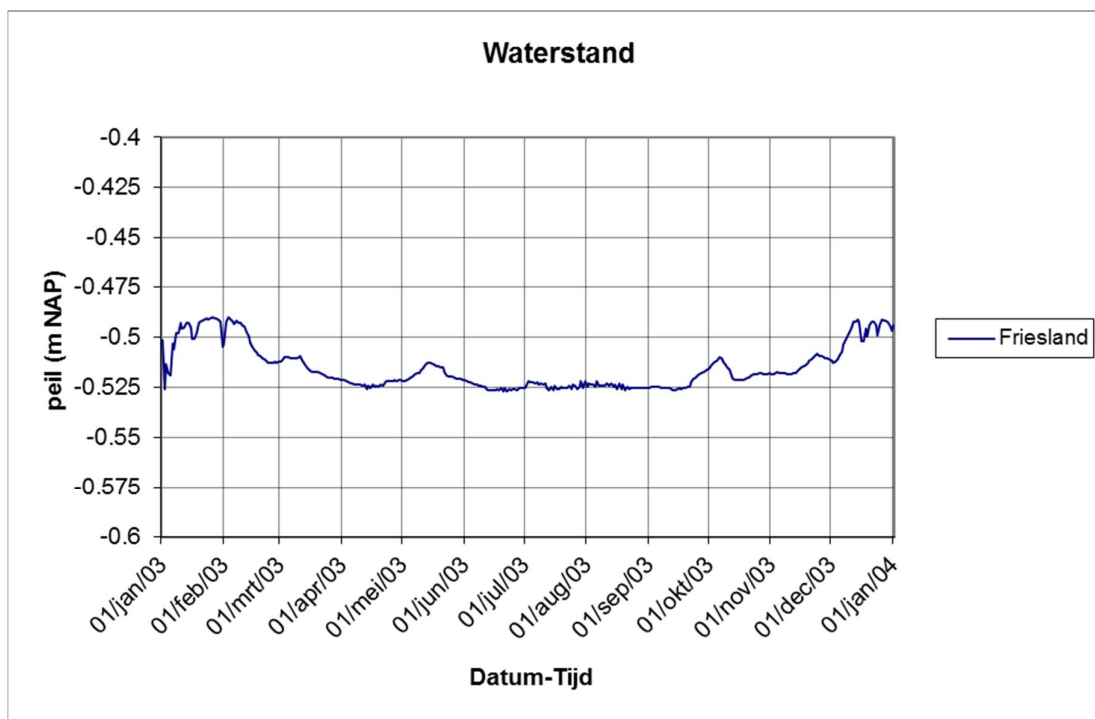
- De waterstanden in de panden van het Twentekanaal zijn correct: vrijwel constant rond respectievelijk +10.00, +16.04 en +25.16 m NAP.
- In de berekening wordt via Aadorp water doorgevoerd naar het noorden: in de zomerperiode is dit vrijwel continu 2.5 tot 3 m<sup>3</sup>/s om wateraanvoer naar Overijssels kanaal en Vecht te garanderen. In het LSM gebeurt dit op basis van sturing op peilen, die weer door laterale lozingen/onttrekkingen en andere kunstwerken beïnvloed worden. Het model voert ook in de rest van het jaar vrijwel continu water door (0.5 m<sup>3</sup>/s); dat is in de praktijk niet zo (al zijn er wel enige schutverliezen door scheepvaart). In het voor- en najaar wordt bij Eefde overtollig water geloosd, in de zomer wordt water ingelaten. De inlaat bij Eefde in april is iets overschat (peilopzet in de regio), echter in de zomer is de inlaat bij Eefde juist onderschat.



## 3.8 Friesland en Groningen



Figuur 3.24: Met LSM berekende inlaten en uitlaten Friesland (+ = afvoer uit Friesland, - = aanvoer naar Friesland)

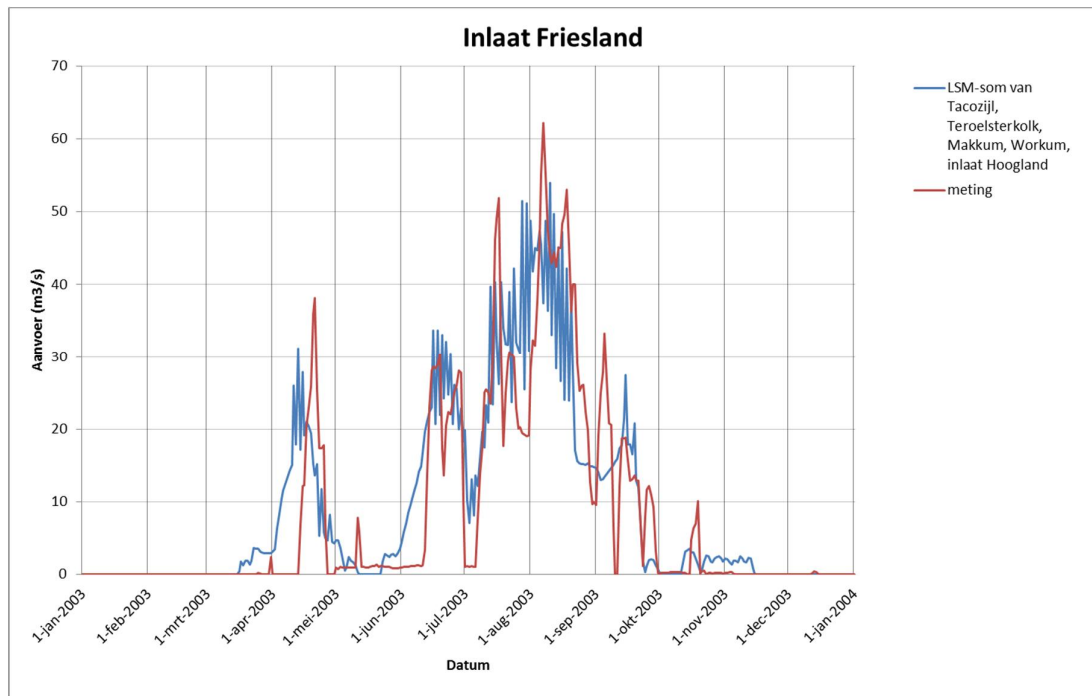


Figuur 3.25: Berekende waterstand Friese Boezem (Margrietkanaal)

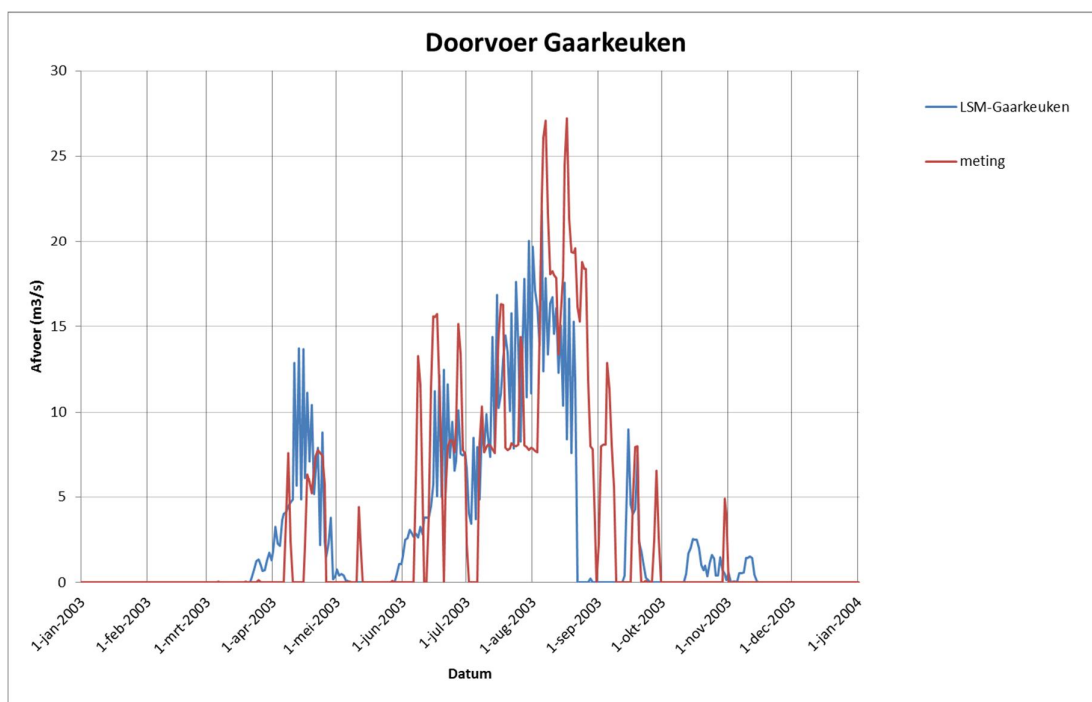


- De Friese boezem loost naar het IJsselmeer bij Lemmer (Woudagemaal, Hooglandgemaal) in voor- en najaar, en laat 's zomers water in op diezelfde locaties en ook bij Tacozijsl. De inlaat is in figuur 3.24 zichtbaar als een negatief debiet in de zomer. Gezien het berekende IJsselmeerpeil speelt de peilafhankelijkheid van de inlaatcapaciteit geen rol van betekenis. Via Harlingen en Dokkum wordt een gewenst debiet gehandhaafd en overtollig water geloosd. Waterdoorvoer naar Groningen via Gaarkeuken gebeurt in de zomer tot een capaciteit van 24 m<sup>3</sup>/s; in de LSM som is de berekende maximale daggemiddelde doorvoer 21.8 m<sup>3</sup>/s (zie figuur 3.27).
- De waterstanden in de boezem van Friesland worden goed gehandhaafd. Het boezempeil fluctueert tussen -0.53 en -0.48 m NAP.

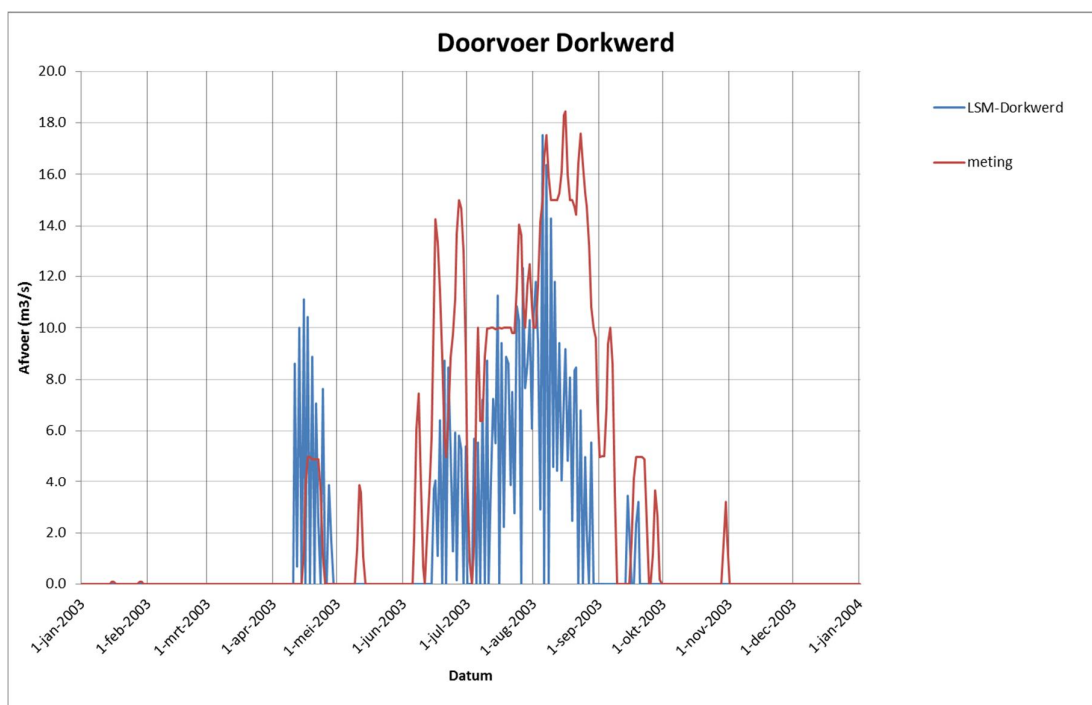
De volgende figuren laten nog de vergelijking van modelresultaten (in blauw) en metingen (in rood) zien voor de totale inlaat Friesland, de doorvoer naar Groningen bij Gaarkeuken, de doorvoer via Dorkwerd naar Hunze en Aas. Daarna volgen de lozingen bij Harlingen, Dokkum, Lauwersmeer, en de lozing via de spuisluis Delfzijl.



Figuur 3.26: Inlaten Friesland (Teroelsterkolk, Tacozijsl, inlaat Hoogland, Makkum en Workum)

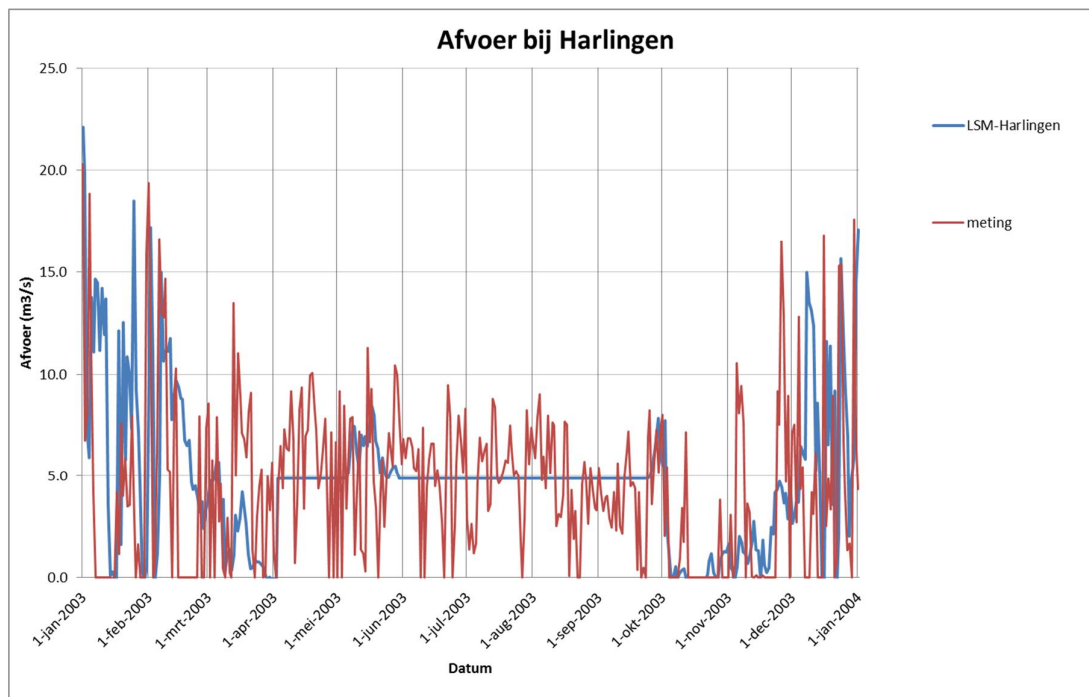


Figuur 3.27: Berekende en gemeten doorvoer Gaarkeuken 2003 (model=blauw)

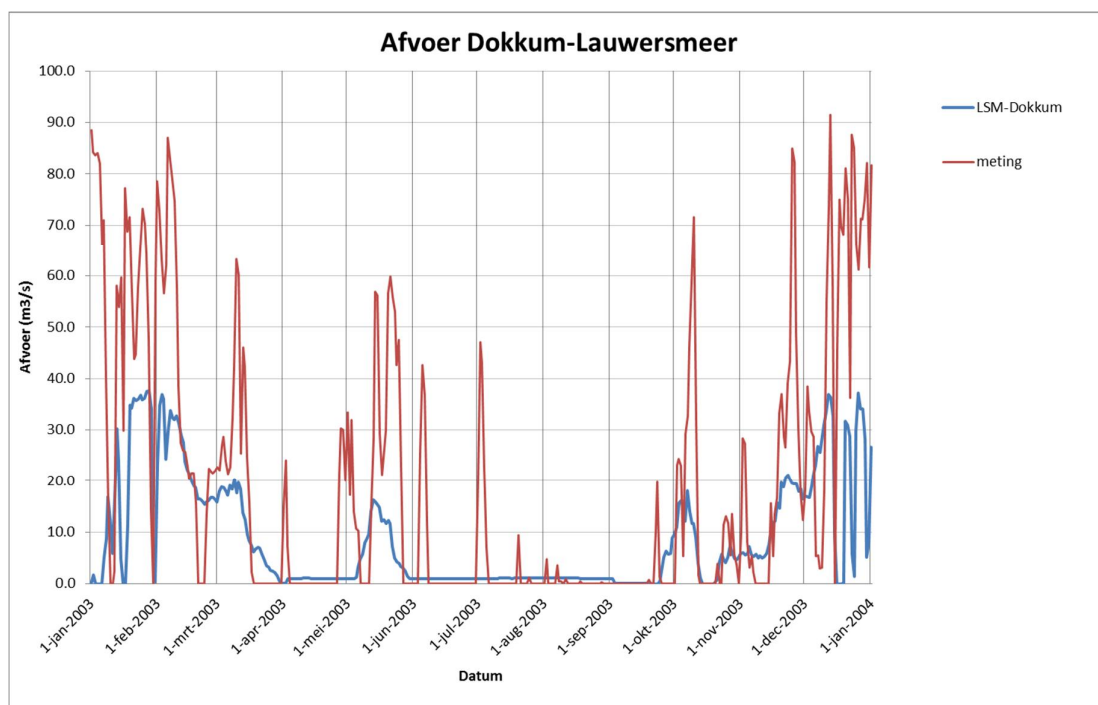


Figuur 3.28: Berekende en gemeten doorvoer Dorkwerd 2003 (model=blauw)

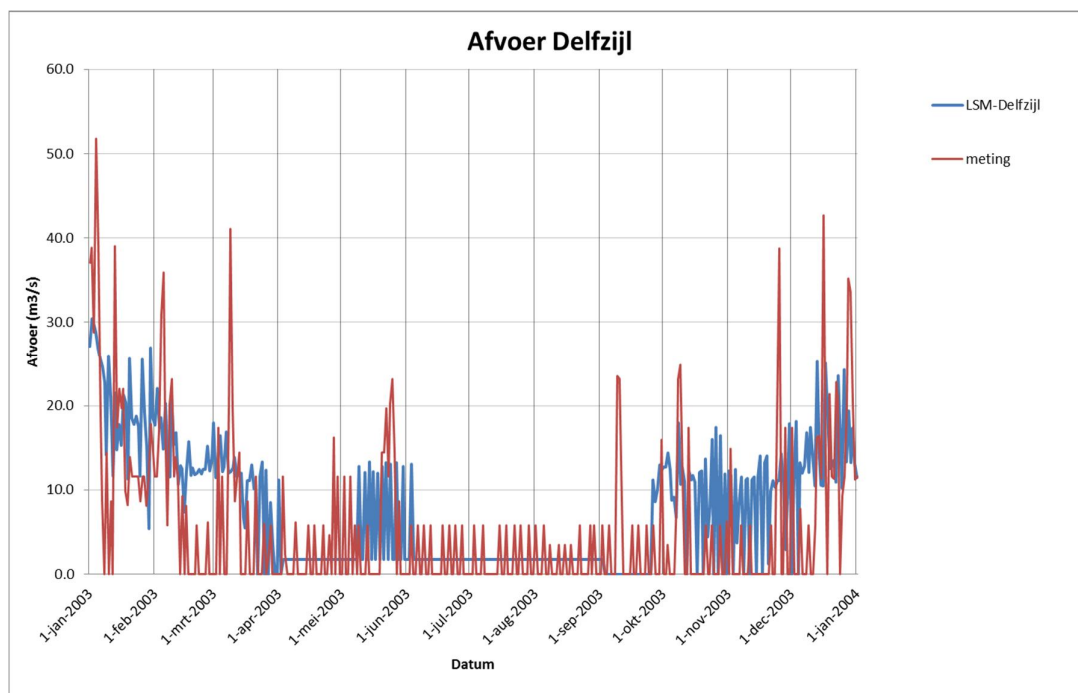
De berekende totale aanvoer van de inlaten Friesland is qua timing goed, maar de piek in augustus is iets lager dan de metingen. Datzelfde geldt ook voor de andere locaties. In het zomerhalfjaar is in het model een doorspoeling opgedrukt die bij Harlingen, Dokkum en Delfzijl goed te zien is. De metingen tonen meer variatie, vooral bij Dokkum (Lauwersmeer) zijn flinke pieken in de metingen die het model niet kan reproduceren. De orde grootte van de opgedrukte doorspoeling is goed.



Figuur 3.29: Berekende en gemeten afvoer Harlingen



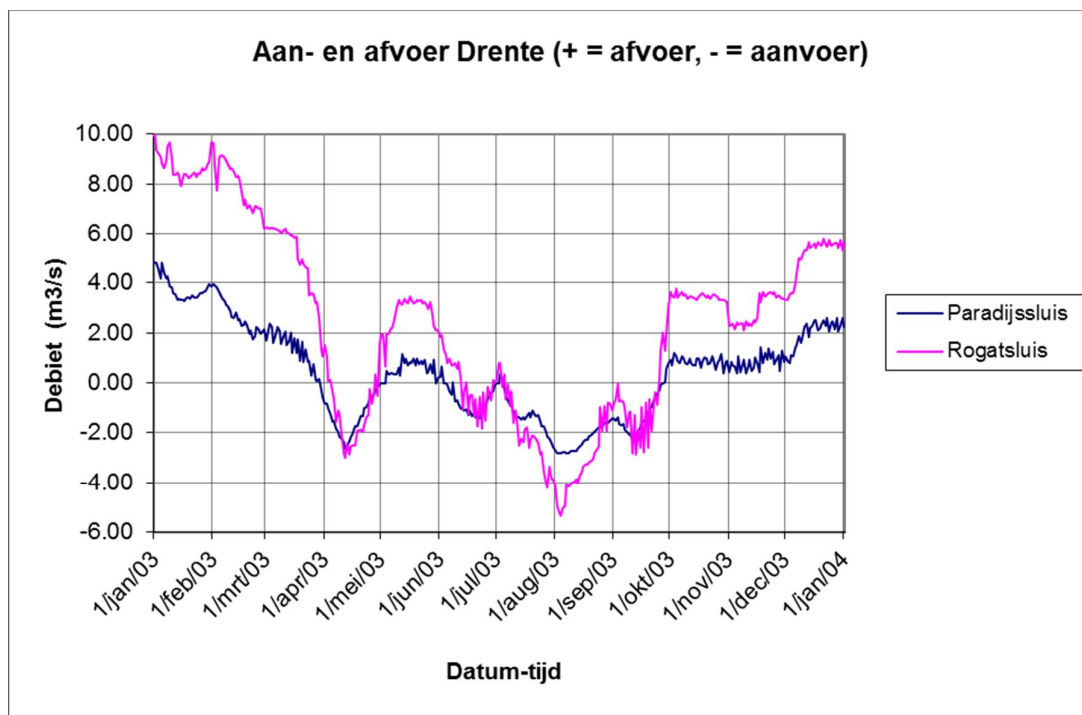
Figuur 3.30: Berekende en gemeten afvoer Dokkum/Lauwersmeer



Figuur 3.31: Berekende en gemeten afvoer spuisluis Delfzijl 2003 (model=blauw)

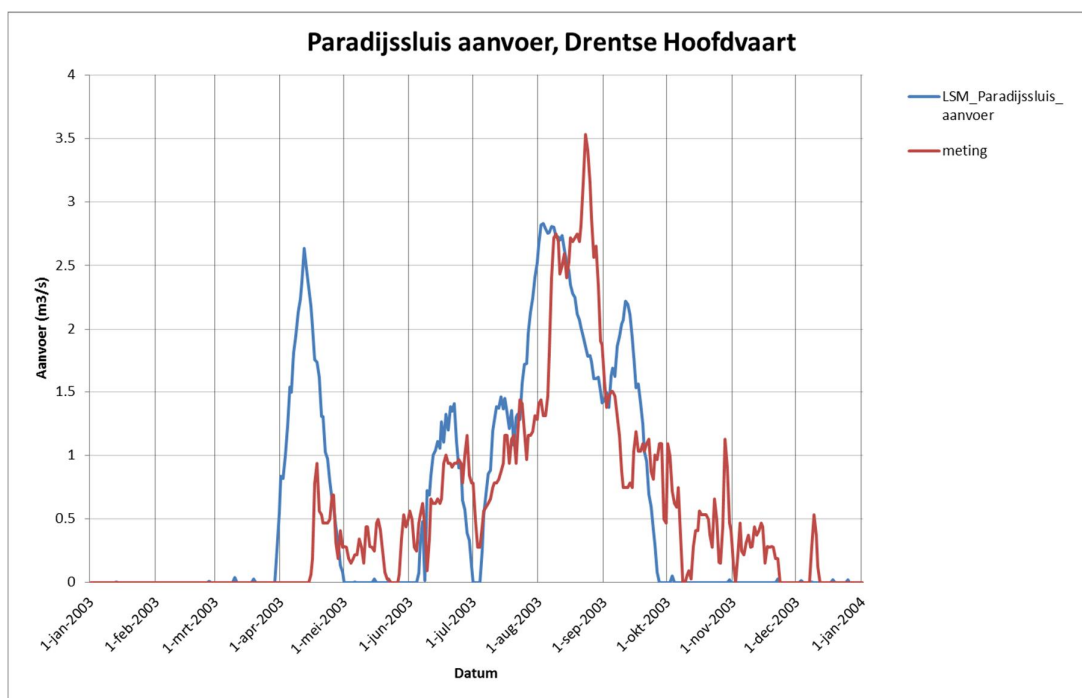
### 3.9 Drenthe

Voor de provincie Drenthe zijn de aan- en afvoer van de Drentse Hoofdvaart (Paradijssluis) en de Hoogeveense Vaart (Rogatsluis) belangrijke ijkpunten.

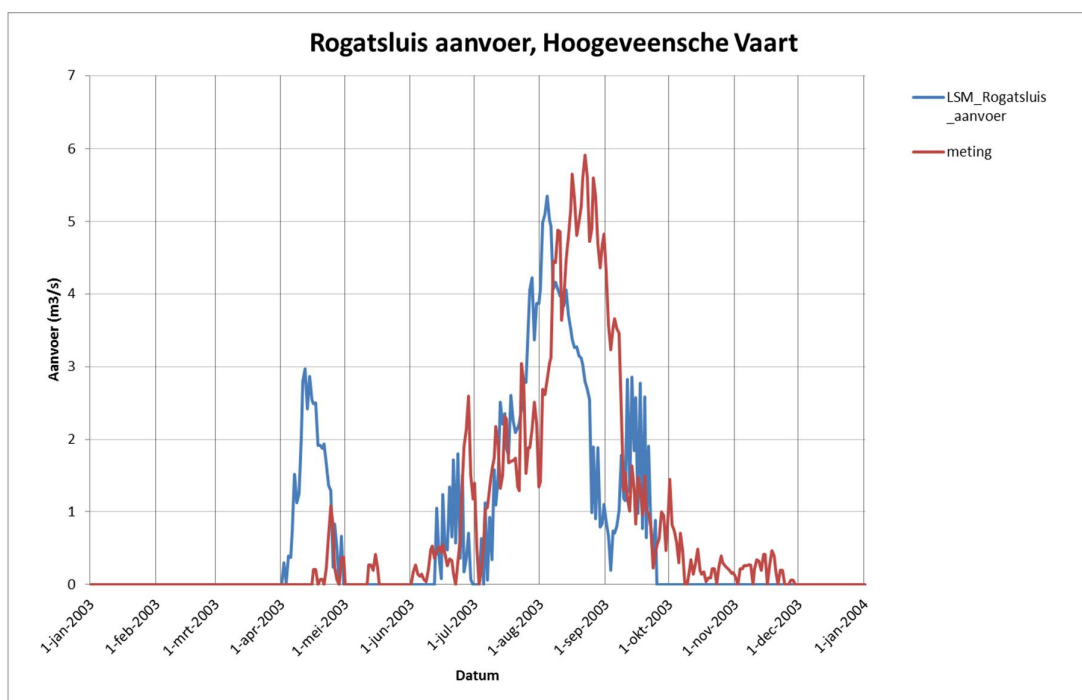


Figuur 3.32: Inlaten en uitlaten Drenthe (Paradijssluis en Rogatsluis)

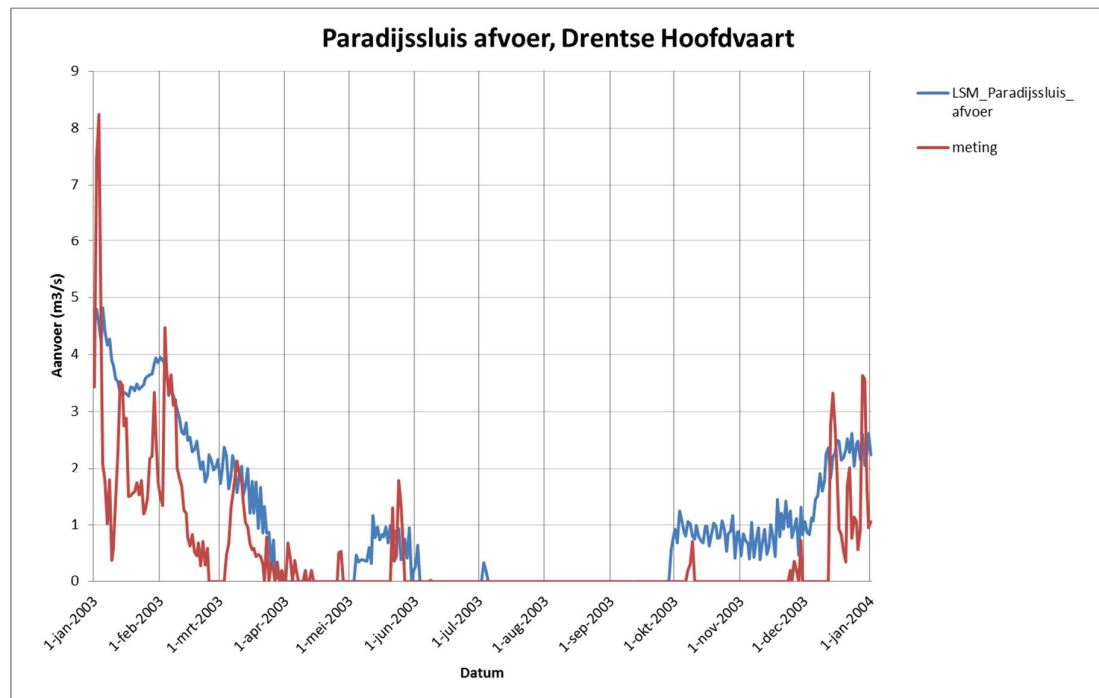
De vergelijking met de beschikbare metingen voor aanvoer- en afvoer wordt in de volgende figuren getoond (in rood de metingen, in blauw de resultaten van LSM).



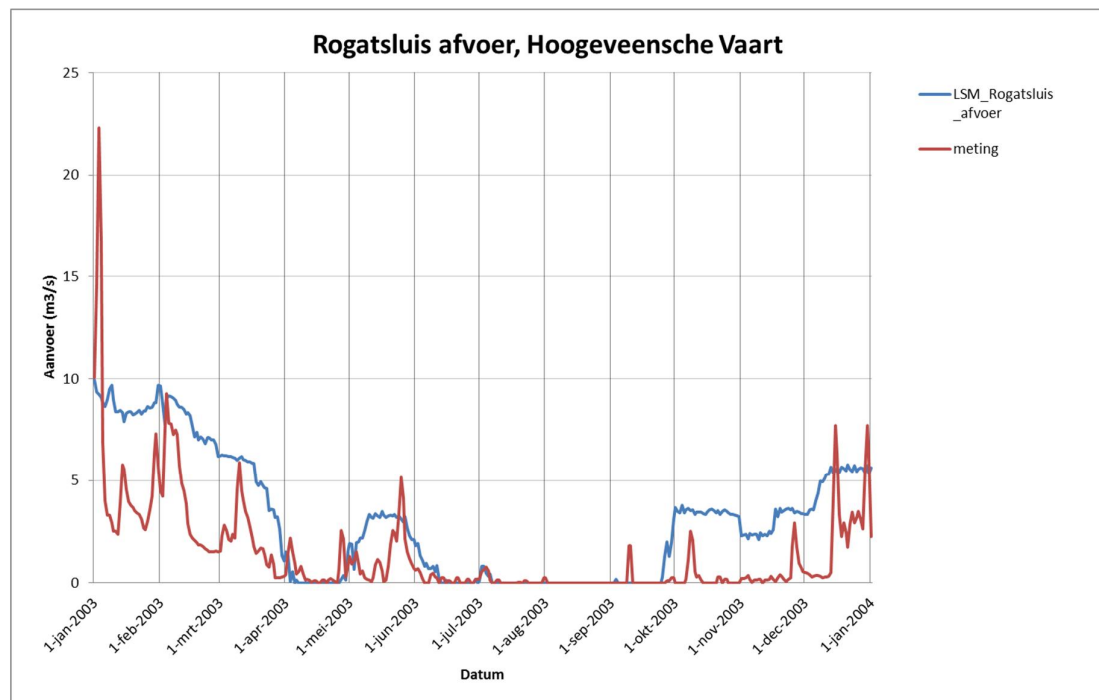
Figuur 3.33: Berekende en gemeten wateraanvoer Paradijssluis 2003 (model = blauw)



Figuur 3.34: Berekende en gemeten wateraanvoer Rogatsluis 2003 (model = blauw)



Figuur 3.35: Berekende en gemeten waterafvoer Paradijssluis 2003 (model = blauw)



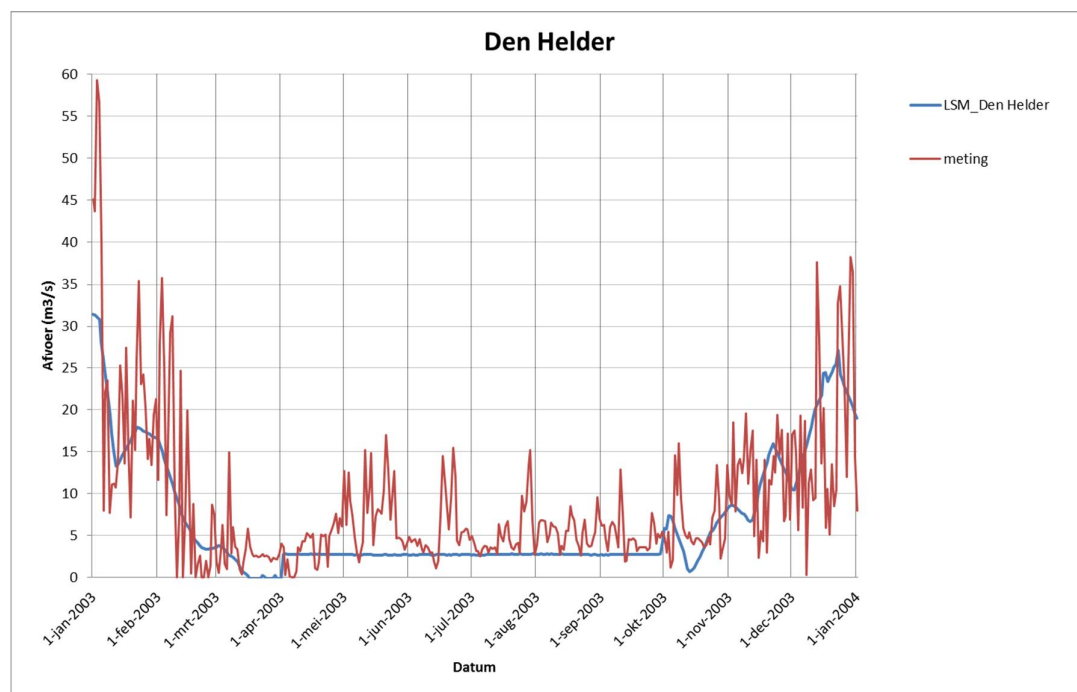
Figuur 3.36: Berekende en gemeten waterafvoer Rogatsluis 2003 (model = blauw)

- Het model berekent correct dat er zowel aan- als afvoer is bij beide locaties (ook NHI met DM berekent dit).
- De aanvoer in april, in de typische periode van peilopzet, wordt door het model in vergelijking met de metingen overschat.

- Verder blijkt de aanvoer in het model in augustus al in te zakken, terwijl in de metingen dat pas in september gebeurt. Dezelfde fenomenen zijn in NHI (met DM) ook zichtbaar.
- De afvoer is voor beide locaties enigszins overschat, en na de droge zomer van 2003 begint de afvoer in het model sneller weer op gang te komen dan volgens de metingen het geval is. Dit is gerelateerd met het vorige punt
- De verschillen tussen meting en model wordt hier dus vooral veroorzaakt door verschillen in de waterbalans: de met NHI berekende watervragen en -lozingen wijken af van de waarnemingen. NHI lijkt voor de periode augustus-november 2003 voor Drenthe te veel afvoer (te weinig aanvoer) te berekenen.

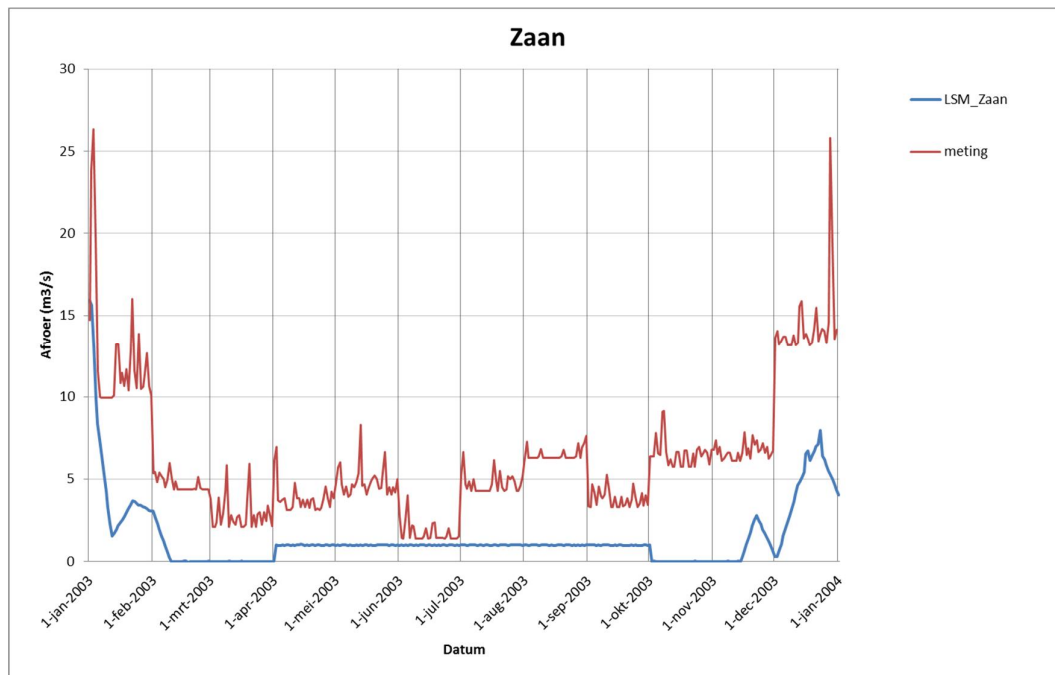
### 3.10 Hollands Noorderkwartier

Het gebied van Hollands Noorderkwartier wordt van water voorzien via inlaten uit Markermeer en IJsselmeer. Water wordt afgevoerd richting Den Helder en via de Zaan naar het Noordzeekanaal.



Figuur 3.37: Berekende en gemeten waterafvoer Den Helder2003 (model = blauw)



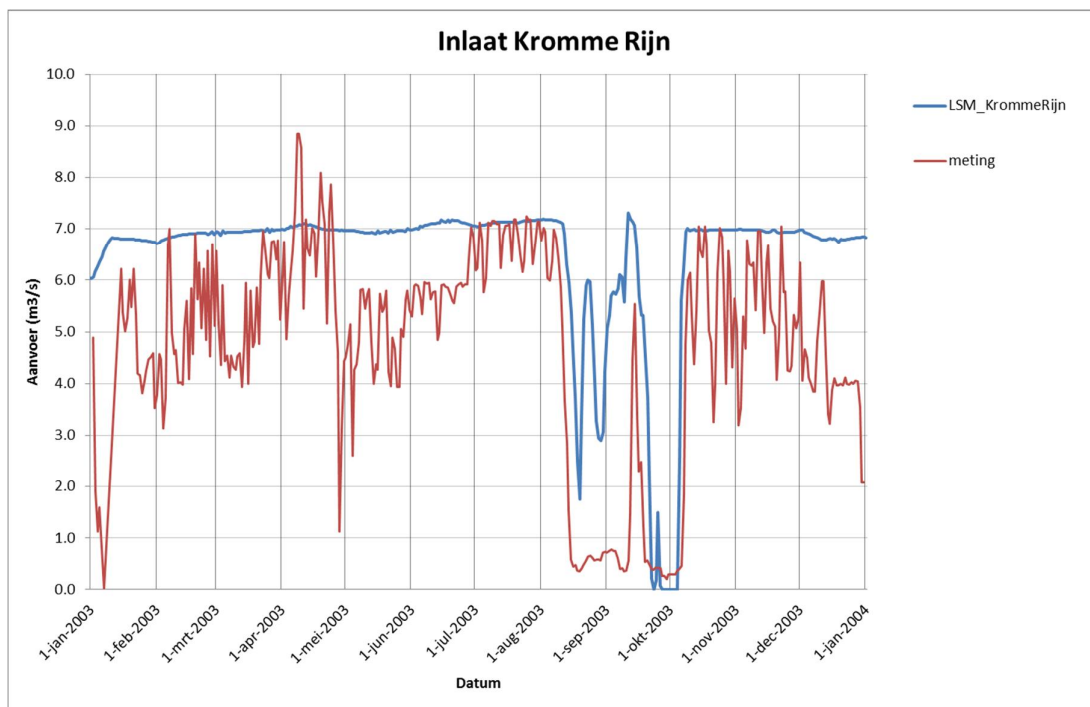


Figuur 3.38: Berekende en gemeten waterafvoer Zaan naar NZK 2003 (model = blauw)

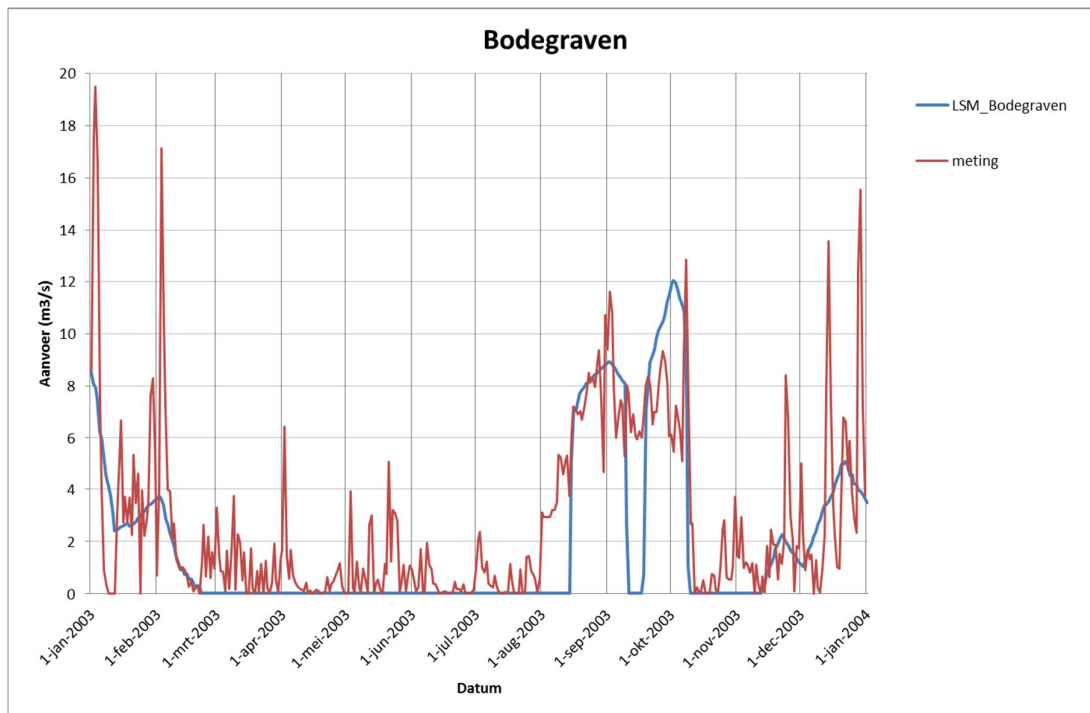
- Voor Hollands Noorderkwartier zijn voor 2003 gegevens van afvoeren naar de Waddenzee bij Den Helder en naar het Noordzeekanaal via de Zaan bekend. In het model is voor beide locaties een zomerdoorspoeling opgelegd. Het model berekent een redelijk afvoerloop voor Den Helder.
- De berekende afvoer via de Zaan is in de wintermaanden lager dan gemeten. Het verschil in de afvoer in de zomer via de Zaan komt doordat in het LSM model het meest recente beheer met een lagere doorspoeling (orde 1 m<sup>3</sup>/s tegen 4 a 5 m<sup>3</sup>/s in 2003) is opgelegd. Verder zijn mogelijk enkele districtslozingen in het model direct op het Noordzeekanaal gezet, in plaats van via de Zaan op het Noordzeekanaal te lozen.

### 3.11 Stichtse Rijnlanden

Voor het oostelijk gebied van Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden is de inlaat Kromme Rijn belangrijk. Deze aanvoer wordt beperkt in perioden van lage waterstanden in het stuwpand Hagestein. Voor het westelijk gebied van Stichtse Rijnlanden geldt dan in droge perioden water naar Rijnland bij Bodegraven kan worden doorgevoerd (de zogenaamde Kleinschalige Water Aanvoer, KWA). De resultaten van deze twee locaties worden in de volgende figuren getoond.



Figuur 3.39: Berekende en gemeten inlaat Kromme Rijn 2003 (model = blauw)

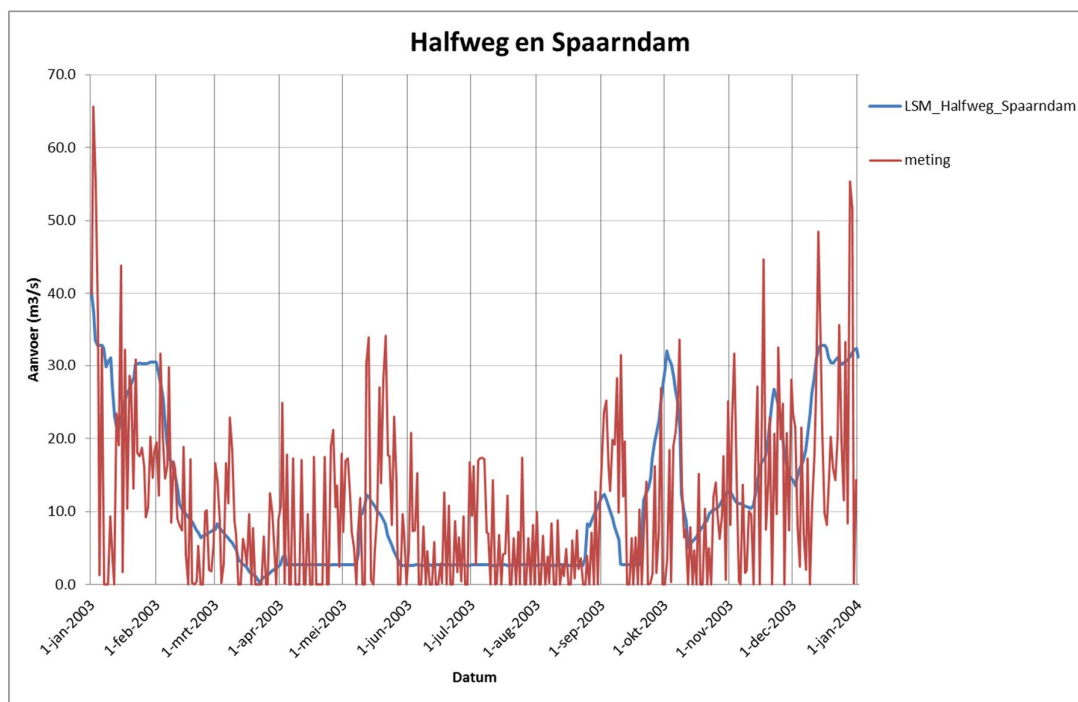


Figuur 3.40: Berekende en gemeten afvoer naar Rijnland bij Bodegraven, 2003 (model=blauw)

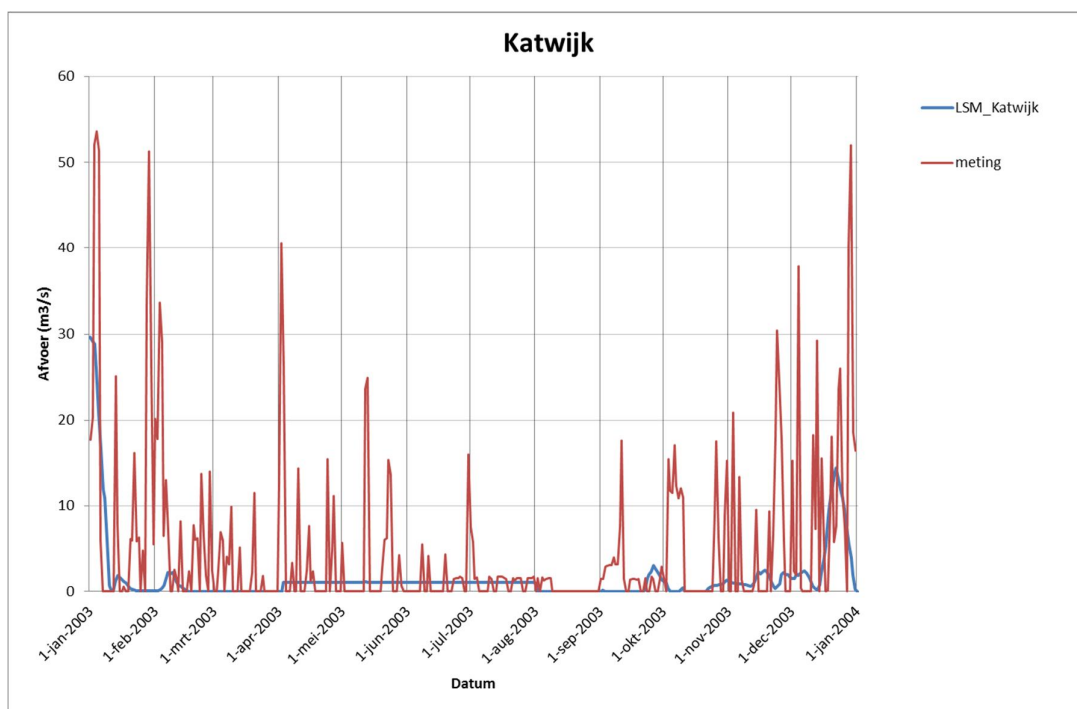
LSM 1.3 berekent correct dat de inlaat Kromme Rijn problematisch wordt vanaf medio augustus tot begin oktober 2003, met een kleine opleving daartussen. In vergelijking met LSM 1.04 is de reductie in augustus iets geringer, en dus iets minder goed blijkt uit de metingen. De oorzaak is niet duidelijk.

Bij Bodegraven wordt de periode van KWA in augustus en september 2003 redelijk geschat op basis van de Rijnafvoer. Ook de afvoer van overtollig water in de winter naar Rijnland wordt goed gereproduceerd door LSM; in lente en herfst wordt er volgens de metingen ook water afgevoerd naar Rijnland, maar dat wordt niet door LSM berekend.

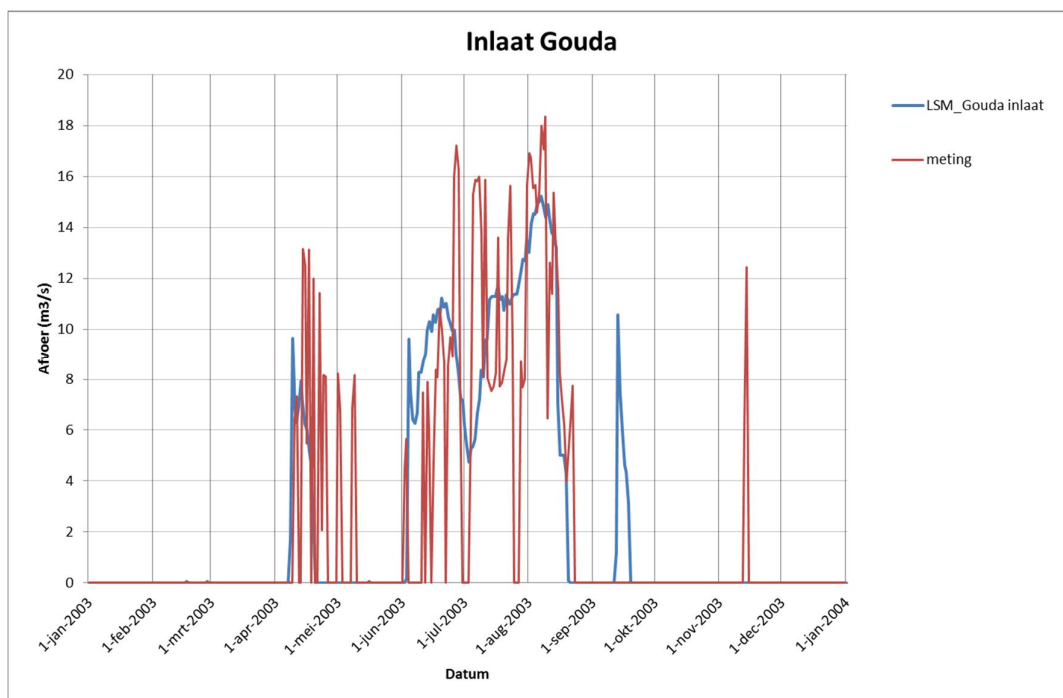
### 3.12 Rijnland



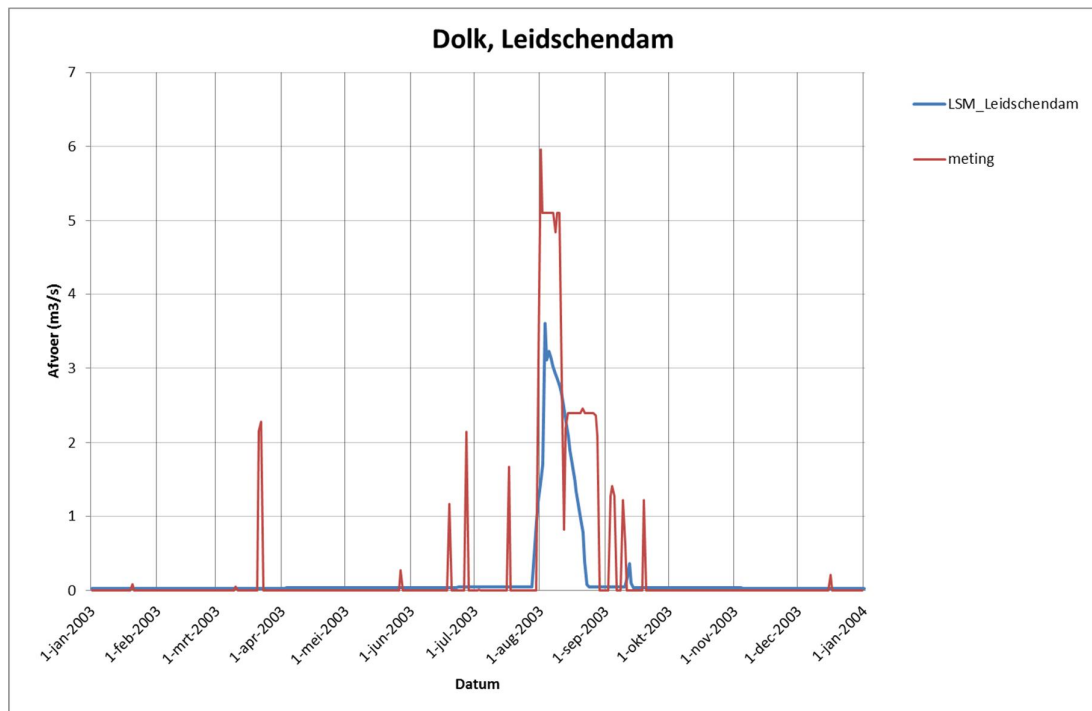
Figuur 3.41: Berekende en gemeten lozing Rijnland naar NZK, 2003 (model=blauw)



Figuur 3.42: Berekende en gemeten lozing Rijnland bij Katwijk, 2003 (model=blauw)



Figuur 3.43: Berekende en gemeten aanvoer bij Gouda, 2003 (model=blauw)

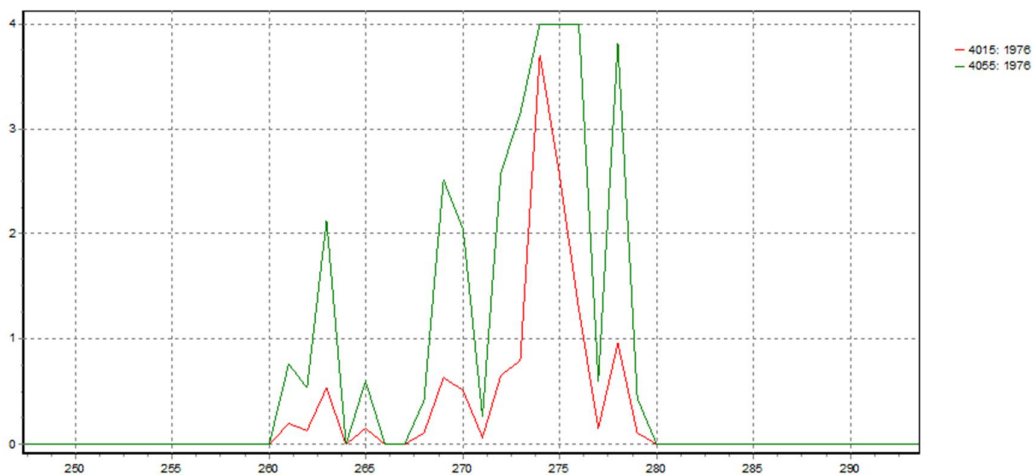


Figuur 3.44: Berekende en gemeten doorvoer naar Delfland, 2003 (model=blauw)

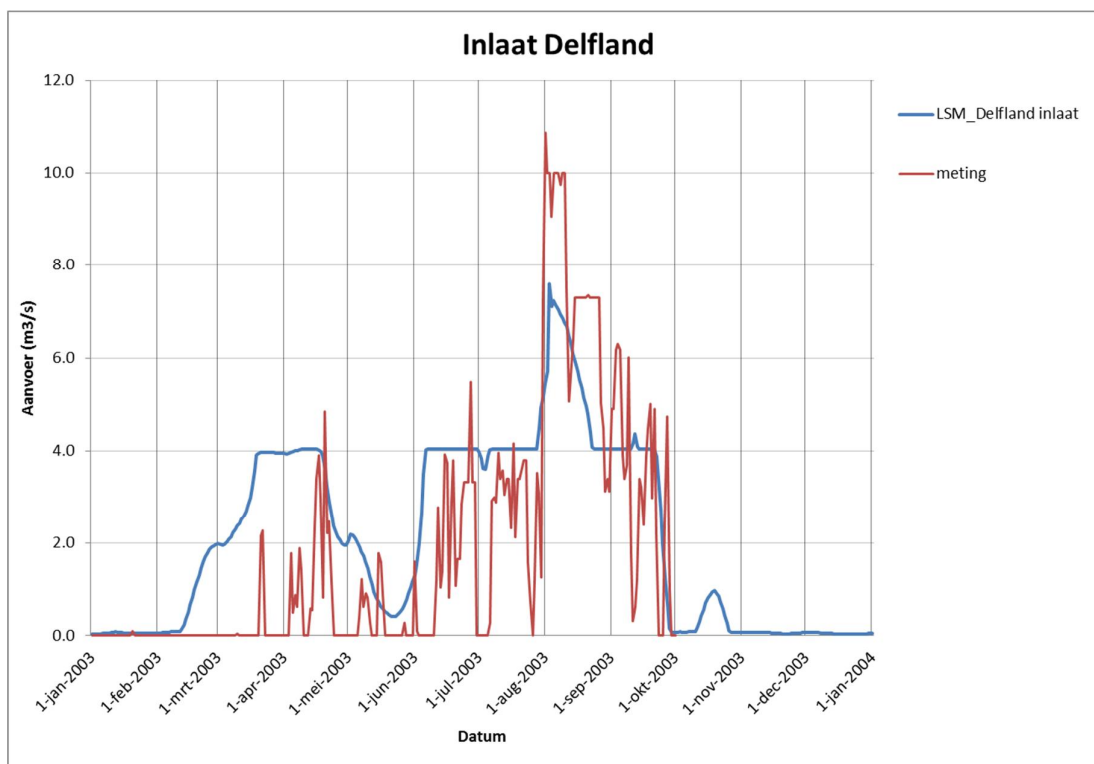
- Rijnland voert in de zomer water aan via Gouda, en via Bodegraven als gebruik wordt gemaakt van de KWA. In voor- en najaar voert HdSR ook overtollig water af bij Bodegraven naar Rijnland. Er wordt water naar Delfland doorgevoerd bij Leidschendam (gemaal Dolk). De aanvoer via Bodegraven en via Gouda wordt vrij goed berekend. De doorvoer naar Delfland voor wateraanvoer is in LSM iets minder frequent dan in NHI-DM berekend is. Dat komt doordat in de LSM sturing van inlaten voor Delfland meer via het Brielse meer wordt ingelaten dan in NHI-DM; dit wordt in de volgende paragraaf toegelicht. De Tolhuissluisroute wordt in het model niet gebruikt omdat het geen standaard beheer is. In de praktijk is die aanvoerroute wel (eenmalig) in augustus 2003 actief geweest.
- Water wordt afgevoerd bij (in volgorde van prioriteit) Halfweg/Spaarndam, Katwijk en Gouda. De afvoer vanuit Rijnland blijft iets achter bij de metingen. Bij Halfweg en Spaarndam wordt voor heel 2003 in het model weliswaar iets meer afgevoerd (11.0 berekend vs. 10.4 m<sup>3</sup>/s gemeten), maar bij Katwijk (1.5 vs. 4.8 m<sup>3</sup>/s) en Gouda (0.0 vs. 1.9 m<sup>3</sup>/s) is de berekende afvoer in LSM (en ook in NHI) duidelijk lager dan de gemeten afvoer.
- Bij Halfweg/Spaarndam en Katwijk wordt in de zomer de gewenste doorspoeling van respectievelijk 3.1 en 1.1 m<sup>3</sup>/s gerealiseerd. In de praktijk blijkt die doorspoeling niet constant, maar variabel in de tijd. Gemiddeld klopt het redelijk goed. In het model is de periode dat bij Katwijk niet doorgespoeld wordt wat langer dan in de praktijk gemeten is (augustus 2003).
- Het peil in Rijnland wordt goed op streefpeil gehouden, en varieert tussen minimum peil -0.66 m NAP en maximum peil -0.60 m NAP.

## 3.13 Delfland

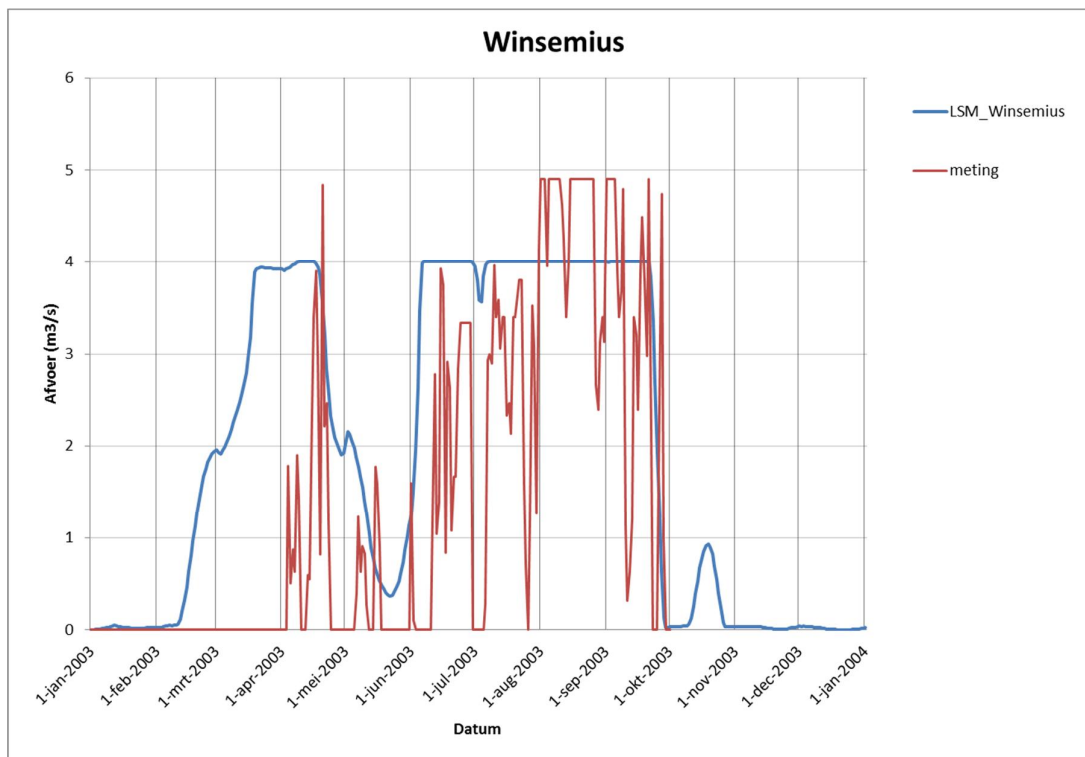
Delfland laat water in via gemaal Winsemius uit het Brielse meer, en aanvullend ook via Leidschendam (gemaal Dolk) uit Rijnland. Dat laatste gebeurt vooral in perioden dat Rijnland via de KWA bij Bodegraven water aanvoert, al zijn er ook korte andere perioden waarin water van Rijnland naar Delfland wordt doorgevoerd.



Figuur 3.45: NHI aanvoer naar Delfland via Brielse meer (groen) en Rijnland (rood) in 2003



Figuur 3.46: LSM aanvoer naar Delfland totaal (model=blauw)

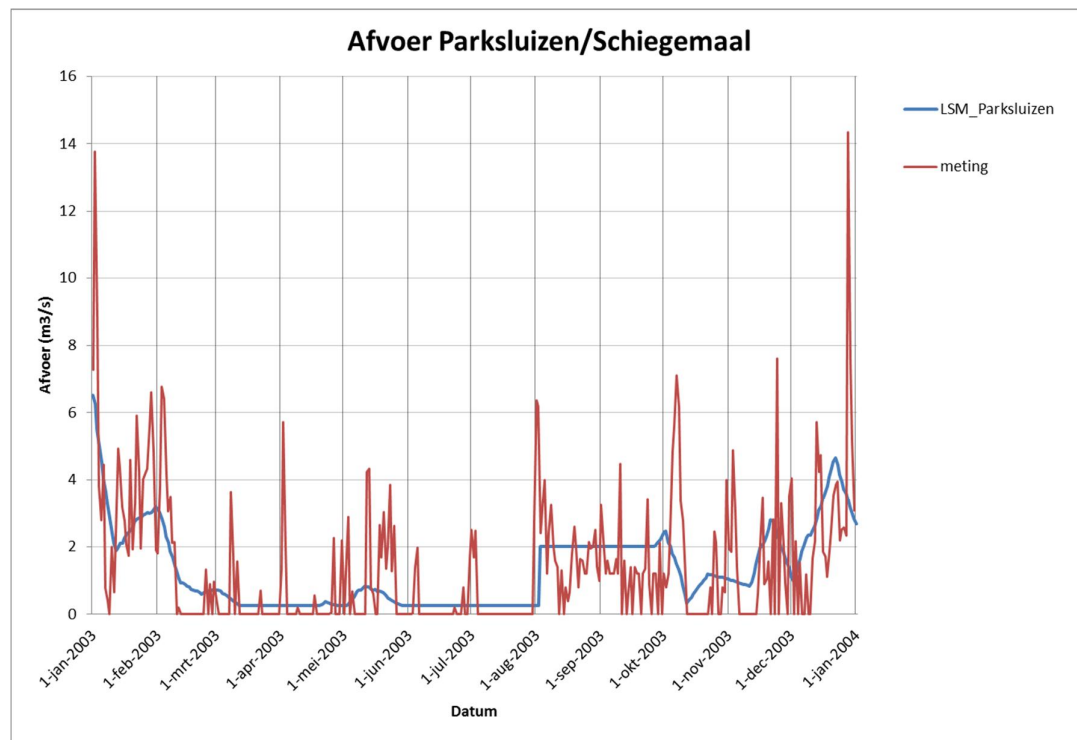


Figuur 3.47: LSM aanvoer naar Delfland via Brielse Meer (Winsemius) (model=blauw)

De sturing van LSM laat in vergelijking met NHI meer in via gemaal Winsemius uit het Brielse meer, en iets minder via gemaal Dolk uit Rijnland. Ook valt op dat in vergelijking met vorige LSM versies de inlaat Winsemius al veel eerder (eind februari en maart) ingeschakeld wordt. De vraag is echter of dit aan LSM ligt, of aan de lateralen die op basis van NHI zijn gevuld (en die zijn in LSM 1.3 met een nieuwere NHI versie afgeleid dan voor LSM 1.04).

Opvallend is trouwens dat de metingen aangeven dat bij Winsemius soms tot meer dan 4.75 m<sup>3</sup>/s wordt ingelaten, aangezien in het Sobek model van Delfland de capaciteit van het gemaal tot 4 m<sup>3</sup>/s is beperkt. Het boezempeil in Delfland (meetlokatie Delft) varieert in het model tussen -0.43 en -0.46 m NAP.

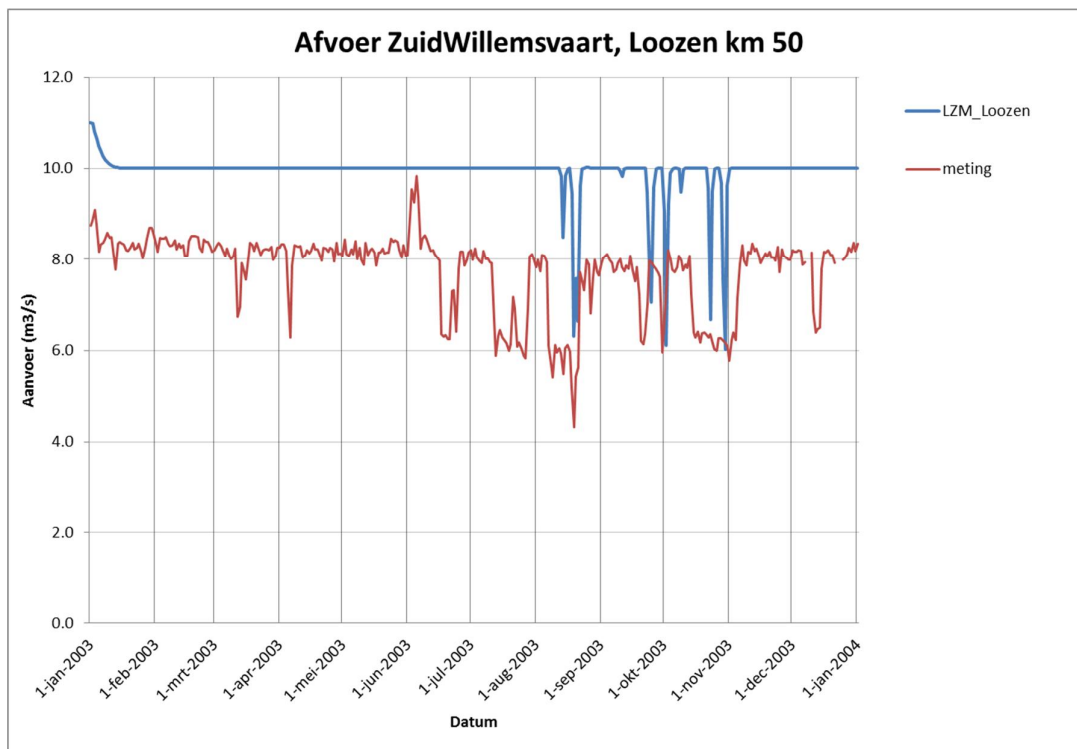
De afvoer van Delfland wordt goed beschreven in LSM, zoals blijkt uit de volgende figuur.



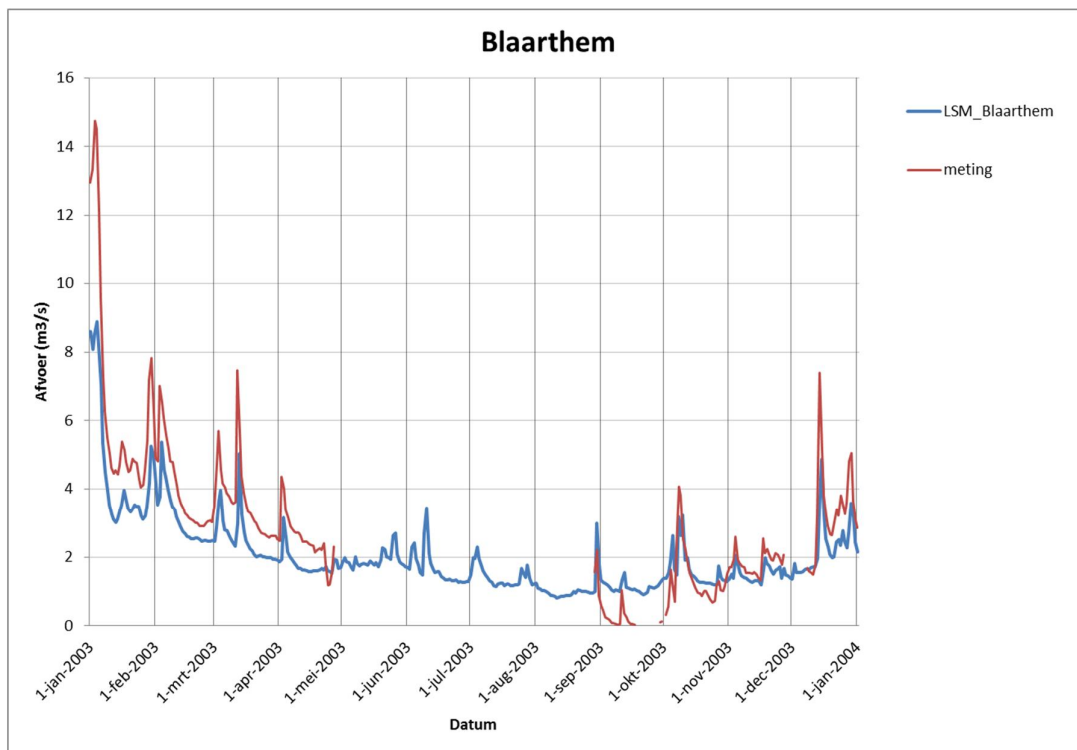
Figuur 3.48: Gemeten en berekende afvoer Delfland bij Parksluizen (model=blauw)



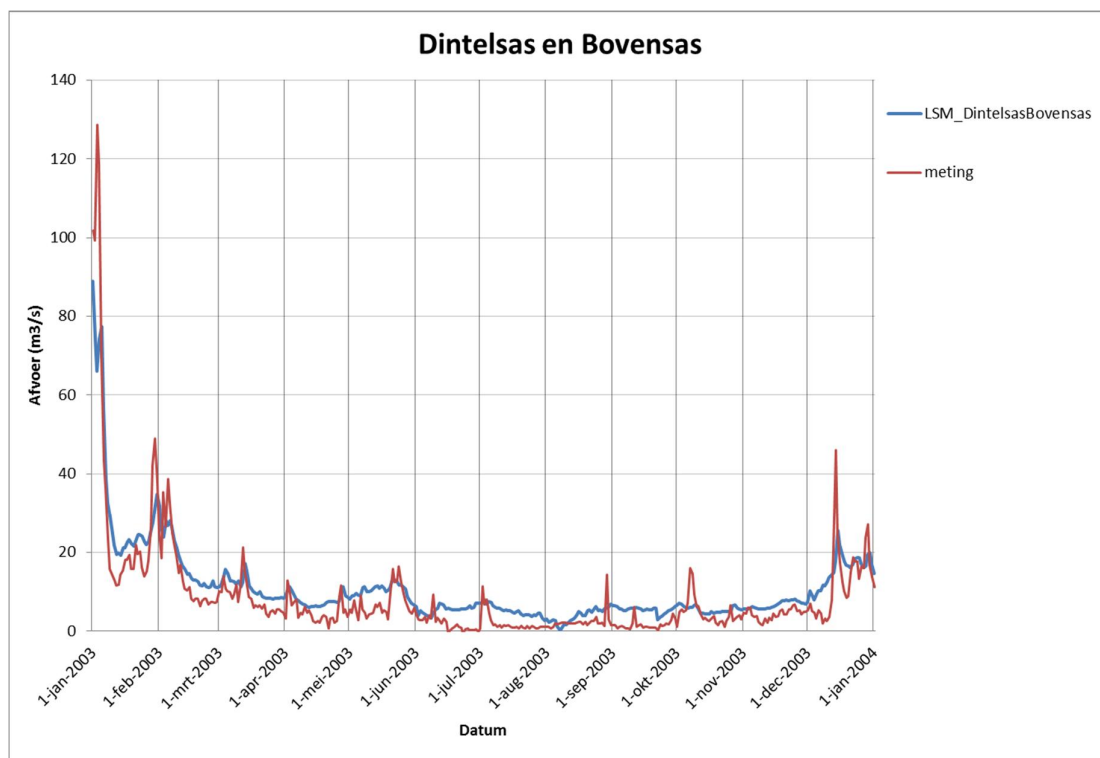
### 3.14 Brabant



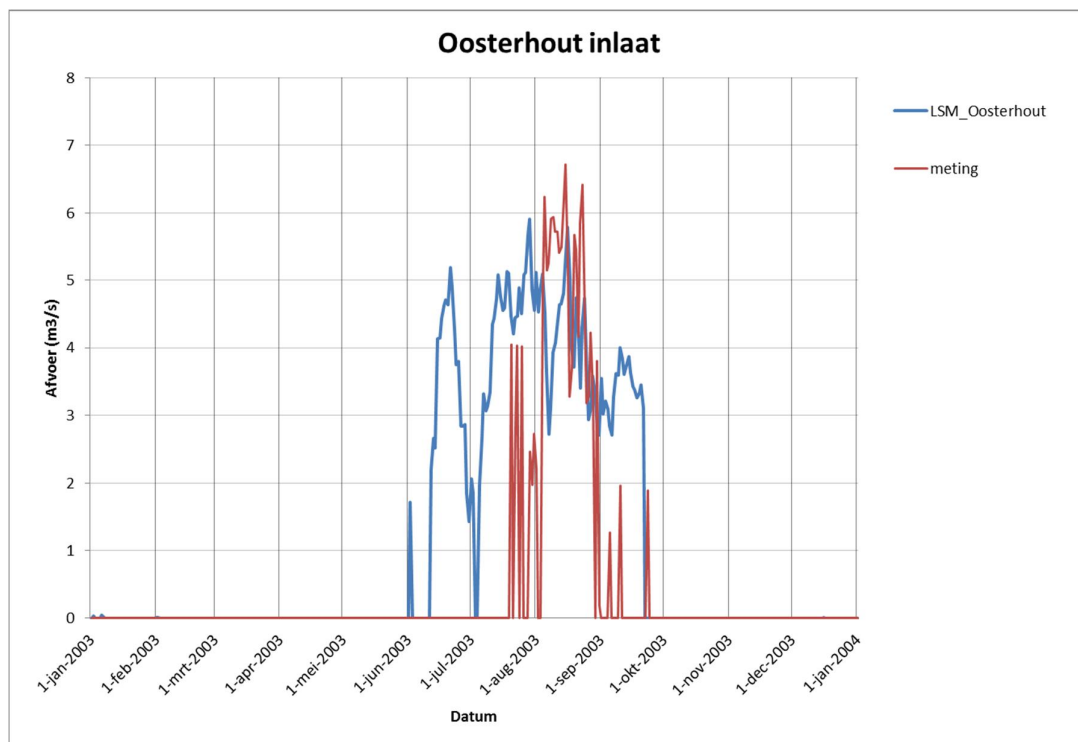
Figuur 3.49: Gemeten en berekende afvoeren Zuid-Willemsvaart bij Loozen(model=blauw)



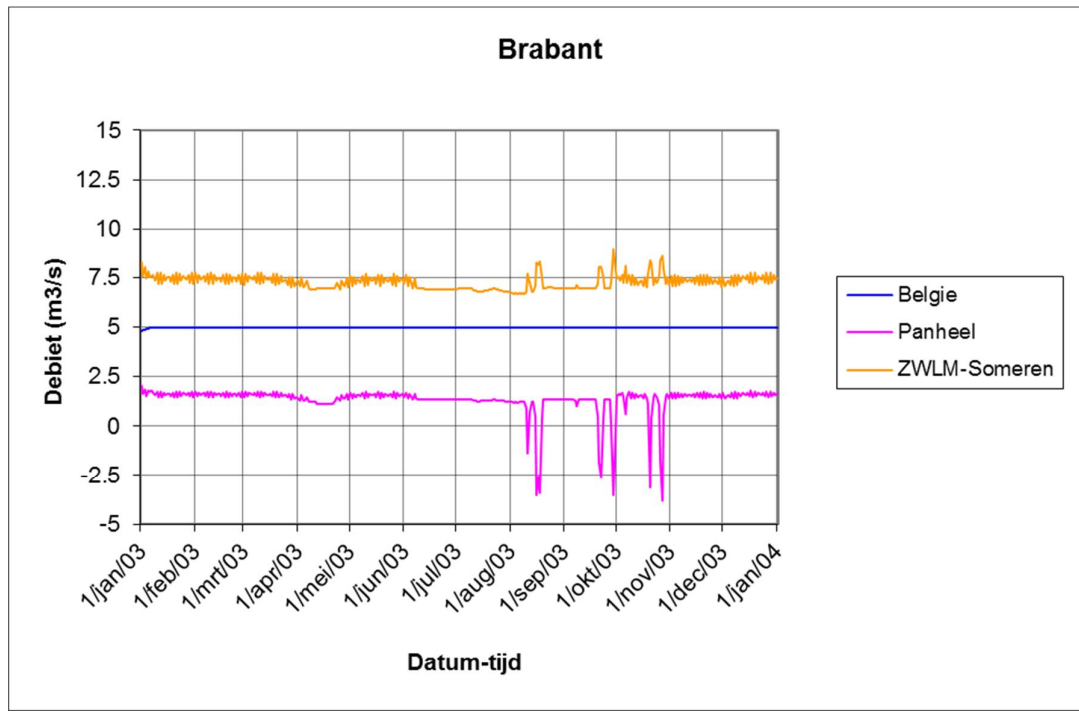
Figuur 3.50: Gemeten en berekende afvoeren Beatrixkanaal (Blaarthem) (model=blauw)



Figuur 3.51: Gemeten en berekende afvoeren Dintelsas en Bovensas, 2003 (model=blauw)



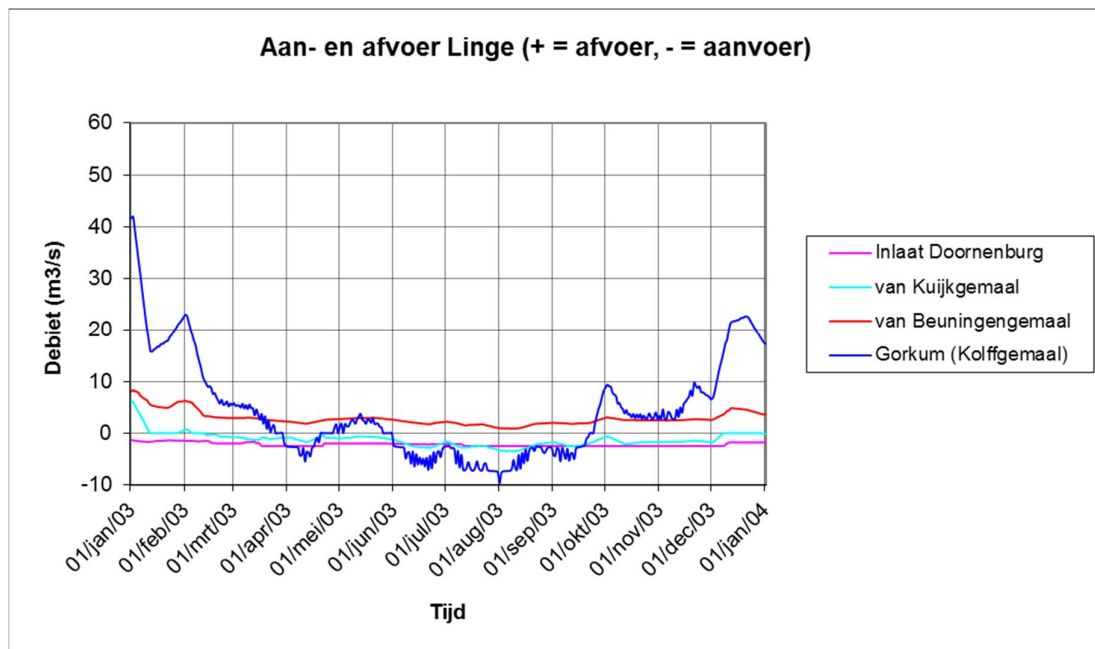
Figuur 3.52: Gemeten en berekende aanvoer Oosterhout 2003 (model=blauw)



Figuur 3.53: Overige resultaten Noord-Brabant

- De aanvoer bij Loozen (figuur 3.49) klopt vrij goed met het in de praktijk gevoerde beheer en het Maasafvoercontract (in principe orde  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ , tenzij er watertekorten zijn door lage Maasafvoeren). De metingen geven echter wel een iets lagere afvoer van orde  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  aan. Er blijft orde  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  voor België in het kanaal Bocholt-Herentals (figuur 3.53).
- De afvoer bij Blaarthem van de Dommel naar het Beatrixkanaal is goed (figuur 3.50)
- De totale afvoer van Brabantse Delta via Bovensas en Dintelsas (figuur 3.51) is qua patroon redelijk goed in LSM, al ontbreekt de fijne dynamiek in vergelijking met de metingen. Dat hangt samen met het feit dat de laterale debieten in LSM op basis van 10-daagse NHI resultaten zijn gedefinieerd. Verder is de totale lozing in het model jaargemiddeld ongeveer  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  hoger dan de metingen.
- In de zomerperiode wordt bij Oosterhout richting Mark en Dintel water ingelaten (figuur 3.52). De inlaat bij Oosterhout is qua piekwaarde goed, maar de periode waarvoor ingelaten wordt is te lang; in het model begint de inlaat in juni terwijl in de praktijk in 2003 de inlaat half juli ingeschakeld werd. In de droge zomer wordt door de inlaat een continue lozing bij Dintelsas bewerkstelligd.
- Bij Panheel is er sprake van schut- en lekverliezen naar de Maas; in de zomerperiode wordt er bij beperkte waterbeschikbaarheid via de Zuid-Willemsvaart zuinig geschat en water opgepompt bij Panheel. In figuur 3.53 blijkt het schutverlies onder normale omstandigheden orde  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  te zijn. In droge perioden van onvoldoende aanvoer bij Loozen, wordt bij Panheel opgepompt (een negatief debiet in figuur 3.53).
- In vergelijking met het achtergronddocument LSM 1.04 is de inlaat Oosterhout verbeterd en qua piek nu goed, maar inlaat in het model begint eerder dan de metingen. Hieraan gerelateerd blijkt ook de doorvoer bij sluis 12 in Someren in de zomerperiode verhoogd.

## 3.15 Linge



Figuur 3.54: Linge

Uit de weergegeven debieten in figuur 3.54 blijkt het volgende:

- De inlaat Doornenburg laat in LSM vrijwel continu water in. Dit is niet geverifieerd met eventuele metingen, maar het is ook meer dan DM berekent. Vermoedelijk wordt er in het Sobek model te veel water ingelaten; het ligt immers niet voor de hand om ook in de winterperiode water in te laten.
- Het van Beuningengemaal loost continu naar het ARK-Betuwepand, en laat nooit water in.
- Het van Kuijkgemaal voert in natte perioden af naar de Nederrijn, maar laat het merendeel van het jaar 2003 water in uit de Nederrijn.
- Bij Gorinchem / kanaal van Steenenhoek (Kolffgemaal) wordt in voor- en najaar water afgevoerd, en in de zomer water ingelaten.

### 3.16 Overige opmerkingen

De rekentijden van LSM 1.2 en LSM 1.3 zijn vergeleken door het jaar 2003 op dezelfde laptop door te rekenen voor beide versies van LSM. De rekentijd van beide sommen bleek vergelijkbaar, orde 31 uur.

In de paragrafen hiervoor is vooral gekeken naar debieten op belangrijke doorvoerlocaties in het hoofdwatersysteem en de regionale systemen. Er zijn ook metingen voor diverse andere locaties beschikbaar. Bij inspectie van resultaten voor bijvoorbeeld Zuiderzeeland blijkt dat in het model de totale lozing van Zuiderzeeland wat lager is dan de metingen, en dat ook de verdeling van de lozing van Zuiderzeeland over de gemalen bij Blocq van Kuffeler, Colijn en Lovink en de verdeling over Hoge en Lage afdeling niet goed klopt met de metingen. Dat de totale lozing van Zuiderzeeland in LSM lager is dan de metingen moet verklaard worden doordat de met NHI berekende lozingen blijkaar lager zijn. De verdeling van de laterale debieten op basis van NHI over de lateralen in het LSM model is per waterschap gedaan op basis van de NHI districten en lozingspunten in NHI (DM), en de beschikbare laterale debiet knopen in LSM, door per combinatie van NHI district en DM lozingspunt een aantal LSM lateralen te identificeren waarover dit debiet (uniform) verdeeld is. Deze verdeling over de lateralen is voor de meeste gebieden niet zo gevoelig, maar voor Zuiderzeeland wel, omdat intern systemen met duidelijk verschillende peilen en verschillende uitlaatwerken worden onderscheiden. Voor Zuiderzeeland moet deze verdeling van lozingen over laterale debiet locaties in LSM dus verbeterd worden.

#### Performance indicatoren

De vergelijking van daggemiddelde berekende afvoeren met de metingen voor diverse locaties is uitgedrukt in een aantal statistieken. Hiervoor definiëren we de volgende notaties:

$X_i$  = meetwaarde op tijdstip  $i$   
 $Y_i$  = schatting op tijdstip  $i$   
 $N$  = het aantal tijdstappen  
 $X_{\text{gem}}$  = het gemiddelde van de meetwaarden

De volgende statistieken zijn berekend:

- Bias = de gemiddelde afwijking van model en meting

$$Bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)$$

De bias moet dicht bij nul zijn. Echter, een bias van nul betekent alleen dat de gemiddelde fout nul is, er kunnen wel degelijk flinke afwijkingen zijn. Daarom wordt ook de volgende indicator gebruikt:

- RMSE (root mean square error): de wortel uit de gemiddelde som van de kwadratische verschillen van meting en modelresultaat:

$$RMSE = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

De RMSE waarde dicht bij nul betekent een goede fit van het model met de metingen.

- NS = Nash-Sutcliffe Efficiency indicator. Deze is gedefinieerd als:

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^N (X_i - X_{gem})^2}$$

$$-\infty < NS < 1$$

De NS-waarde is maximaal 1.0. In dat geval is er een perfecte fit tussen model en meting. Bij een NS-waarde van 0.0 is de gemiddelde waarde van de metingen een net zo goede voorspeller. Bij negatieve Nash-Sutcliffe waarden is het gemiddelde van de metingen een betere voorspeller dan het model. Afwijkingen worden door het Nash-Sutcliffe criterium kwadratisch gewogen, dus een slechte dynamiek (verschillen tussen model en metingen in de timing van pieken en dalen) komt tot uiting in een lage score. Anderzijds komt een systematisch verschil ook naar voren in een lagere score.

Bij de NHI toetsing van decadegemiddelde afvoeren is een NS-efficiency van 0.5 als goed beoordeeld, en een waarde boven de 0.2 als redelijk. Voor daggemiddelde afvoeren kan er dan nog steeds een flinke afwijking zijn. Een voorbeeld hiervan is Bunde (Julianakanaal). Op basis van daggemiddelde debieten is de NS-score 0.25 (redelijk), maar op basis van decadegemiddelde debieten is de NS-score 0.57 (goed). Dat heeft alles te maken met de fluctuaties in de metingen door minder scheepvaart op zon- en feestdagen. Bij de berekening van de NS-score met decadegemiddelde waarden worden deze fluctuaties weggemiddeld, terwijl bij de NS-score op basis van daggemiddelde waarden deze afwijkingen zwaarder meetellen.

Tabel 3.1: Indicatoren performance berekende debieten (op basis van daggemiddelden)

	Meting gemiddelde	LSM gemiddelde	Bias	RMSE	NS
<b>Bunde</b>	12.89	12.80	0.08	4.01	0.25
<b>Driel</b>	189.57	196.62	-7.05	32.22	0.99
<b>Tiel</b>	1371.75	1340.76	30.99	83.19	0.99
<b>Afsluitdijk</b>	397.44	367.45	29.99	334.80	0.34
<b>Haringvliet</b>	566.81	464.30	102.50	412.60	0.89
<b>IJmuiden</b>	78.99	48.97	30.02	43.50	-0.69
<b>Hagestein</b>	173.78	183.10	-9.32	38.62	0.98
<b>Oranjesluizen</b>	9.29	9.02	0.28	14.60	0.00
<b>Irenesluizen</b>	13.75	15.12	-1.36	5.81	0.41
<b>Aanvoer Eefde</b>	2.74	2.85	-0.11	2.76	0.45
<b>Aanvoer Friesland</b>	8.16	9.09	-0.93	7.51	0.70
<b>Doorvoer Gaarkeuken</b>	3.13	2.91	0.22	4.25	0.46
<b>Doorvoer Dorkwerd</b>	2.95	1.35	1.60	4.14	0.32
<b>Afvoer Harlingen</b>	4.42	4.87	-0.46	4.74	-0.41
<b>Afvoer Dokkum</b>	19.30	8.61	10.69	24.14	0.15
<b>Afvoer Delfzijl</b>	5.51	7.64	-2.13	8.54	0.09
<b>Aanvoer Paradijssluis</b>	0.53	0.57	-0.04	0.61	0.30
<b>Afvoer Paradijssluis</b>	0.48	1.01	-0.53	0.98	0.10
<b>Aanvoer Rogatsluis</b>	0.76	0.67	0.08	1.05	0.42
<b>Afvoer Rogatsluis</b>	1.41	3.06	-1.65	2.74	-0.28
<b>Afvoer Den Helder</b>	8.75	6.70	2.05	6.30	0.47
<b>Afvoer Zaan</b>	6.14	1.41	4.72	5.49	-0.96
<b>Inlaat Kromme Rijn</b>	4.71	6.48	-1.76	2.32	-0.24
<b>Bodegraven</b>	2.78	1.97	0.81	2.64	0.40

	<b>Meting gemiddelde</b>	<b>LSM gemiddelde</b>	<b>Bias</b>	<b>RMSE</b>	<b>NS</b>
<b>Halfweg/Spaarndam</b>	10.35	11.05	-0.69	10.84	0.05
<b>Afvoer Katwijk</b>	4.78	1.53	3.24	9.06	0.04
<b>Aanvoer Gouda</b>	2.33	2.43	-0.10	3.25	0.53
<b>Dolk Leidschendam</b>	0.31	0.17	0.14	0.63	0.61
<b>Afvoer Gouda</b>	1.87	0.00	1.87	5.67	-0.12
<b>Winsemius</b>	1.05	1.96	-0.92	1.69	-0.02
<b>Totaal Aanvoer Delfland</b>	1.36	2.14	-0.78	1.85	0.42
<b>Afvoer Parksluizen</b>	1.38	1.32	0.06	1.62	0.34
<b>Loozen</b>	7.74	9.91	-2.17	2.33	-6.45
<b>Blaarthem</b>	3.08	2.42	0.66	1.30	0.69
<b>Dintelsas en Bovensas</b>	8.34	10.67	-2.33	6.33	0.79
<b>Aanvoer Oosterhout</b>	0.44	1.07	-0.63	1.69	-0.48

## 4 Resultaten van LSM voor waterstanden

### 4.1 Inleiding

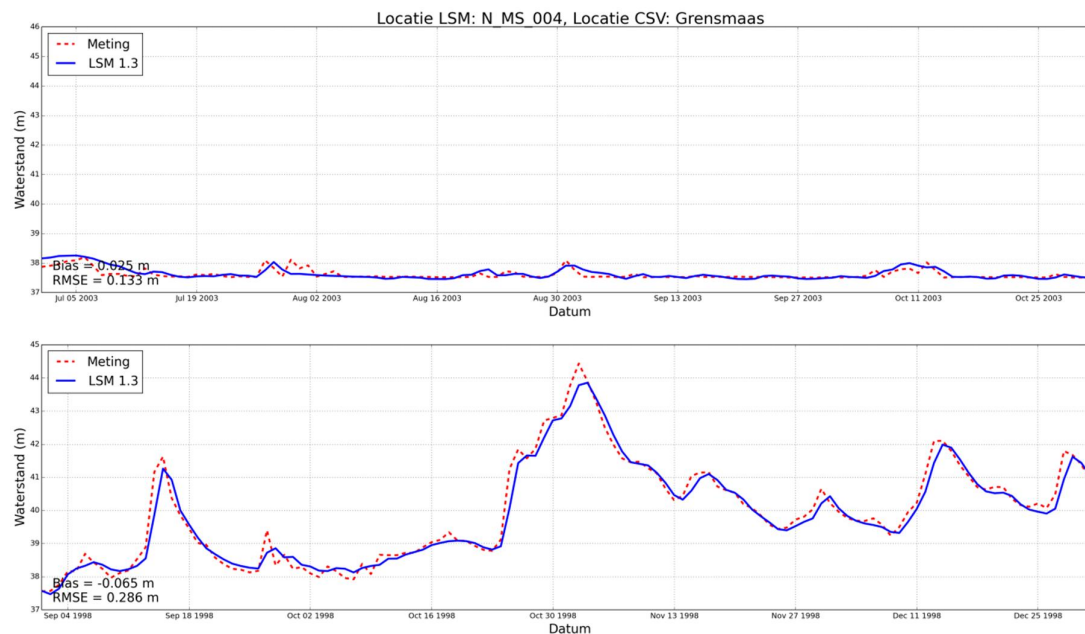
De resultaten van LSM qua waterstanden worden gebruikt door modellen als BIVAS (scheepvaartmodel) en ook door projecten als VONK (Vervangingsopgave Natte Kunstwerken). In dit hoofdstuk worden berekende waterstanden voor het relatief droge jaar 2003 en het natte najaar van 1998 vergeleken met metingen voor verschillende lokaties in de rijkswateren (hoofdsysteem) en enkele lokaties in het regionale systeem. De meeste figuren zijn voor najaar 2003 en najaar 1998; enkele figuren tonen voor 2003 echter het hele jaar.

### 4.2 Maas

Voor de gehele Maas komen de resultaten goed overeen met de metingen. Alleen in het stuwpand Borgharen worden de pieken niet altijd gehaald. Het model en de metingen liggen bij lage afvoeren dicht bij elkaar dan bij hogere afvoeren. Hieronder worden de resultaten nabij Borgharen en Lith weergegeven.

#### *Borgharen*

Bij Borgharen wordt het Maaswater verdeeld over de Grensmaas, het Julianakanaal en de ZuidWillemsvaart. In de Grensmaas en het Julianakanaal wordt gemeten. In figuur 4.1 worden de resultaten op de Grensmaas weergegeven. Figuur 4.2 geeft de resultaten op het Julianakanaal.

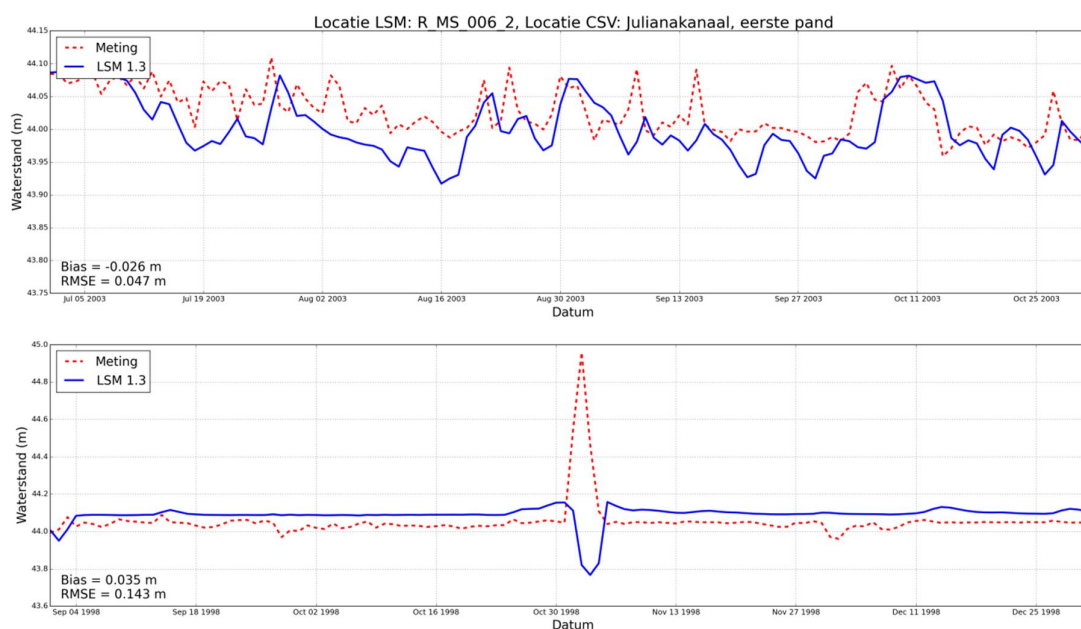


Figuur 4.1: Resultaten LSM en metingen, Grensmaas benedenstrooms Borgharen (boven 2003, onder 1998)



Uit de figuren blijkt dat voor de beschouwde perioden 1998 en 2003 de berekeningen goed overeenkomen met de metingen. De dynamiek binnen het watersysteem wordt door het model goed gevolgd.

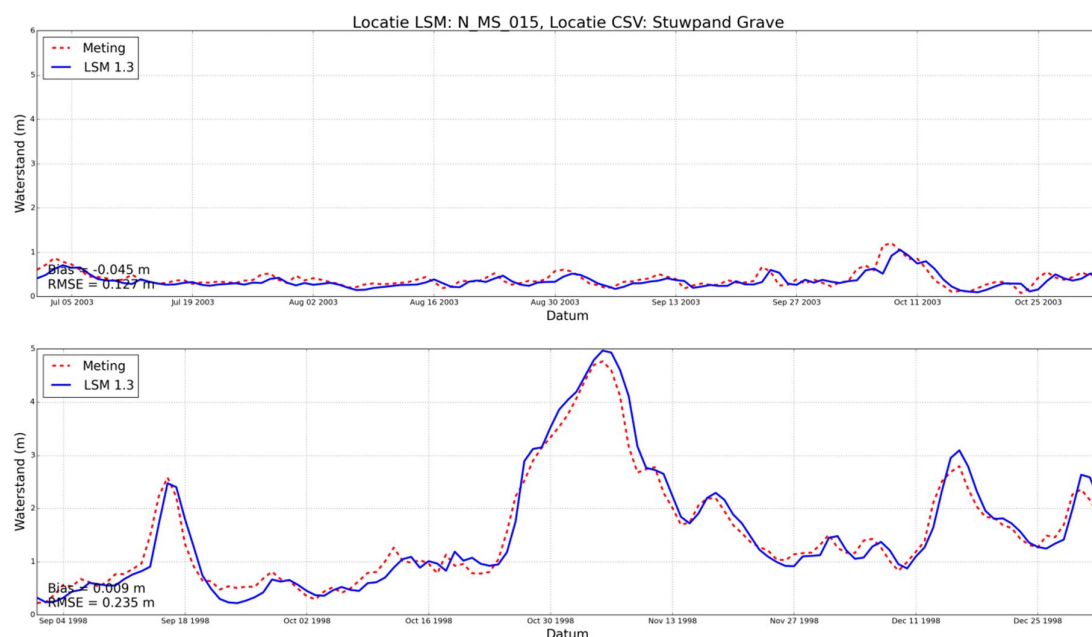
Opmerkelijk is de waterstandsverlaging die in LSM op het Julianakanaal optreedt in november 1998, waar de metingen juist een piek laten zien (zie figuur 4.2). Dit verschil is terug te vinden bij alle punten op het Julianakanaal. Dit heeft te waarschijnlijk maken met de instellingen van de sturing van de kunstwerken in het model, maar is nu niet nader onderzocht. Ook bij eerdere LSM en LSM-light versies (Wesselius, 2014) is dit geconstateerd.



Figuur 4.2: Resultaten LSM en metingen, Julianakanaal 1<sup>e</sup> pand (boven 2003, onder 1998)

### Lith

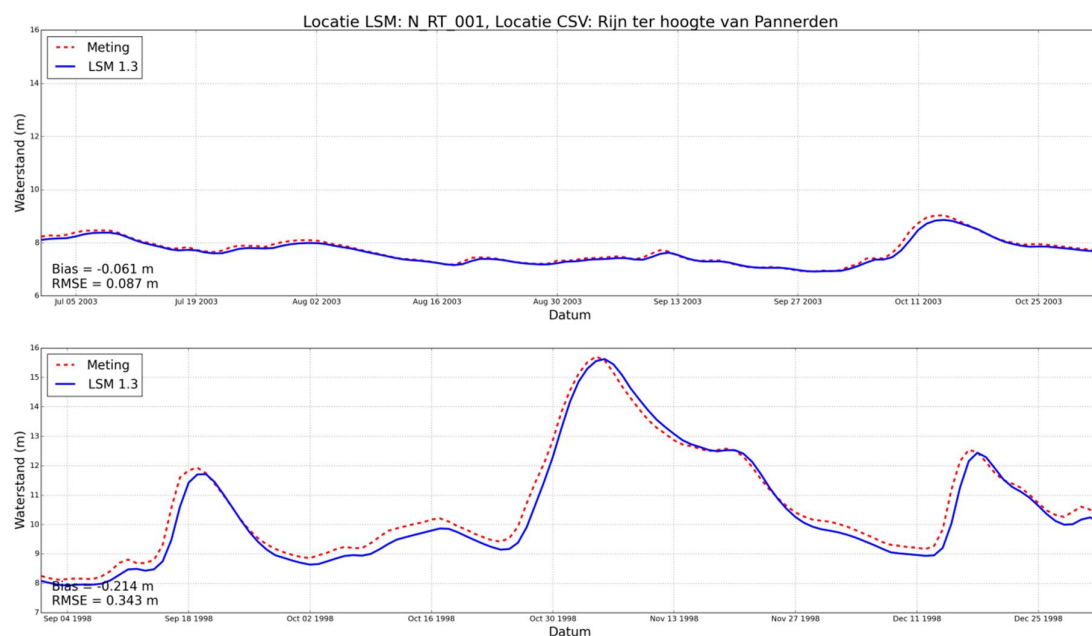
Voor Lith is gekeken naar het MSW station (Monitoring Systeem Waterhoogten). Uit de figuur blijkt dat 1998 goed overeen komt met de metingen. Ook voor 2003 komt de berekening goed overeen met de metingen. De update van de getijrandvoorwaarden (om voor alle historische jaren zoveel mogelijk de gemeten buitenwaterstanden in LSM op te leggen) heeft hier in vergelijking met de resultaten van 2014 met LSM-light voor een duidelijke verbetering gezorgd.



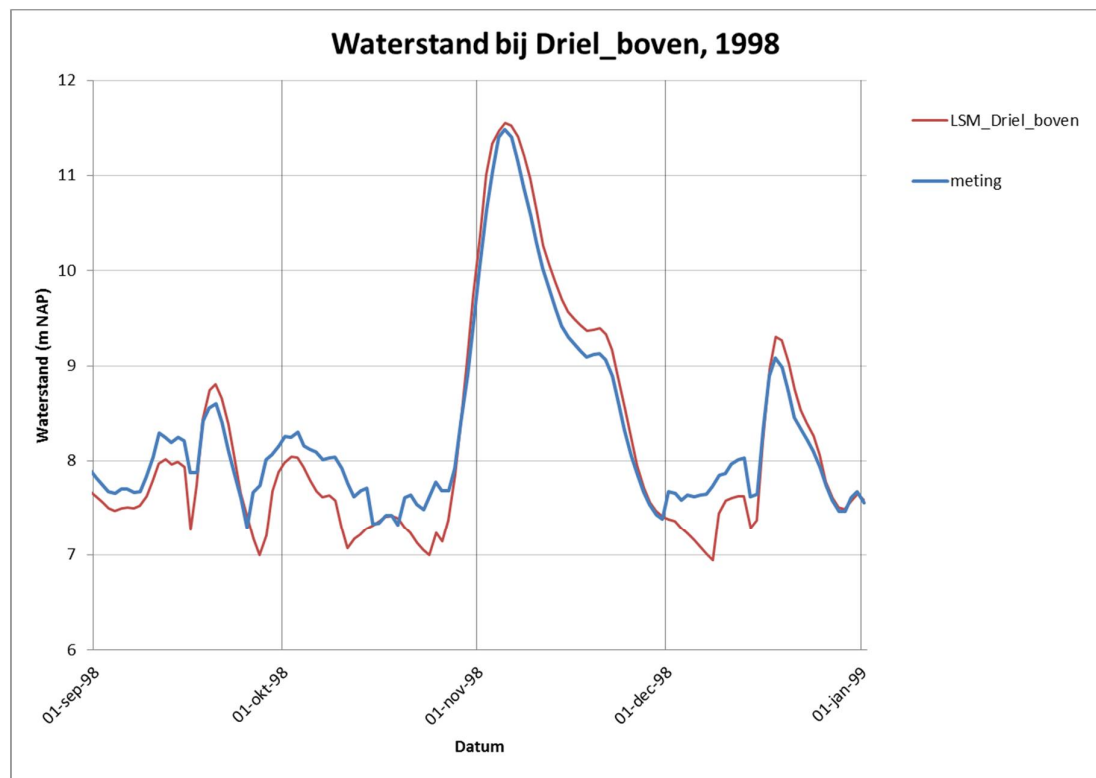
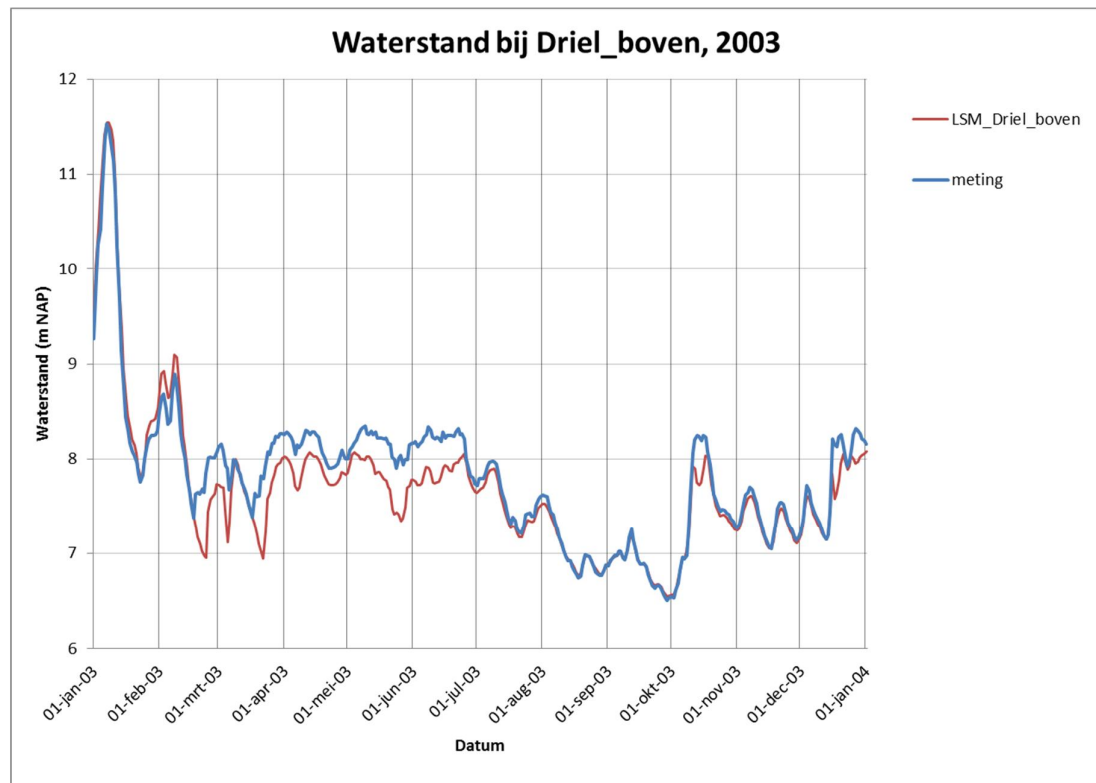
Figuur 4.3: Resultaten LSM en metingen, Lith MSW (boven 2003, onder 1998)

## 4.3 Bovenrivierengebied

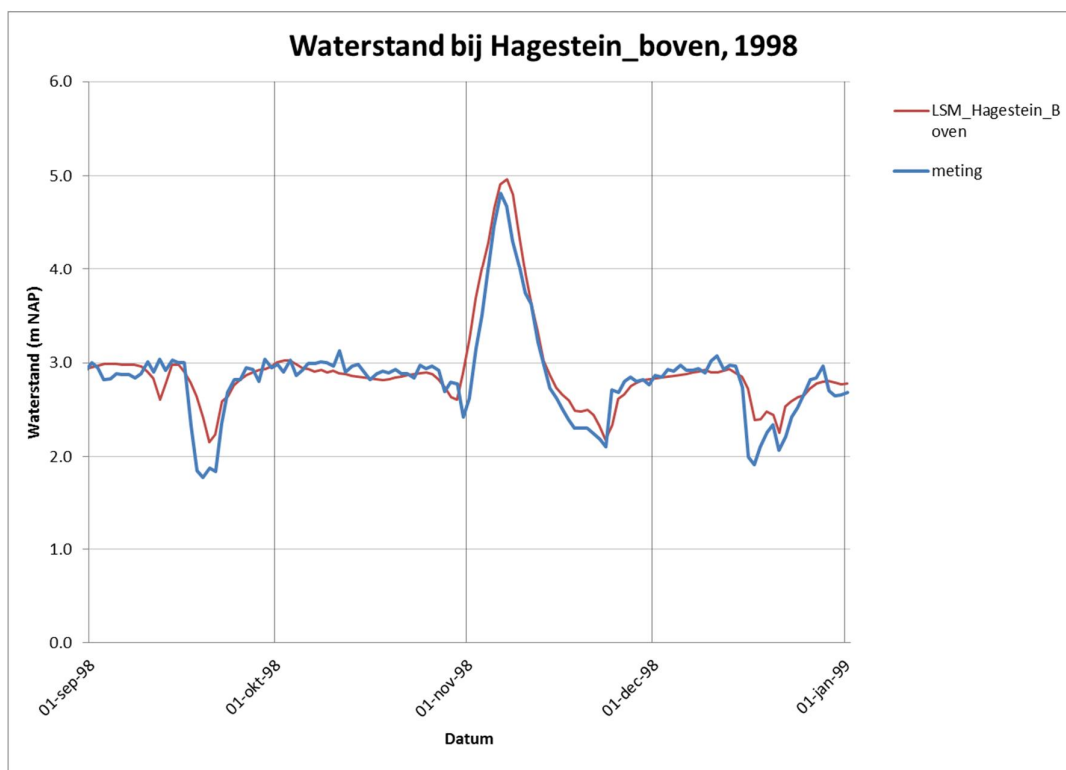
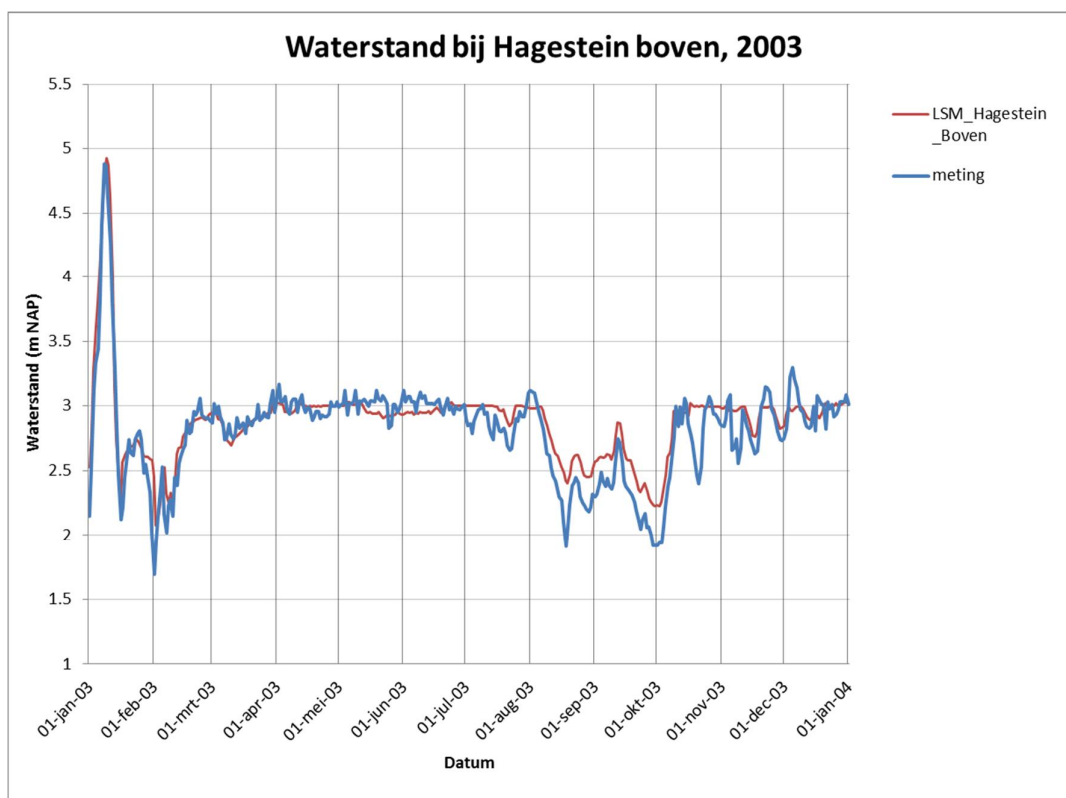
Ook in het bovenrivierengebied komen de resultaten van LSM redelijk goed overeen met de metingen. In de volgende figuren worden enkele resultaten getoond. Allereerst zijn in figuur 4.4 de resultaten van Pannerden weergegeven. Vervolgens worden de resultaten van Driel, Hagestein boven en Tiel weergegeven. De resultaten benedenstrooms van de stuw Hagestein worden ook hier weergegeven (maar horen strikt genomen niet bij het bovenrivierengebied).



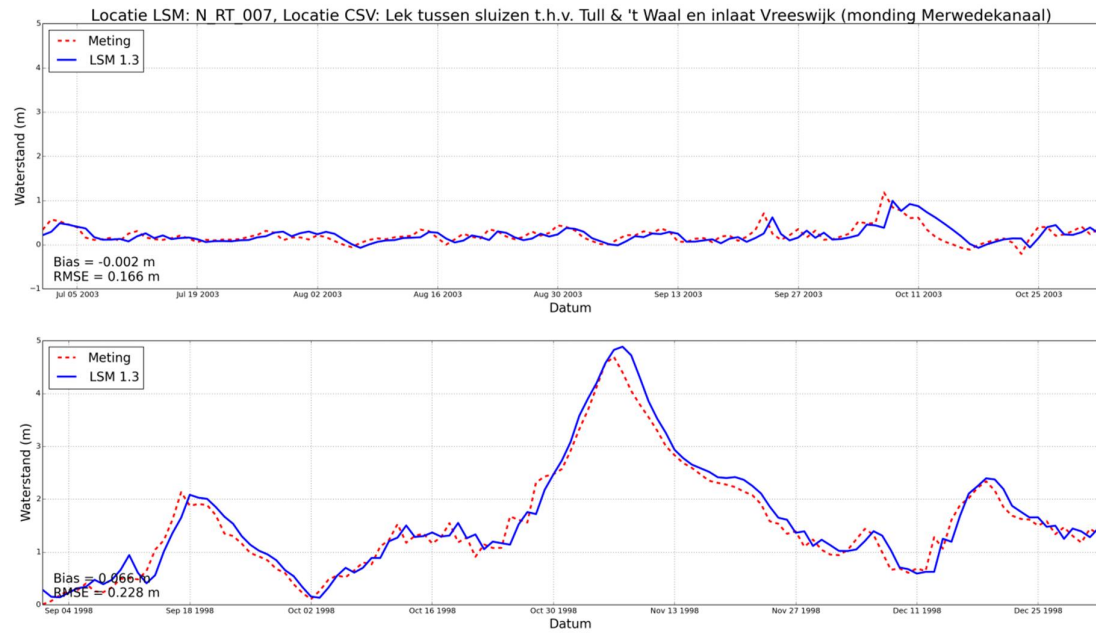
Figuur 4.4: Resultaten LSM en metingen, Pannerden (boven 2003, onder 1998)



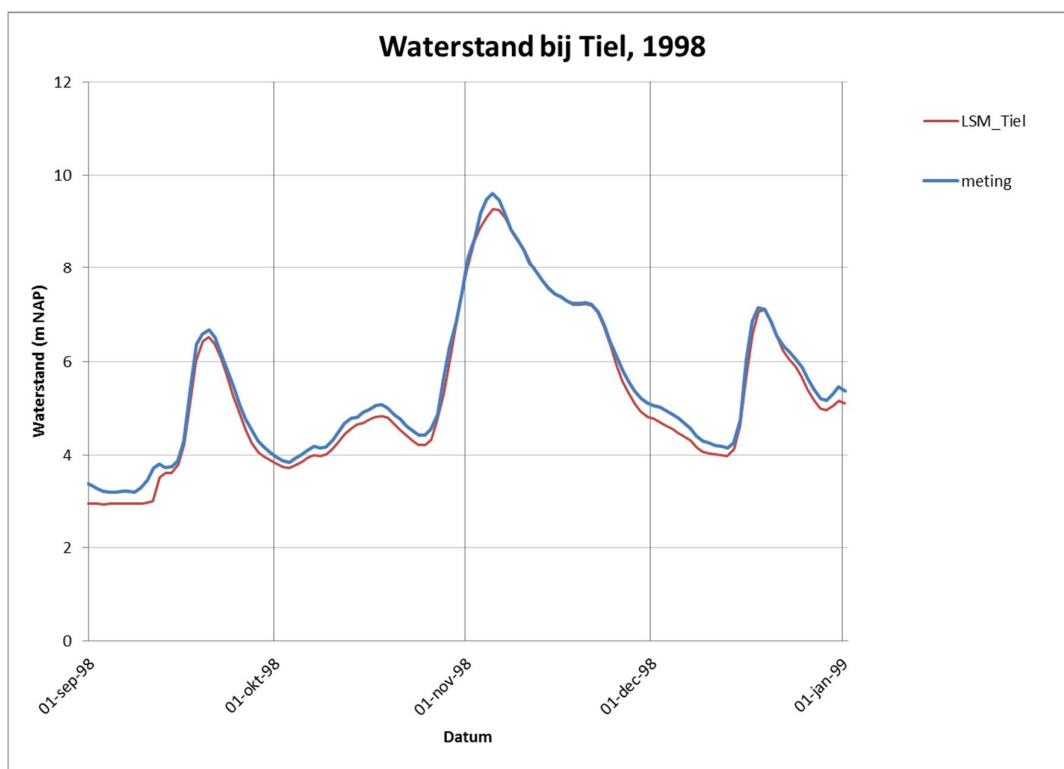
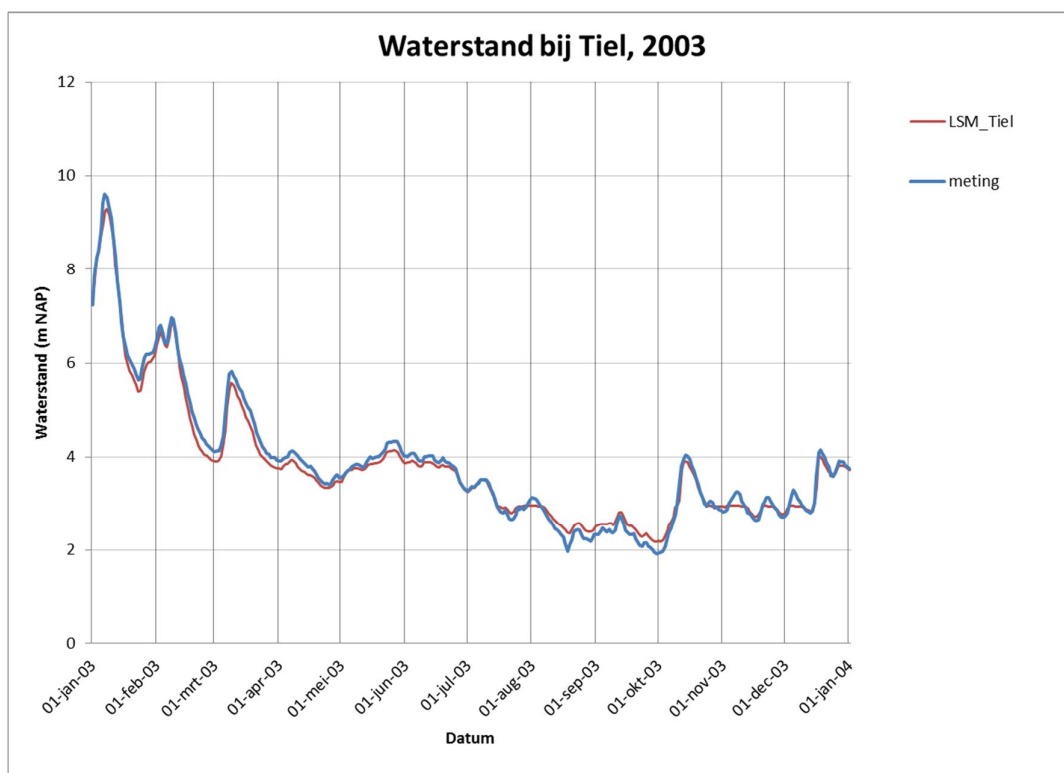
Figuur 4.5: Resultaten LSM en metingen, Driel boven (boven 2003, onder 1998)



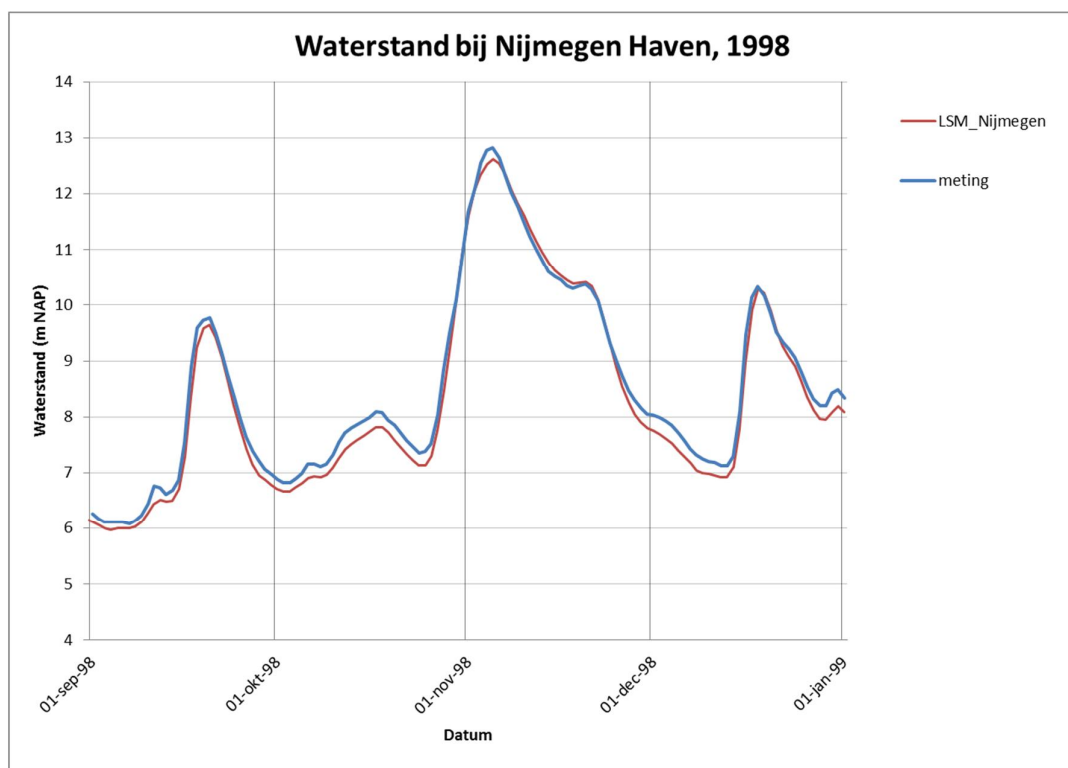
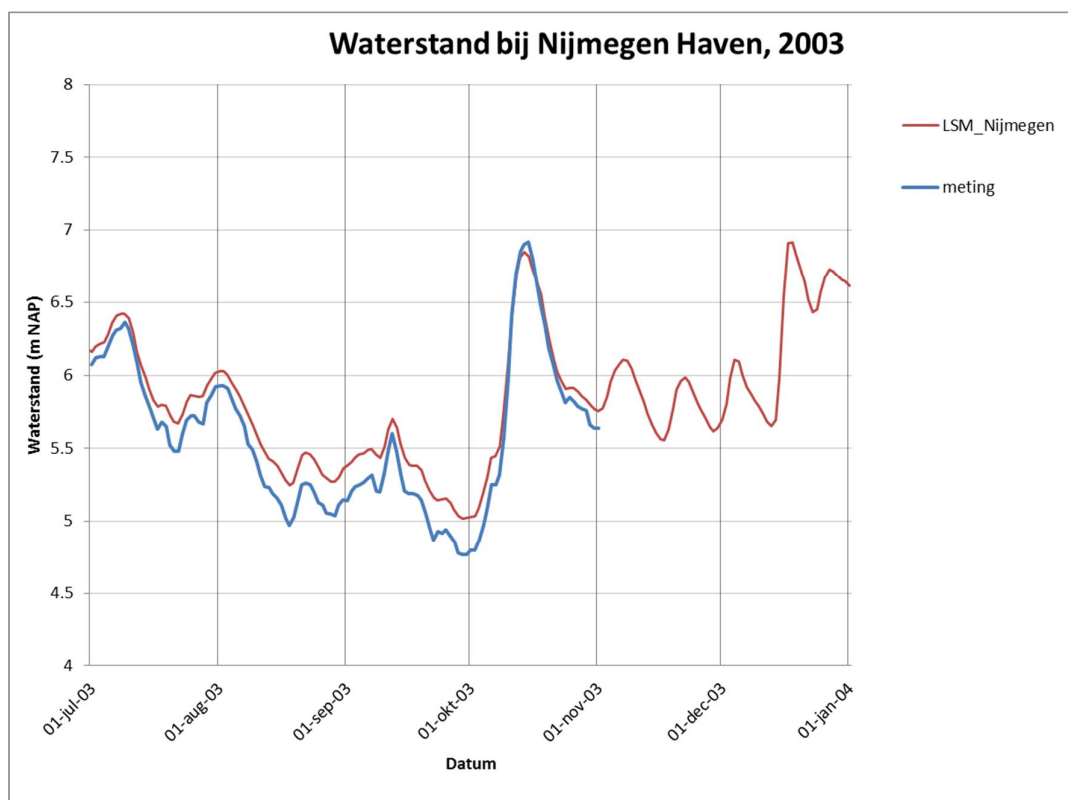
Figuur 4.6: Resultaten LSM en metingen, Hagestein boven (boven 2003, onder 1998)



Figuur 4.7: Resultaten LSM en metingen, Hagestein beneden (boven 2003, onder 1998)



Figuur 4.8: Resultaten LSM en metingen, Tiel (boven 2003, onder 1998)

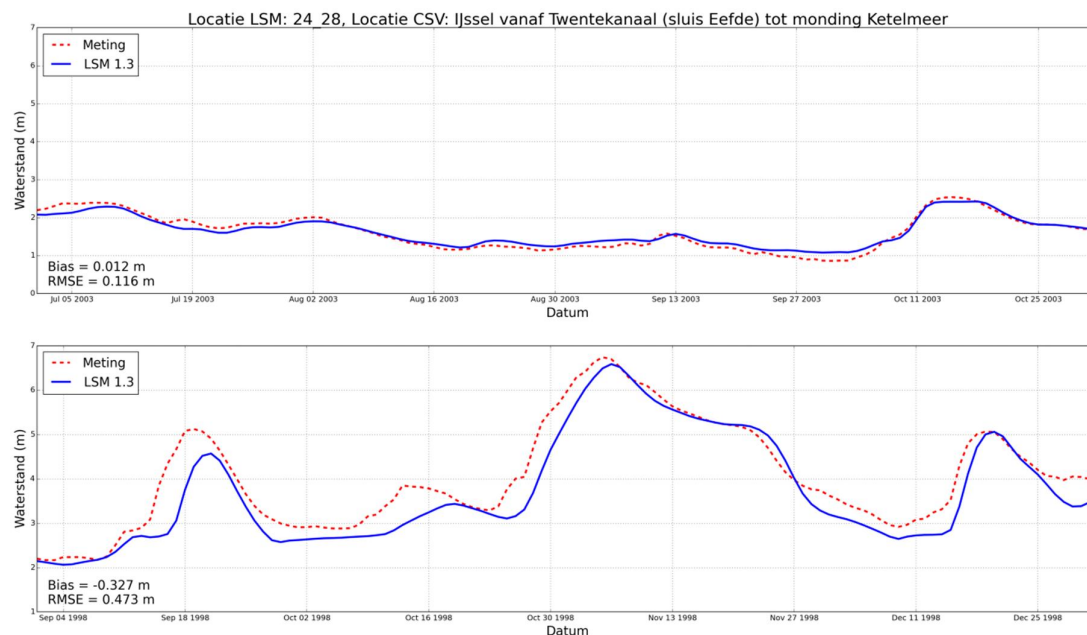


Figuur 4.9: Resultaten LSM en metingen, Nijmegen (boven 2003, onder 1998)

De waterstand op de Waal is verbeterd ten opzichte van vorige LSM versies (sinds de correctie van de weerstanden op takken met debiet- en locatie-afhankelijke weerstand). Dit is belangrijk voor het gebruik van resultaten van LSM in het scheepvaartmodel BIVAS. De waterstanden kunnen mogelijk nog verder verbeteren als het Sobek-3 model van de Rijntakken voor zowel het hoge als het lage afvoerbereik is gekalibreerd en in LSM gebruikt wordt. Overigens zijn voor de Waal geen VONK-kunstwerken aanwezig.

#### 4.4 IJssel-Vecht Delta

Over het algemeen genomen komen de resultaten in het model redelijk goed overeen met de metingen, maar er zijn wel verbeterpunten aan te wijzen. In figuur 4.10 zijn de resultaten op de IJssel nabij Deventer weergegeven. Uit de grafiek kan worden geconcludeerd dat de waterstanden in het model bij hoge afvoeren (in 1998) te laag en bij lage afvoeren (in september 2003) juist iets te hoog zijn.

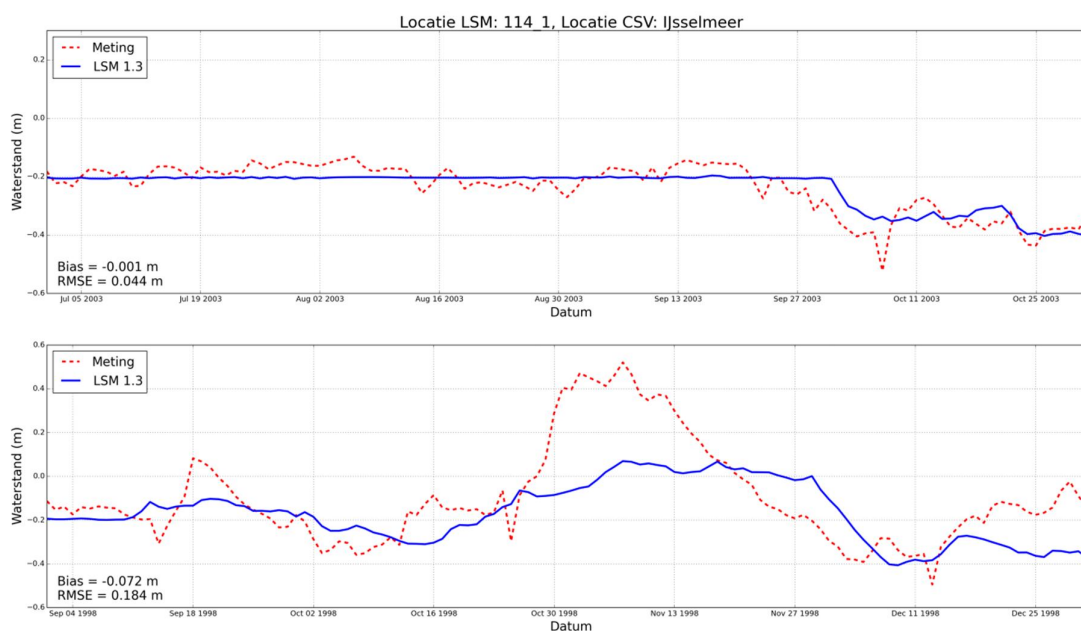


Figuur 4.10: Resultaten LSM en metingen, Deventer (boven 2003, onder 1998)

##### IJsselmeer

Voor het IJsselmeer is met een eerste versie van het LSM-model een vergelijking uitgevoerd in het achtergronddocument [Prinsen & Becker, 2010]. Uit deze vergelijking bleek dat de resultaten op het IJsselmeer redelijk goed zijn. Alleen lijkt in de berekening het peil niet zodanig uit te zakken, zoals het IJsselmeer dit in werkelijkheid doet. Het gemeten IJsselmeerpeil is het gewogen gemiddelde van metingen op 4 locaties, om zo de effecten van wind te vereffenen. In de gepresenteerde modelberekening is echter zonder wind gerekend.





Figuur 4.11: Resultaten LSM en metingen, IJsselmeer (boven 2003, onder 1998)

Uit de resultaten blijkt dat het algemene verloop redelijk klopt. Echter, het model rekent in 2003 een glad verloop uit (streefpeil -0.20 m NAP in de zomer), terwijl in werkelijkheid het peil tijdelijk is opgezet (juli 2003) en in augustus 2003 iets is uitgezakt. In 1998 laat LSM wel een peilstijging zien, maar veel minder hoog dan in werkelijkheid is opgetreden. Dat wordt veroorzaakt omdat de modelberekening zonder wind is gerekend. De randvoorwaarden (getijwaterstanden Den Oever en Kornwerderzand) zijn weliswaar de historische waterstanden, maar het niet meenemen van wind in de berekening betekent dat de afwaaiing bij de Afsluitdijk bij noordwestenwinden niet is meegenomen, waardoor met een te hoge IJsselmeerwaterstand net voor de Afsluitdijk gerekend is, met als gevolg een grotere lozingscapaciteit richting Waddenzee.

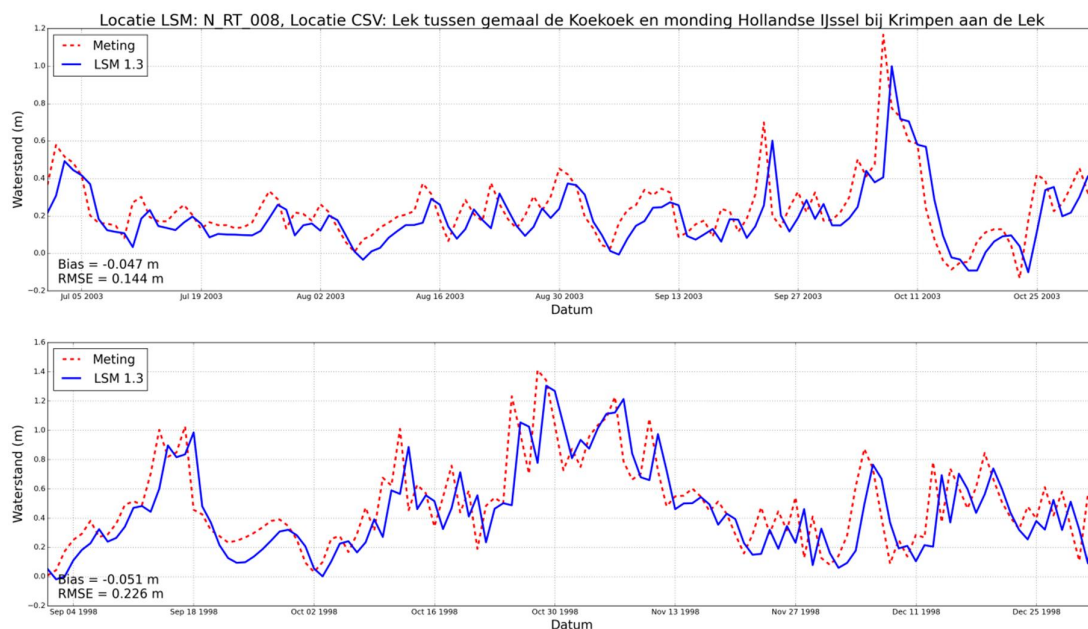
Omdat het LSM in eerste instantie voor waterverdeling is gemaakt, zijn windeffecten niet meegenomen. Verwacht wordt dat bij de ontwikkeling van deelmodellen niet altijd met wind rekening is gehouden. Bij gebruik van een LSM-uitsnede in het Deelprogramma IJsselmeer bleek dat het rekenen met wind leidde tot instabiliteiten (droogval) van enkele rekenpunten, waarvoor in DPIJ enkele aanpassingen zijn gedaan.

#### 4.5 Benedenrivierengebied en Zuidwestelijke Delta

In het benedenrivierengebied en de Zuidwestelijke Delta is hetzelfde effect te zien van de randvoorwaarden als bij Lith. Er is een duidelijke verbetering door het opleggen van historische getijranden voor de hele simulatieperiode.

##### *Benedenrivierengebied*

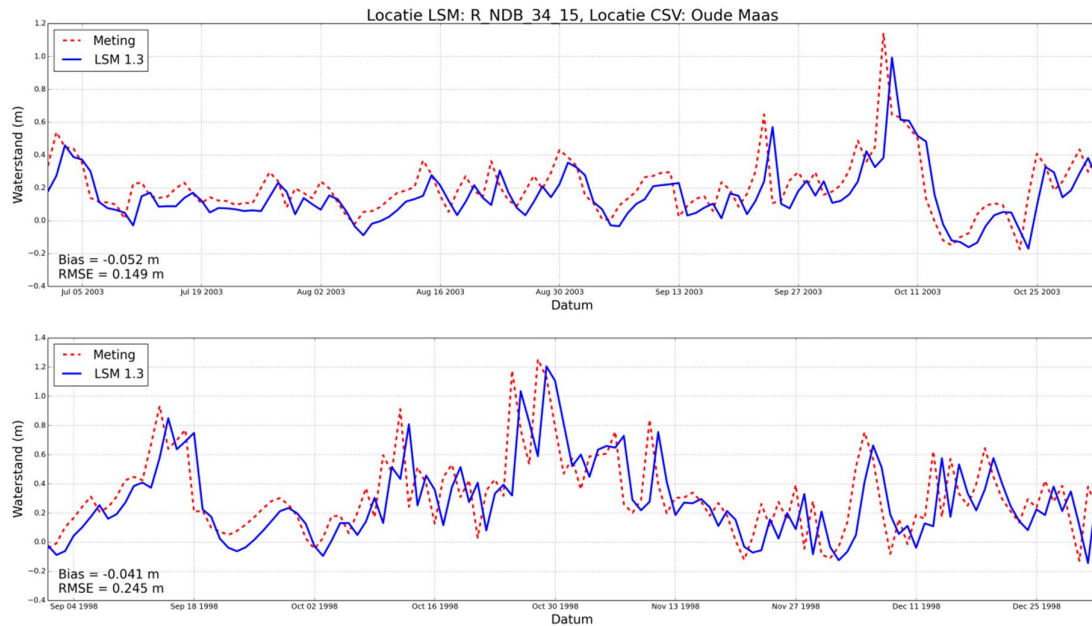
De resultaten voor Krimpen aan de Lek en Spijkenisse (Oude Maas) worden in de volgende figuren getoond.



Figuur 4.12: Resultaten LSM en metingen, Krimpen aan de Lek (boven 2003, onder 1998)

Uit de figuur voor de waterstanden bij Krimpen aan de Lek blijkt dat de waterstanden in het model en de metingen goed overeenkomen. Het enige punt dat duidelijk naar voren komt is een tijdlabell issue: in het model zijn de daggemiddelde waarden op een dag weggeschreven met als tijdlabell 0 uur op de volgende dag. Hierdoor lijkt het alsof het model steeds 1 dag achterloopt, maar dat is dus in werkelijkheid niet zo. De postprocessing zal hiervoor aangepast worden.

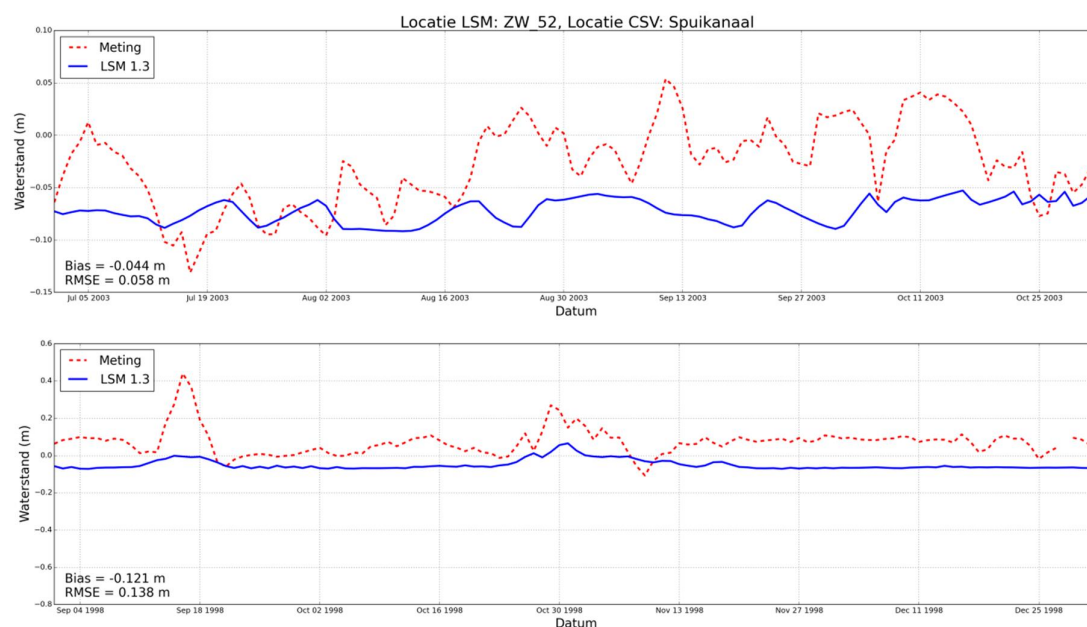
In figuur 4.13 zijn de resultaten weergegeven nabij de Spijkenissebrug. In deze figuur is bovengenoemde goed terug te zien: in vergelijking met de LSM en LSM-light resultaten van eerdere versies (voor de uitbreiding/completering van de getijranden) zijn de resultaten veel beter geworden. Naast de Spijkenissebrug liggen er in het benedenrivierengebied ook de Haringvlietsluizen als VONK-kunstwerk. De waterstanden bij de Haringvlietsluizen worden grotendeels bepaald door het getij op zee.



Figuur 4.13: Resultaten LSM en metingen, Spijkenissebrug (boven 2003, onder 1998)

#### Zuid-Westelijke Delta

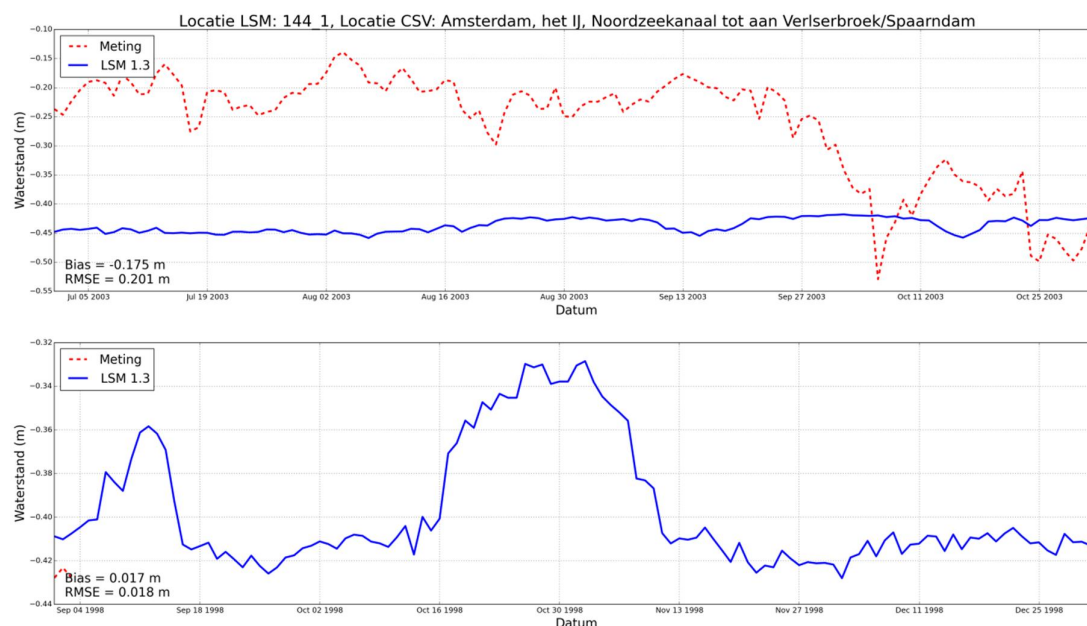
In de Zuid-Westelijke Delta zijn in tegenstelling tot het benedenrivierengebied meerdere VONK-kunstwerken aanwezig. Vooral in de gebieden waar het getij grote invloed heeft op de waterstanden kunnen grote verschillen optreden tussen het model en de metingen. In de overige gebieden (bv. het Zoommeer) zijn verschillen van gemiddeld orde grootte 5-10 cm te zien. In figuur 4.14 zijn de resultaten nabij de Bathse Spuisluis te zien. Uit de figuur lijkt het inzetpeil van het kunstwerk anders dan het operationele inzetpeil; in het model wordt het streefpeil veel strakker vastgehouden dan in de praktijk.



Figuur 4.14: Resultaten LSM en metingen, Bathse Spuisluis (boven 2003, onder 1998)

## 4.6 ARK-NZK

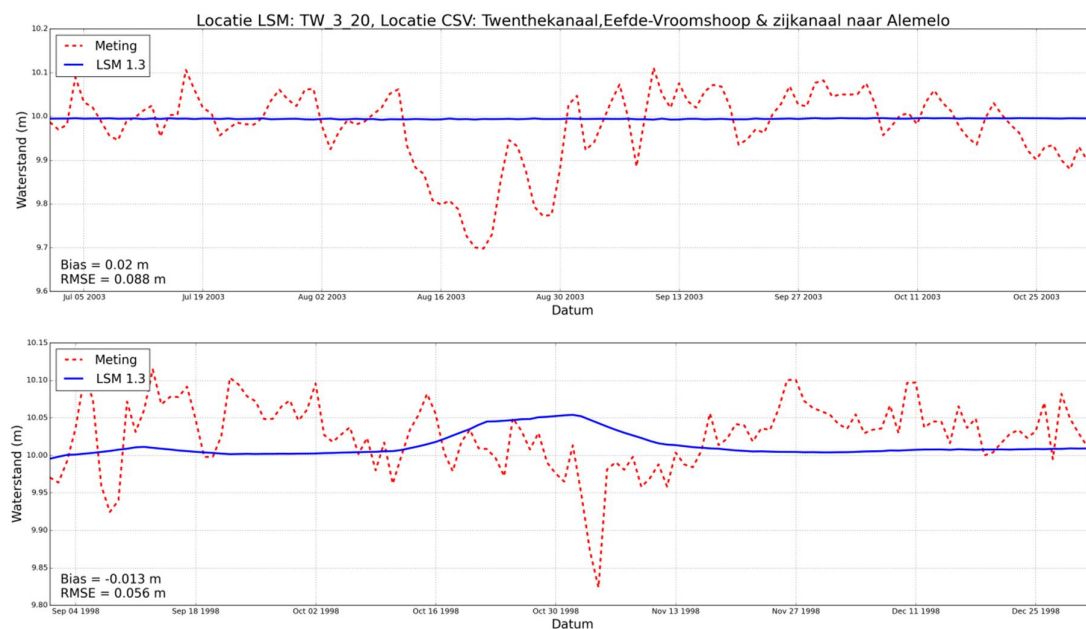
Over het gebied Amsterdam-Rijnkanaal- Noordzeekanaal is moeilijk een goed beeld te krijgen over de kwaliteit van het model. In het gebied zijn hiervoor te weinig meetpunten voor een goede vergelijking. In figuur 9 is het resultaat op het Noordzeekanaal nabij de Oranjesluizen te zien. Uit de figuur is op te maken dat het peil op het Noordzeekanaal lager is dan de metingen. Waarschijnlijk komt dit door de aansturing van de kunstwerken in het model en het niet meenemen van wind in de berekening.



Figuur 4.15: Resultaten LSM en metingen, Noordzeekanaal bij Oranjesluizen (boven 2003, onder 1998)

#### 4.7 Twentekanaal

In het Twentekanaal liggen in verhouding vrij veel VONK-kunstwerken. In figuur 10 zijn de resultaten nabij de Markelosebrug weergegeven. Uit de figuur blijkt dat het model de peilen vrij strak vasthoudt, terwijl de metingen veel meer fluctueren. Dit effect is een gevolg van de instellingen van de kunstwerken, wind en anticiperend waterbeheer. Ook voor de andere panden van het Twentekanaal worden de peilen in het model strak vastgehouden (zie figuur 3.22).



Figuur 4.16: Resultaten LSM en metingen, Markelosebrug (boven 2003, onder 1998)

#### 4.8 Samenvatting

De vergelijking van berekende LSM-waterstanden met metingen laat verschillen zien. Allereerst is bij de schematisatie van LSM op diverse koppelpunten van deelmodellen gebruik gemaakt van een pomp om het debiet van het ene deelmodel naar het andere deelmodel te modelleren, terwijl in werkelijkheid er soms een ander type kunstwerk ligt (dat echter in geen van beide deelmodellen is opgenomen). Verder is het beheer in het model soms strakker (bv. Zoommeer) of anders dan in werkelijkheid. In de LSM sommen is zonder wind gerekend, waardoor bv. de hoge waterstand van het IJsselmeer in oktober 1998 niet gehaald wordt (want de lozingscapaciteit bij de Afsluitdijk wordt overschat in LSM).

Regionale modellen die in LSM zijn opgenomen zijn meestal voor hoogwater gekalibreerd. Echter, in LSM worden lateralen gebruikt die berekend zijn met NHI op 10-daagse basis, waardoor regionale afvoerpieken onderschat zullen worden. Voor hoge afvoeren op de Maas en de Rijn speelt dit minder, omdat voor de grote rivieren de debiet-randvoorwaarden in LSM op dagbasis zijn opgegeven.

Een ander punt is dat in oude SOBEK-RE hoogwatermodellen van Rijn en Maas gebruik is gemaakt van zogenaamde extra weerstanden ('extra resistances'). Deze zijn niet opgenomen in LSM. In de nieuw ontwikkelde SOBEK-3 modellen voor Maas en Rijn is deze functionaliteit wel weer beschikbaar en ook gebruikt. Bij de overgang van het huidige LSM (als één grote Sobek schematisatie) naar een LSM opgebouwd lossere deelmodellen die via OpenMI (of vergelijkbare technieken) gekoppeld zijn kunnen deze Sobek-3 modellen gebruikt worden en zullen resultaten voor hoogwater op Rijn en Maas naar verwachting verbeteren.

Het Protocol van Overdracht Deltamodel / LSM stelde daarom het volgende: "Gebruik (van delen) van LSM-1.0 voor veiligheidsberekeningen moet van geval tot geval worden beoordeeld". Die aanbeveling geldt nog steeds.

## 5 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

Het Sobek LSM model is in het project Deltamodel opgebouwd uit deelmodellen van Rijkswaterstaat en de regionale waterbeheerders. Deze modellen zijn aan elkaar gekoppeld in één Sobek schematisatie. Waar nodig is sturing voor wateraanvoer toegevoegd aan het model. De rekenpuntafstand van de regionale modellen varieerde van 50 tot 500 meter; in LSM is gestreefd naar een afstand van 500 m tussen de rekenpunten. Er zijn extra laterale debiet locaties toegevoegd ten behoeve van de koppeling met waterkwaliteit. Sinds de laatste versie van het achtergronddocument LSM 1.04 zijn diverse aanpassingen geweest in LSM, zoals beschreven in hoofdstuk 2, en ook wordt voor de laterale debieten gebruik gemaakt van resultaten van nieuwere NHI versies. LSM is in eerste instantie gebruikt in het Deelprogramma Zoet Water. Inmiddels maakt ook VONK voor een aantal zaken gebruik van LSM resultaten. Daarom is na de meest recente aanpassingen van LSM de nu voorliggend eupdate van het achtergronddocument gemaakt, waarin zowel de performance van LSM voor waterverdeling als voor VONK is beschouwd.

### LSM toepassing voor waterverdeling

Het LSM 1.3 is gedraaid voor het hydrologische jaar 2003 met laterale debieten op basis van een berekening voor de periode 1996-2006 met de meest recente versie van NHI (NHI versie 3.02 van najaar 2014). Hierbij zijn de met NHI berekende districtslozingen en -onttrekkingen in Sobek als lateraal debiet per decade opgedrukt. De rivierafvoeren en meteorologie (neerslag op en verdamping van open water) zijn in LSM wel op dagbasis opgegeven, en getijrandvoorwaarden zijn veelal op uurbasis opgegeven.

De resultaten zijn voor droogtetoepassingen plausibel uit als gekeken wordt naar de hoofdkranen in de rijkswateren en de belangrijke regionale aanvoer- en afvoerlocaties. Er zijn wel verbeterpunten in LSM geconstateerd, zoals de verdeling van de NHI districtslozingen en onttrekkingen over de laterale debietlocaties in LSM die bv. in Zuiderzeeland beter kan. Ook is al aanvullende informatie beschikbaar (zoals extra regionale modellen, of nieuwere versies van regionale modellen) die nog niet in LSM 1.3 is opgenomen. Het is zinvol om de resultaten van LSM 1.3 verder te vergelijken met metingen en het model te verbeteren.

De rekentijd van LSM 1.3 is vergelijkbaar met de rekentijd van LSM 1.2.

### LSM toepassing voor VONK

Bij het gebruik van LSM resultaten in VONK gaat het vooral om de waterstandsdynamiek. In dit rapport is gekeken naar de metingen en resultaten de droge periode zomer-najaar 2003, en de resultaten en metingen van najaar 1998, een zeer natte periode.

De LSM resultaten worden nu standaard op dagbasis (daggemiddelde) weggeschreven. Hierdoor is de getijdynamiek niet zichtbaar. De randvoorwaarden in LSM 1.3 zijn ten opzichte van eerder gebruikte LSM of LSM-light versies door VONK verbeterd door lange tijdreeksen historische getijwaterstanden als randvoorwaarden in LSM op te nemen (waar voorheen voor enkele lokaties slechts voor een jaar getijdata was gebruikt). Hierdoor zijn de resultaten voor diverse locaties onder invloed van het getij duidelijk verbeterd.

De kunstwerken in het model hebben voor o.a. de Twentekanalen en het Zoommeer een sturing die het streefpeil strak handhaaft, strakker dan volgens de metingen gerealiseerd is. Verder zijn de gemaakte LSM-berekeningen zonder wind, en gebruikt LSM 10-daagse

gemiddelde laterale debieten uit NHI berekeningen. Hierdoor zijn verschillen met metingen te verwachten. In de meeste gevallen gaat het om fluctuaties in de orde van 5-10 cm.

Op het IJsselmeer resulteert het feit dat wind niet wordt meegenomen voor oktober 1998 in grotere verschillen tussen de metingen en de modelresultaten.

De berekende waterstanden op de Waal met LSM 1.3 zijn verbeterd in vergelijking met vorige versies, maar zouden nog meer kunnen verbeteren bij gebruik van het nieuwe Sobek-3 model.

## Samengevat

- Het LSM-model is goed in staat om op basis van een vooraf gedefinieerde strategie te sturen op een gewenst peilniveau. Afwijkingen van het reguliere peilbeheer om te kunnen anticiperen op verwachte periode van droogte of neerslag worden door het model niet gerepresenteerd.
- Het model geeft de dynamiek van variaties in waterstanden redelijk weer. De hoogte van pieken in waterstanden constateren we afwijkingen ten opzichte van metingen in de orde van grootte van enkele centimeters tot decimeters gemiddeld over de gehele periode.
- Het model is nog niet geschikt om uitspraken te doen voor extreme hoogwatersituaties. Om dit te verbeteren is het (o.a. voor het IJsselmeer) nodig om het effect van wind mee te nemen in de berekeningen. De oorspronkelijke deelmodellen van LSM zijn daar niet allemaal mee getest, en meenemen van wind vereist dus mogelijk nog aanpassingen in de schematisatie voor enkele locaties om instabiliteiten te voorkomen.
- De debietrandvoorwaarden van de grensoverschrijdende rivieren zijn op dagbasis, net als neerslag op en verdamping uit open water. Laterale debieten die uit NHI berekeningen worden afgeleid zijn echter op decadebasis. Voor hoogwatersituaties is dat een serieuze beperking, voor operationele hoogwatertoepassingen moeten deze laterale debieten op kleinere tijdstapbasis beschikbaar zijn. Deze beperking is voor droogtetoepassingen minder ernstig, al zou ook daar voor operationele toepassingen laterale debieten op dagbasis te prefereren zijn.

## Overzicht van aandachtspunten en verbeterpunten

- Resultaten van LSM kunnen op onderdelen verbeterd worden. Gezien de voorziene migratie naar een model dat is opgebouwd uit lossere bouwstenen die via OpenMI gekoppeld worden moeten in ieder geval voor de RWS modellen een aantal aandachtspunten in de nieuwe SOBEK-3 modellen worden meegenomen. Dat betreft:
  - controle op waterverdeling Rijntakken model bij lage afvoeren (sturing Driel);
  - controle sturing Haringvlietsluizen (op afvoer bij Tiel in LSM, in werkelijkheid op de afvoer bij Lobith);
  - operationele aspecten scheepvaart (minder scheepvaart op zon- en feestdagen is in de praktijk duidelijk merkbaar bij bv. het Julianakanaal (Bunde) en op het ARK (Irenesluizen), maar niet meegenomen in het model. Voor planning en/of droogtestudies is dat acceptabel, maar voor operationele toepassingen zou het misschien wel meegenomen moeten worden.
- Het meenemen van wind in de LSM berekeningen kan de resultaten verbeteren. Bijvoorbeeld voor het IJsselmeer is onder andere hierdoor de berekende peilopzet in oktober 1998 veel lager dan gemeten (invloed op spui naar de Waddenzee), en ook voor de afvoer van het Markermeer via de Oranjesluizen naar het NZK, en voor de verdeling van de lozing van Friesland over Harlingen, Dokkum en Lemmer is wind van groot belang.



- Belangrijke invoer voor LSM zijn de laterale debieten die op basis van NHI berekeningen worden opgegeven. Dit zijn nu altijd decadewaarden. Voor droogtetoepassingen van LSM is dat op zich wel acceptabel (al zouden dagwaarden beter zijn), maar voor hoogwater toepassingen zijn decadewaarden voor laterale debieten zeker te grof. Voor hoogwatertoepassingen zijn minstens dagwaarden en eigenlijk uurwaarden voor de laterale lozingen gewenst. Opgemerkt wordt dat de rivierafvoeren bij de grens en de neerslag op en verdamping uit open water al wel op dagbasis zijn opgegeven, en dat getijwaterstanden ook al met redelijk detail worden opgegeven (uurdata of 10-minuten data voor recente jaren).
- Voor bijvoorbeeld Drente is de kwaliteit van de waterbalans van NHI (en daarmee de laterale debieten in LSM) bepalend voor de kwaliteit van de met LSM berekende aan- en afvoer via Hoogeveensche Vaart (Rogatsluis) en Drentse hoofdvaart (Paradijssluis). Verbetering van LSM in deze regio hangt dus niet zozeer af van verbetering van bv. kunstwerken in LSM, maar van NHI en de daarmee bepaalde laterale debieten. Voor andere regio's kan de sturing van kunstwerken in LSM wel een belangrijk punt zijn; het feit dat
- Uit de resultaten blijkt voor het getijdengebied (bv. voor de waterstanden bij Krimpen) dat er tussen modelresultaten en metingen een dag verschuiving zit. Dit zit in de tijd-labeling van resultaten (de LSM daggemiddelde uitvoer krijgt het tijdlablel van de volgende dag) en kan dus eenvoudig gecorrigeerd worden.
- De koppeling van laterale debieten uit NHI aan regionale modellen kan nog verbeterd worden. Typisch is de met NHI berekende districtslozing of onttrekking evenredig verdeeld over een aantal laterale debiet locaties in LSM. Voor sommige regionale modellen maakt de exacte verdeling niet zoveel uit, maar bijvoorbeeld voor Flevoland (met een aparte hoge en lage afdeling in de boezem, terwijl Flevoland als 1 district is geschematiseerd) is die verdeling wel belangrijk.
- De koppelpunten van het nationaal (RWS) watersysteem en de regionale watersystemen moeten worden opgenomen in Baseline. Het gaat dan typisch om de lozingspunten op en onttrekkingspunten uit het rijkswater. Dat kunnen vrij afwaterende beken zijn, maar ook inlaten of lozingen via gemalen.



## 6 Referenties

G.F. Prinsen en B.P.J. Becker, Deltamodel 2010, Deltares project 1202134, Deelrapport 5a. Waterverdelingsnetwerk; Sobekschematisatie v360, Delft, 2010.

G.F. Prinsen, Achtergronddocument LSM 1.0. Deltares rapport 1205954-003-ZWS-0016, Delft, december 2012

G.F. Prinsen, Achtergronddocument LSM 1.04. Deltares rapport 1207765-004-ZWS-0001, Delft, maart 2013.

G.F. Prinsen, Achtergronddocument LSM light, Deltares rapport 1207765-000-ZWS-0008, Delft, augustus 2013.

C. Wesselius, Validatie LSM-light tbv Vonk, Deltares memo, Delft, september 2014.