

stowa

BIJLAGE K

VALIDATIE NHI

REGIO NOORD NEDERLAND



RAPPORT

2011
w02

BIJLAGE K
VALIDATIE NHI REGIO NOORD NEDERLAND

RAPPORT

2011
W02



Validatie NHI voor Noord Nederland

Jaar 2006

HJM Ogink

Opdrachtgever:
Stowa

Validatie NHI voor Noord Nederland

Jaar 2006

HJM Ogink

Rapport

maart 2011

Inhoud

1	Inleiding	3
1.1	Aanleiding validatie NHI	3
1.2	Aanpak.....	4
2	Friesland	7
2.1	Hydraulische infrastructuur en schematisatie	7
2.2	Neerslag en verdamping	9
2.2.1	Temporele variatie	9
2.2.2	Ruimtelijke variatie	11
2.2.3	Vergelijking NHI neerslag met opgetreden neerslag	13
2.2.4	Verdampingsberekening in NHI	16
2.2.5	Actuele verdamping	17
2.3	Oppervlaktewater.....	18
2.3.1	Waterinlaat en doorvoer.....	18
2.3.2	Afvoer	20
2.4	Grondwaterstanden	26
2.5	Chlorideconcentraties	34
3	Noorderzijvest	35
3.1	Hydraulische infrastructuur en schematisatie	35
3.2	Neerslag en verdamping	36
3.2.1	Gemeten en modelneerslag.....	36
3.2.2	Gemeten en berekende verdamping	37
3.3	Oppervlaktewater.....	39
3.3.1	Electraboezem	39
3.3.2	Fivelingoboezem	42
3.3.3	Noordelijke kustpolders.....	43
3.3.4	Peizerdiep	43
3.3.5	Overzicht	44
3.4	Grondwaterstanden	45
3.5	Chlorideconcentraties	48
4	Hunze en Aa's	49
4.1	Gebiedsindeling en kunstwerken	49
4.2	Oppervlaktewater.....	50
4.2.1	Duurswold	50
4.2.2	Oldambt.....	51
4.2.3	Eemskanaal.....	51

4.2.4	Veendam	52
4.2.5	Overzicht	54
4.3	Grondwaterstanden	55
5	Drentse kanalen.....	60
5.1	Hydraulische infrastructuur	60
5.2	Oppervlaktewater.....	61
5.2.1	Paradijssluis en Veenesluis in Drentse Hoofdvaart.....	61
5.2.2	Rogatsluis in de Hoogeveense Vaart.....	63
5.2.3	Ericasluis in Verlengde Hoogeveense Vaart	64
5.2.4	Stieltjeskanaalsluis	67
5.2.5	Overzicht	68
5.3	Grondwaterstanden	69
6	Conclusies en aanbevelingen.....	74
6.1	Conclusies	74
6.2	Aanbevelingen	76
7	Literatuur.....	78
Appendices		
A	Neerslag 2006, gemeten en volgens NHI.....	79
B	Windcorrectie neerslagmetingen	80

1 Inleiding

1.1 Aanleiding validatie NHI

In het deelprogramma Zoetwater van het Deltaprogramma, wordt de besluitvorming van het kabinet voorbereid over de zoetwatervoorziening op de lange termijn en de “geen-spijt”-maatregelen op korte termijn. Het deelprogramma wordt getrokken door DG Water van het ministerie van Verkeer en Waterstaat. De projectgroep is samengesteld uit DGW, LNV, VROM, IPO, VNG, Unie van Waterschappen en Rijkswaterstaat. Binnen het deelprogramma Zoetwater wordt voor de onderbouwing van de besluitvorming de “Landelijke verkenning zoetwatervoorziening” uitgevoerd door Rijkswaterstaat Waterdienst en Deltares. Zowel waterbeheerders als watergebruikers worden bij het proces betrokken d.m.v. informatiebijeenkomsten. De “Landelijke verkenning zoetwatervoorziening”, na voorbereidende activiteiten in 2009, zal in de periode 2010 – 2013 worden vervolgd met analyse van beleidsstrategieën.

In de beleidsanalyse wordt vanaf medio 2010 gebruik gemaakt van modellen. Het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) staat aan de basis van de watersysteemanalyses, vanwege de samenhang en consistente benadering van het Nederlandse watersysteem in dit instrumentarium. Het NHI is ontwikkeld door Deltares en Alterra en is op 1 april 2010 als versie 2.0 opgeleverd aan Rijkswaterstaat Waterdienst. Gedurende de looptijd van de “Landelijke verkenning zoetwatervoorziening” zal een jaarlijkse herziening van het NHI uitkomen. Met het NHI worden diverse scenario's voor bijvoorbeeld het klimaat en het landgebruik (c.q. de watervraag) doorgerekend. Ook effecten van maatregelen worden met het instrumentarium doorgerekend, waarmee het een belangrijke plaats inneemt in het hele proces dat moet leiden tot een kabinetsbesluit. Dat stelt twee belangrijke eisen aan het NHI:

- Het NHI moet inzetbaar zijn voor de waterverdelingsvraagstukken op nationale schaal;
- Het NHI moet inzetbaar zijn voor het bepalen van de regionale watervraag en -waterbeschikbaarheid.

Het NHI is goed inzetbaar op nationale schaal als het ook de regionale watervraag goed berekent. Met de term „inzetbaar” wordt bedoeld dat effecten van klimaatveranderingen en effecten van maatregelen met voldoende nauwkeurigheid op regionale schaal kunnen worden berekend. De term „voldoende nauwkeurigheid” is tot op heden niet nader gespecificeerd, maar houdt minimaal in dat de modelresultaten voor de huidige situatie door de regionale waterbeheerders worden herkend en erkend.

De regionale waterbeheerders hebben de volgende belangen bij een goed functionerend NHI:

- Het NHI is de basis voor een kabinetsbesluit over de waterverdeling in Nederland op de lange termijn. Verder zal het NHI door Rijkswaterstaat in geval van actuele droogte worden ingezet voor advies aan de LCW over de operationele waterverdeling. De waterschappen hebben als belanghebbenden bij de waterverdeling (zowel beleidsmatig als operationeel) daarom een belang bij een goed functionerend NHI.
- Het NHI biedt potentieel belangrijke baten voor de regionale waterbeheerders:
 - Met het NHI zijn regio-overstijgende uitspraken mogelijk over effecten van inrichtingsmaatregelen en klimaatscenario's;
 - Er kunnen efficiencyvoordelen worden gehaald bij de bouw en het beheer van regionale hydrologische modellen;

- De consistentie van het door de regionale waterbeheerders ontwikkelde beleid wordt beter gewaarborgd.

De STOWA vindt het daarom van groot belang dat het presteren van het NHI in de regio wordt getoetst. De berekeningsresultaten van het NHI worden regionaal getoetst aan de volgende hydrologische waarnemingen:

- De opgelegde neerslag hoeveelheden in relatie tot de werkelijk gevallen hoeveelheden neerslag;
- De opgelegde referentieverdamping in relatie tot de werkelijke referentieverdamping;
- Aanvoeren en afvoeren op hoofdmeetpunten;
- Actuele verdamping op basis van remote sensing beelden van de actuele verdamping en actuele verdampingswaarden bepaald door Alterra;
- Gemeten freatische grondwaterstanden (met inachtneming van de resolutie van het NHI), met name de dynamiek en het recessieverloop in droge periodes als indicator voor de juistheid waarmee de fysische processen zijn gemodelleerd, en
- Chlorideconcentraties van het oppervlaktewater op de hoofdmeetpunten.

Het betreft hier de toetsing van de NHI versie 2.0, die sinds april 2010 in gebruik is. De toetsing vindt plaats voor de droge zomers van 2003 en 2006 (periode 1 april – 1 oktober), en aanvullend voor de andere maanden in het jaar om het complete hydrologische gedrag te kunnen beoordelen. De toetsing wordt waar sprake is van regionale droogtestudies gekoppeld aan de betreffende studiegebieden.

1.2 Aanpak

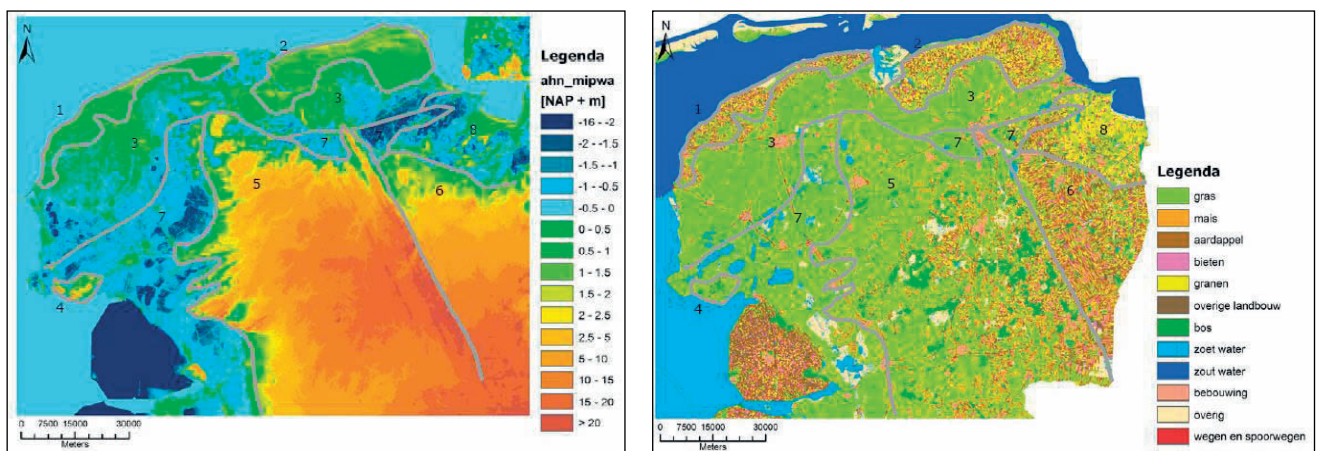
Voor Noord Nederland is het toetsingstraject, zoals hiervoor is beschreven, voor het jaar 2003 al uitgevoerd door HKV LJUN IN WATER (HKV 2009 en HKV 2010). De toetsing voor het jaar 2006 wordt in dit rapport besproken.

Het gebied omvat de beheersgebieden van de waterschappen Fryslân, Noorderzijlvest, Hunze en Aa's, Reest en Wieden en Velt en Vecht in de provincies Friesland, Groningen en Drenthe, zie Figuur 1.1. Voor een gebiedsbeschrijving van Noord-Nederland wordt verwezen naar HKV (2010). Samengevat kunnen op basis van hoogte, bodemtype en landgebruik de volgende 8 deelgebieden worden onderscheiden (zie ook Figuur 1.2):

- 1 Friese en Groningse waddenkustgebieden (gebieden 1 & 2) bestaande uit goedgedraineerde zavel en kleigronden, vooral in gebruik voor akkerbouw.
- 2 Laaggelegen kleigebieden (gebied 3) met klei en zavelgronden in gebruik als grasland en het kleigebied in Oost Groningen (gebied 8) voor verbouw van graan.
- 3 Gaasterland (gebied 4) en hoge zandgronden op het Drents Plateau, oostelijk begrensd door de Hondsrug (gebied 5), in gebruik als grasland maar ook voor akkerbouw.
- 4 Veenkoloniën (gebied 6), ontgonnen hoogveengebied met een goed gedraineerd dekzand aan het oppervlak, in gebruik voor akkerbouw, en
- 5 Veengebied (gebied 7), vooral in midden en zuiden van Friesland, overwegend in gebruik als grasland.



Figuur 1.1 Beheersgebieden van de waterschappen Fryslân, Noorderzijlvest, Hunze en Aa's, Reest en Wieden en Velt en Vecht in de provincies Friesland, Groningen en Drenthe (bron: HKV, 2010)



Figuur 1.2 Hoogte- en landgebruikkaart van Noord-Nederland (bron: HKV, 2010)

Zoals in sectie 1.1 is aangegeven worden de resultaten van het NHI voor Noord-Nederland getoetst op de volgende waarnemingen:

- 1 Neerslag, als gebruikte randvoorwaarde;
- 2 Verdamping:
 - Referentieverdamping als gebruikte randvoorwaarde, en
 - Actuele verdamping;
- 3 Aan- en afvoer van oppervlaktewater,
- 4 Freatische grondwaterstandvariaties, en
- 5 Chlorideconcentraties.

De toetsing wordt in de volgende hoofdstukken 2 t/m 5 besproken voor:

- Friesland (Friese boezem, en de afgekoppelde gebieden Dongeradeel en Het Bildt/Roptazijl),
- Noorderzijlvest (Electraboezem, Fivelingoboezem, Noordelijke Kustpolders en Peizerdiep),
- stroomgebieden Hunze en Aa's, en
- de Drentse Kanalen, in het beheersgebied van de waterschappen Reest en Wieden en Vecht en Veld.

Merk op dat niet voor alle onderscheiden gebieden voor alle 5 genoemde toetsvariabelen gegevens zijn ontvangen of als bruikbaar zijn beoordeeld. De geleverde gegevens zijn echter ruimschoots voldoende voor een analyse. De conclusies zijn samengevat in hoofdstuk 6 met aanbevelingen voor mogelijke verbeteringen.

De auteur is Ir R.P. Versteeg van HKV erkentelijk voor zijn commentaar op het concept van dit rapport.

2 Friesland

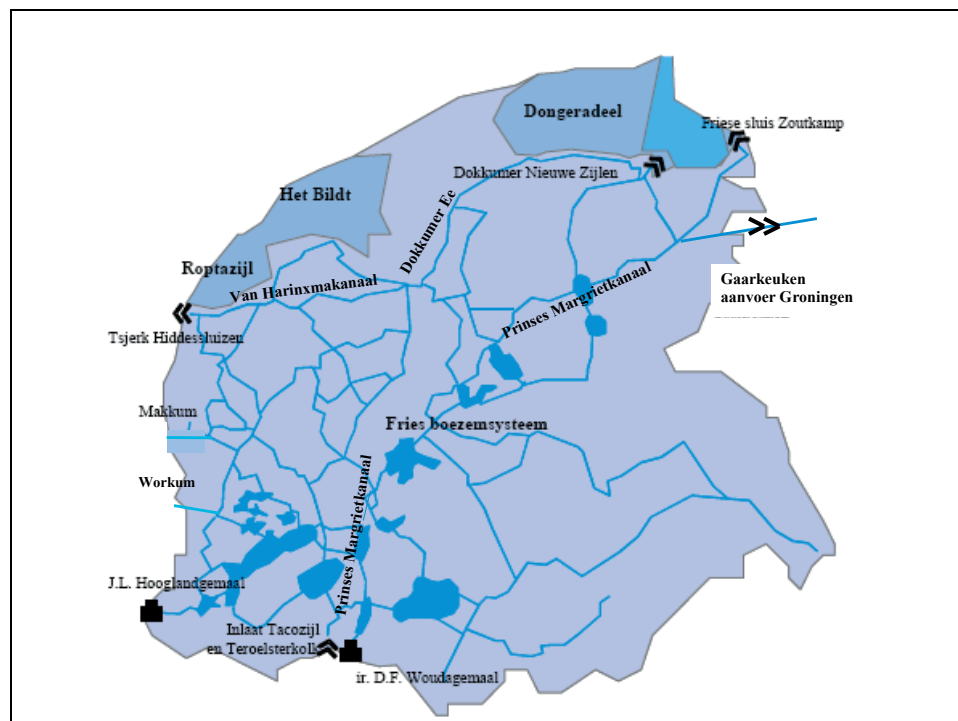
2.1 Hydraulische infrastructuur en schematisatie

Met betrekking tot de afwatering worden in Friesland 3 gebieden onderscheiden (zie Figuur 2.1, t.w.

- 1 De Friese boezem,
- 2 Het Bildt en Roptazijl, en
- 3 Dongeradeel.

De laatste twee omvatten de zogenoemde Afgekoppelde gebieden, d.w.z. gebieden die direct afwateren op de Waddenzee. De totale oppervlakte van het beheersgebied van het Wetterskip Fryslân bedraagt 333.980 ha, waarvan 302.220 ha afwatert op de Friese boezem; de rest, 31.760 ha, omvat de Afgekoppelde gebieden. De hoofdstructuur van de waterwegen van het Friese boezemsysteem omvat:

- het Prinses Margrietkanaal van Lemmer via het Sneeker- en Bergumermeer naar Gerkesklooster op de grens met Groningen, overgaand in het van Starckenborgh Kanaal,
- het Van Harinxmakanaal, van Harlingen via Leeuwarden bij Garyp aansluitend op het Prinses Margrietkanaal, en
- de Dokkumer Ee, die bij Leeuwarden verbonden is met het Van Harinxmakanaal en afwatert op het Lauwersmeer.



Figuur 2.1 Hydraulische infrastructuur van Friesland

Tijdens droge perioden wordt op de Friese boezem water ingelaten uit het IJsselmeer vooral bij Lemmer en Stavoren en een klein deel via schutsluizen te Makkum en Workum. Een deel van het water wordt verder getransporteerd naar Groningen (bij Gaarkeuken op het Van Starckenborgkanaal), naar de Noordoostpolder (bij Kuinre op de

Kuindervaart) en op diverse locaties naar de Afgekoppelde gebieden Het Bildt/Roptazijl en Dongeradeel.

In perioden van waterbezwaar voert de Friese boezem in normale situaties af op het Lauwersmeer via de spuisluisen Dokkumer Nieuwe Zijlen en de Friese sluis bij Zoutkamp en op de Waddenzee via de Tsjerk Hiddessluizen te Harlingen. Bij verdere peilstijgingen wordt ook geloosd op het IJsselmeer, eerst via het J.L. Hooglandgemaal te Stavoren en bij nog groter waterbezwaar ook via het stoomgemaal ir. D.F. Wouda in Lemmer.

Een overzicht van de inlaat-, afvoer- en doorvoerwerken is gegeven in Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Overzicht van kunstwerken in Friesland voor inlaat, afvoer en doorvoer van water

Gebied	Kunstwerk	Locatie	Laat in van / Loost op	Capaciteit (m ³ /s)
Friese boezem				
Inlaat	Schutsluis Makkum	Makkum	IJsselmeer	1,5
	Schutsluis Workum	Workum	IJsselmeer	-
	J.L. Hooglandgemaal	Stavoren	IJsselmeer	10
	Teroelsterkolk	Lemmer	IJsselmeer	38
	Tacozijl	Lemmer	IJsselmeer	30
Afvoer	Dokkumer Nieuwe Zijlen	Dokkumer Nieuwe Zijlen	Lauwersmeer	71
	Friese sluis	Zoutkamp	Lauwersmeer	13
	Tsjerk Hiddessluizen	Harlingen	Waddenzee	18
	Grote Gemeentesluis	Harlingen	Waddenzee	-
	Kleine Gemeentesluis	Harlingen	Waddenzee	-
	J.L. Hooglandgemaal	Stavoren	IJsselmeer	99
	ir. D.F. Woudagemaal	Lemmer	IJsselmeer	71
Doorvoer	inlaat Groningen	Gaarkeuken	Van Starckenborgkanaal	24-32
	inlaat Noordoostpolder	Kuinre	Kuindervaart	1,2
	inlaat Het Bildt	Oude Leye, Wier	-	4,5
	inlaat Roptazijl	Dongjum, Tzummarum, Herbayum, Kolthofpolder	-	1,4
	inlaat Dongeradeel	Holwerd, Dokkumer Ee	-	> 0,22
Afgekoppeld gebied Het Bildt / Roptazijl				
Inlaat	inlaat Het Bildt	Oude Leye, Wier	Friese boezem	totaal voor het Bildt en Roptazijl ± 6
	inlaat Roptazijl	Dongjum, Tzummarum, Herbayum, Kolthofpolder	Friese boezem	
Afvoer	H.G. Miedemagemaal	Zwarte Haan/St-Annapar.	Waddenzee	11,7
	gemaal Ropta	Sexbierum/Wijnaldum	Waddenzee	7,7
Afgekoppeld gebied Dongeradeel				
Inlaat	inlaat Dongeradeel	Holwerd, diverse locaties langs Dokkumer Ee	Friese boezem	> 0,22
Afvoer	gemaal Ezumazijl	Ezumazijl	Lauwersmeer	15

In het NHI is Friesland geschematiseerd in 3 districten (HKV, 2009):

- District 1 = gebied dat afwatert op de Friese boezem = Friesland – Afgekoppelde gebieden
- District 2 = het Afgekoppelde gebied Het Bildt en Roptazijl, en
- District 109 = het Afgekoppelde gebied Dongeradeel

District 1 loost en onttrekt alleen water op/aan knoop 1125, die de boezem van Friesland weergeeft. De districten 2 en 109 onttrekken ook hun water aan de Friese boezem. District 2 loost op de Waddenzee en Dongeradeel (district 109) op het Lauwersmeer.

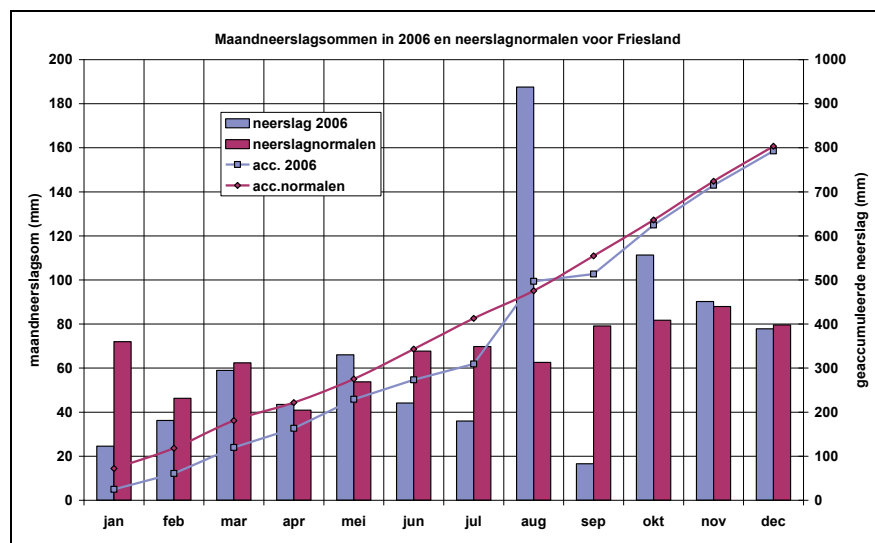
Bij waterinlaat onttrekt knoop 1125 al het water dat voortvloeit uit de watervraag uit het IJsselmeer, conform de werkelijkheid. Hiervan wordt 50% doorgevoerd naar Groningen.

Bij waterbezwaar wordt in het model bij afvoeren van de Friese boezem tot 60 m³/s 70% afgevoerd naar het Lauwersmeer en 30% naar de Waddenzee. Bij afvoeren van de Friese boezem boven de 60 m³/s wordt 60 m³/s afgevoerd naar het Lauwersmeer en de Waddenzee volgens een verdeling van resp. 85% en 15% en wordt alles boven de 60 m³/s vervolgens afgevoerd naar het IJsselmeer.

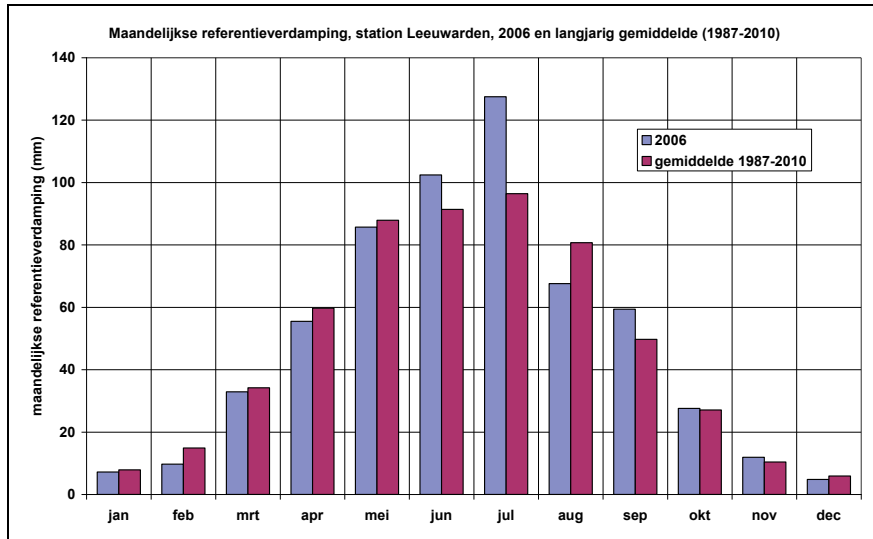
2.2 Neerslag en verdamping

2.2.1 Temporele variatie

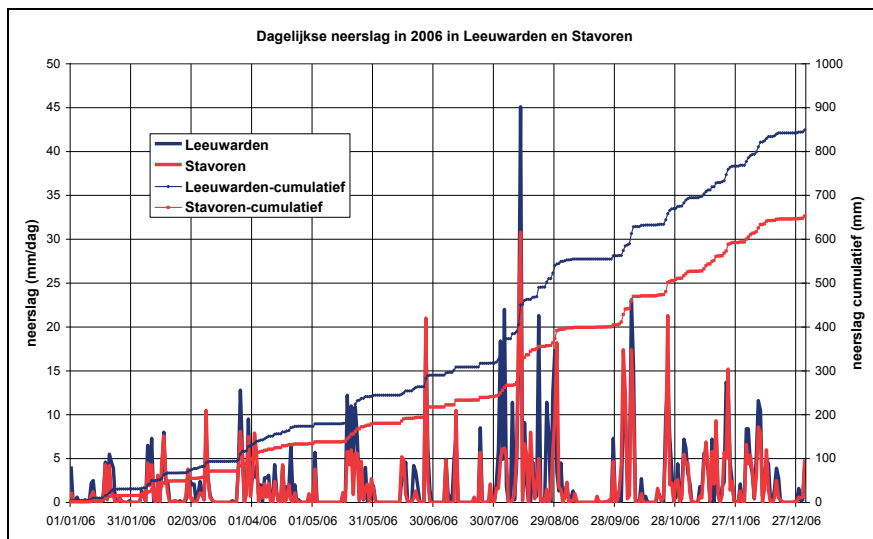
De neerslagsom over het hele kalenderjaar 2006 bedroeg 793 mm. Deze som verschilt slechts weinig van de jaarnormaal 803 mm (gemiddelde 1971-2000). Op basis van de jaarsom was 2006 dus een gemiddeld jaar. De verdeling binnen het jaar laat echter een duidelijk afwijkend beeld zien: de maanden mei, oktober en vooral augustus waren beduidend natter dan normaal terwijl januari, juni, juli en vooral september veel droger zijn geweest, zie Figuur 2.2. In lijn hiermee was de verdamping in juni, juli en september boven normaal en in augustus beneden normaal, zie Figuur 2.3. De dagelijkse variatie in de neerslag en verdamping was groot, zoals te zien is in Figuur 2.4 en Figuur 2.5. Zij laten ook zien dat de verschillen in de neerslag van plaats tot plaats groot was, in tegenstelling tot de variatie in de verdamping. Dit heeft ertoe geleid dat de ruimtelijke variatie in de neerslagtekorten groot is geweest, zoals geïllustreerd in Figuur 2.6 aan de hand van de potentiële tekorten in het groeiseizoen te Stavoren en Leeuwarden. Het potentiële neerslagtekort was eind juli op beide locaties maximaal en handhaafde zich in Stavoren tot het einde van het groeiseizoen, terwijl het in Leeuwarden vrijwel verdween door de hoge neerslag in augustus ter plaatse.



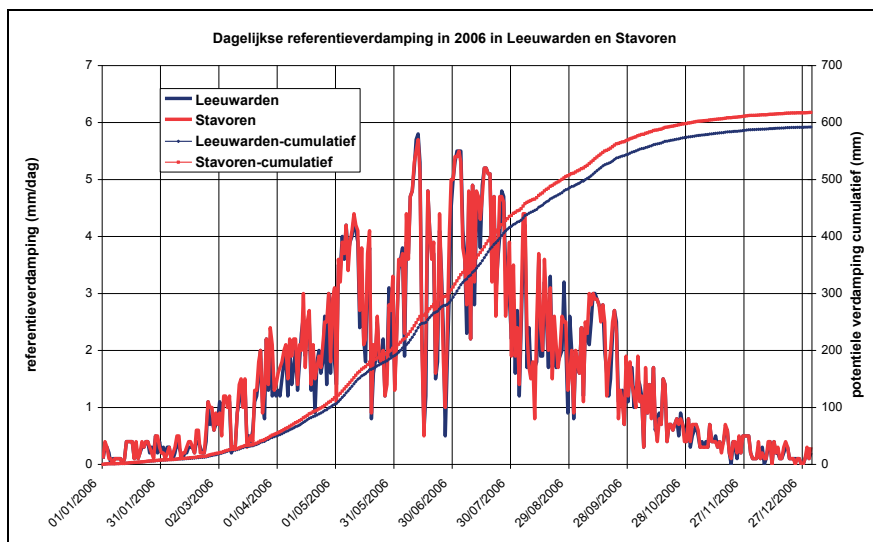
Figuur 2.2 Maand- en voortschrijdende neerslagsommen in 2006 en maandnormalen voor Friesland



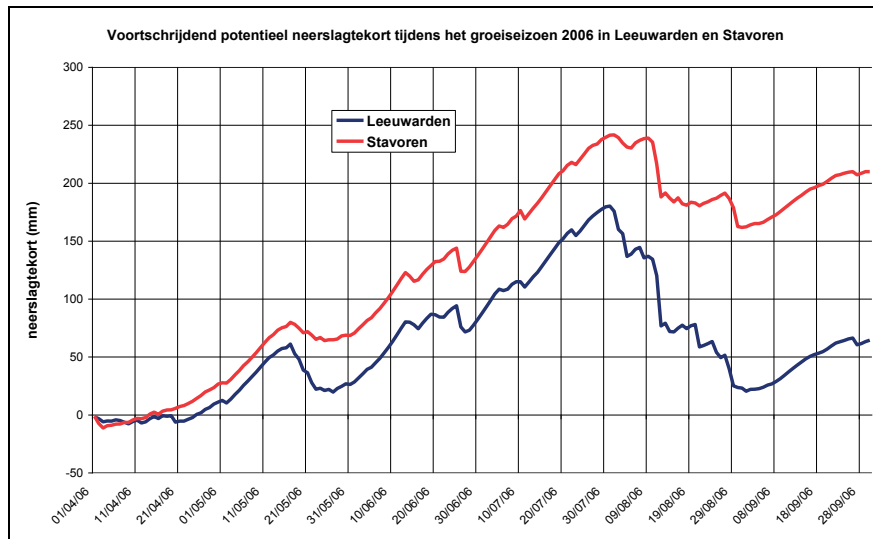
Figuur 2.3 Referentie maandverdamping, station Leeuwarden, in jaar 2006 en gemiddelde van de periode 1987-2010



Figuur 2.4 Dagelijkse neerslagsom in 2006, stations Leeuwarden en Stavoren



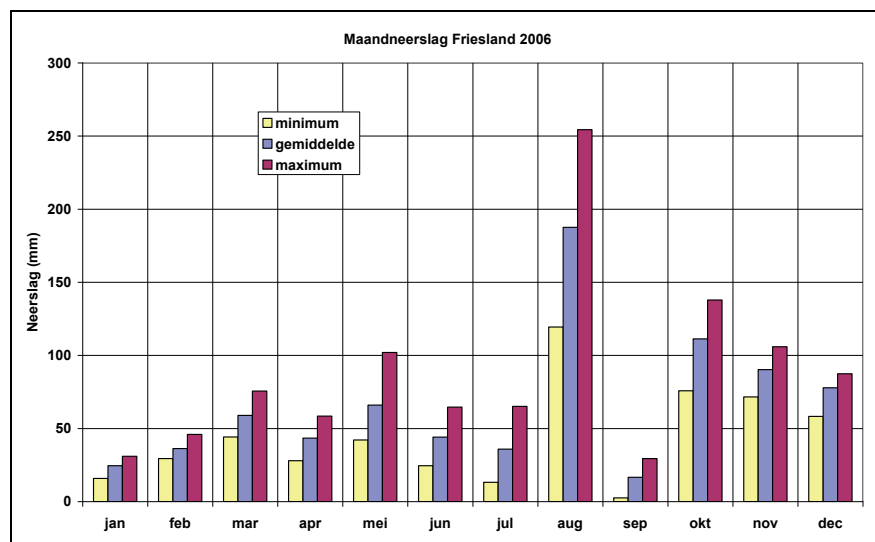
Figuur 2.5 Dagtotalen referentie verdamping in 2006, stations Leeuwarden en Stavoren



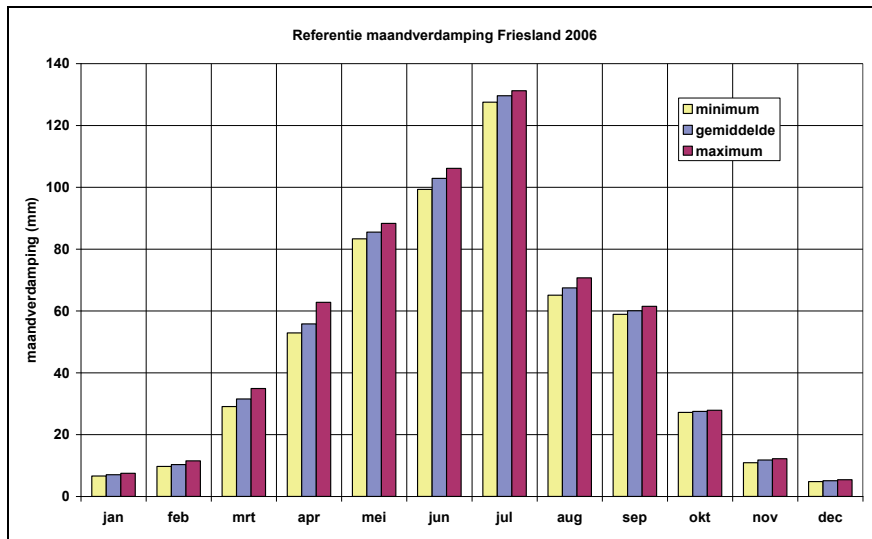
Figuur 2.6 Voortschrijdend potentieel neerslagtekort tijdens groeiseizoen van 2006 in Leeuwarden en Stavoren

2.2.2 Ruimtelijke variatie

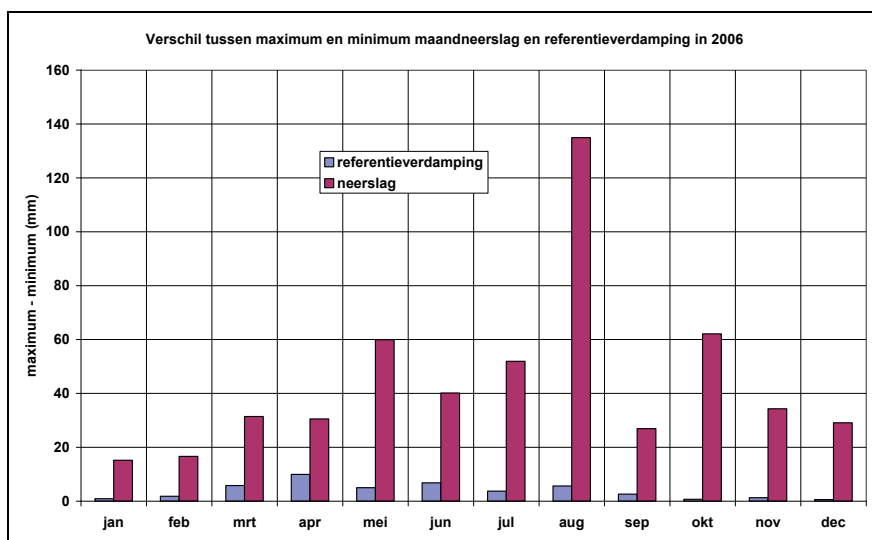
Zoals de neerslagsommen van Stavoren en Leeuwarden al aangaven waren de plaatselijke verschillen in de maandtotalen groot. Dit blijkt ook uit de verschillen tussen de minimale en maximale afgetapte maandelijkse hoeveelheden in Figuur 2.7, waarbij de minimum waarden met name op de stations in het westen van de provincie zijn opgetreden. De verschillen tussen de referentie maandverdamping gemeten op de stations waren beperkt (Figuur 2.8). Zij zijn een orde kleiner dan de variatie in de neerslag (Figuur 2.9). Voor de verdamping traden de maximale waarden juist in het westen van de provincie (Stavoren) op. Gezien de verschillen in orde van grootte tussen de ruimtelijke variatie van de neerslag in vergelijking met die van de verdamping ligt de nadruk hierna op de weergave van de spreiding in de neerslag zoals opgetreden en zoals ingevoerd in het NHI.



Figuur 2.7 Gemiddelde, minimum en maximum maandneerslagsommen in 2006 van alle KNMI-neerslagstations in Friesland



Figuur 2.8 Gemiddelde, minimum en maximum referentie maandverdamping in 2006 van alle KNMI-klimatologische stations in en rondom Friesland

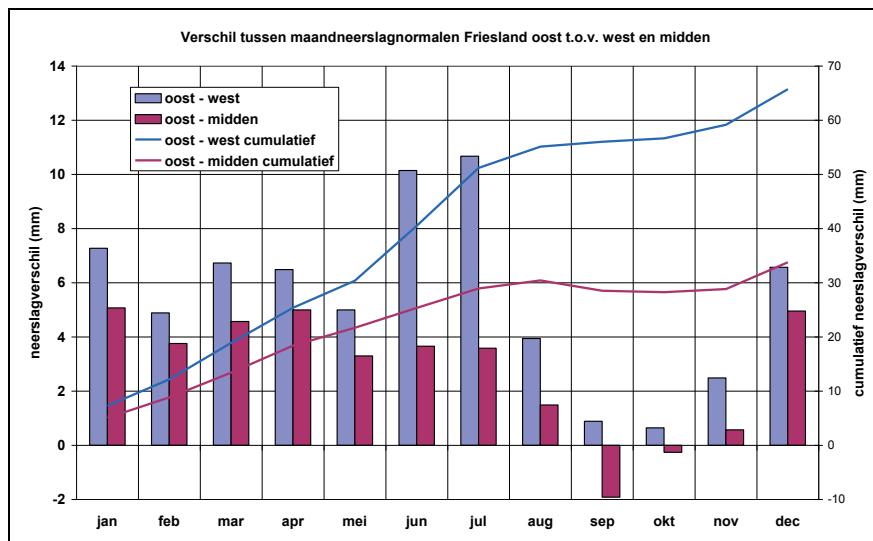


Figuur 2.9 Verschil tussen maximum en minimum maandsommen neerslag en referentie verdamping gemeten op de KNMI neerslag en meteorologische stations in en rond Friesland in 2006

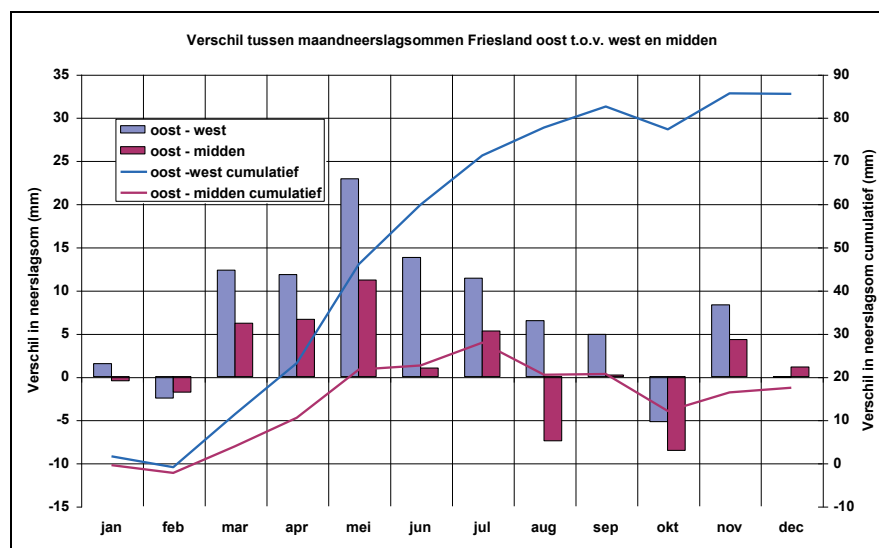
Gemiddeld genomen neemt de neerslag in Friesland van west naar oost toe. Dit geldt voor alle maandnormalen met uitzondering van de herfstmaanden, zoals in Figuur 2.10 is aangegeven. In 2006 was die west-oost trend in de lente en in de zomermaanden sterker dan gemiddeld, maar zij was in de herfst en in de winter vrijwel afwezig (Figuur 2.11, let op de schaalverschillen tussen de figuren). Vergelijking van voorgaande figuren geeft aan dat in afzonderlijke jaren de ruimtelijke variatie sterk kan afwijken van het gemiddelde beeld.

Dit heeft consequenties voor de kwaliteit van de schatting van de ruimtelijke spreiding van de neerslag die in het NHI wordt toegepast. Deze is gebaseerd op de gemeten neerslag bij de hoofdstations, met een Thiessennetwerk toegekend aan de rekencellen en vervolgens per rekencel gecorrigeerd voor de ruimtelijke verdeling volgens de jaarnormalen van het neerslagennetwerk (zie Deelrapport Neerslag en Verdamping, NHI, 2008, en Appendix A). Deze procedure is voor het analyseren van tendensen in het gemiddeld gedrag over lange perioden mogelijk aanvaardbaar, maar zeker niet voor het analyseren van extremen en analyse van afzonderlijke jaren. De analyse geeft aan dat

de NHI-procedure in afzonderlijke maanden lokaal tot grove over- zowel als onderschatting van de neerslag kan leiden, ook al zouden de jaarsommen gelijk zijn.



Figuur 2.10 Verskil maandneerslagnormalen in Friesland tussen de stations in het oosten van de provincie met die in het westen en het midden (west=westelijk van de lijn Dronrijp-Sneek, midden=tussen Dronrijp-Sneek en Dokkum-Wolvega, oost=oostelijk van de lijn Dokkum-Wolvega)



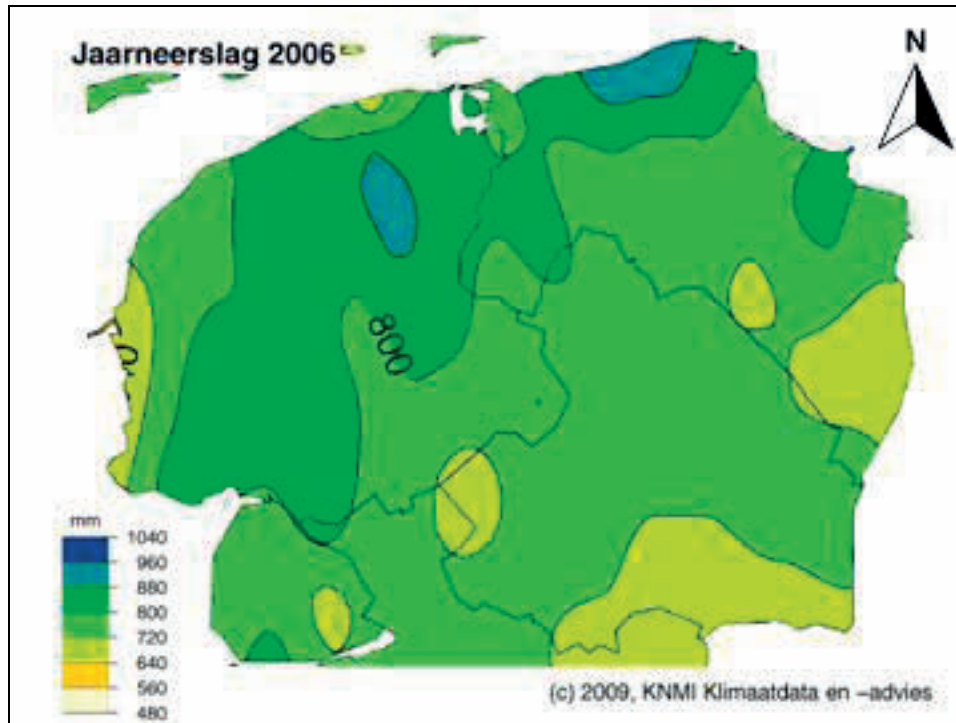
Figuur 2.11 Verskil maandneerslagsommen 2006 in Friesland tussen de stations in het oosten van de provincie met die in het westen en het midden

2.2.3 Vergelijking NHI neerslag met opgetreden neerslag

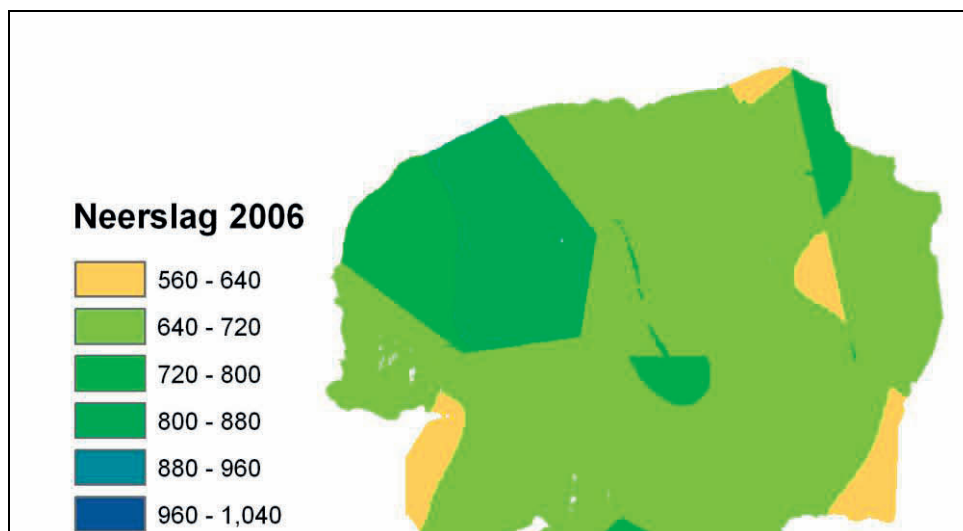
De ruimtelijke verdeling van de totale neerslagsom voor 2006 zoals door het KNMI is bepaald op basis van puntmetingen van alle beschikbare 8-uurs neerslagstations in Noord-Nederland is weergegeven in Figuur 2.12. De figuur laat een grote variatie zien in de jaarsom. Voor de provincie Friesland bedroeg de jaarsom 793 mm.

Volgens het NHI bedroeg de jaarsom voor heel Friesland in 2006 747 mm, d.w.z. 46 mm lager dan de beste schatting volgens het KNMI. In Figuur 2.13 is de NHI-verdeling van de jaarneerslag 2006 voor Noord-Nederland getoond, zoals bepaald is op basis van de puntwaarnemingen op de hoofdstations met een ruimtelijke correctie conform de jaarnormalen, waarbij de neerslag in Friesland bepaald is door de stations Lauwersoog,

Leeuwarden, Stavoren, Marknesse, Eelde en een tipje Hoogeveen. De scherpe overgangen geven duidelijk de contouren weer van de gebruikte Thiessen polygonen. De verschillen in kleuren tussen de KNMI en NHI figuren laat eenvoudig zien dat in het model in Noord-Nederland de jaarsom vaak kleiner en slechts op enkele locaties gelijk is aan de KNMI jaarneerslagsom.



Figuur 2.12 Jaarneerslag 2006 Noord-Nederland volgens het KNMI



Figuur 2.13 Jaarneerslag 2006 Noord-Nederland zoals bepaald in NHI

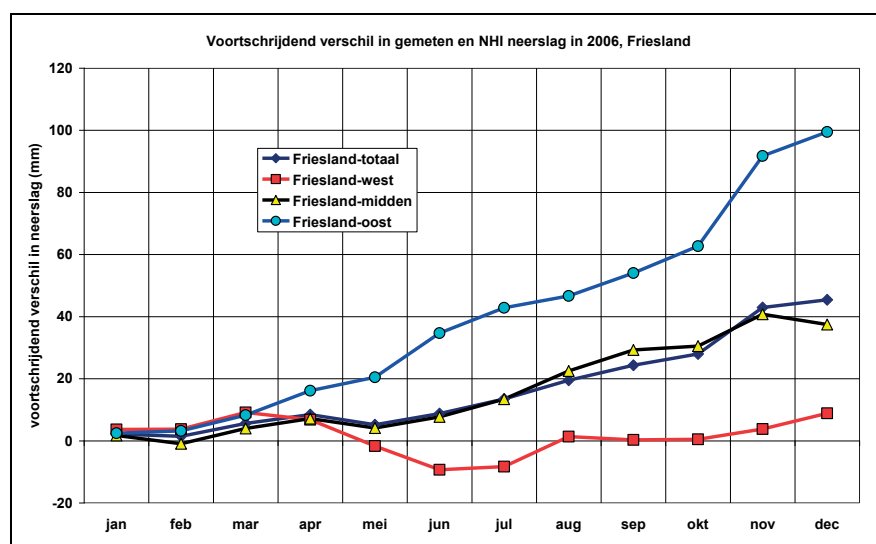
Het is onwaarschijnlijk dat het wel of niet invoeren van windcorrecties op de gemeten neerslagsommen hier een rol speelt. In de KNMI-toelichting bij de meetgegevens wordt geen melding gemaakt van windcorrecties. Alle metingen refereren aan standaard regenmeters, waarvan de bovenrand van de opvangtrechter zich op 40 cm boven het maaiveld bevindt en een opvangtrechteropening heeft van 2 dm². De bovenrand van de trechter van de zelfregistrerende regenmeters bevinden zich eveneens op 40 cm hoogte boven het maaiveld maar heeft een opening van 4 dm². Indien voor het NHI windcorrecties doorgevoerd zouden zijn zou die neerslag juist hoger moeten zijn

geweest dan die van de standaardregenmeters. De NHI invoerbestanden dienen hiervoor vergeleken te worden met de database van het KNMI.

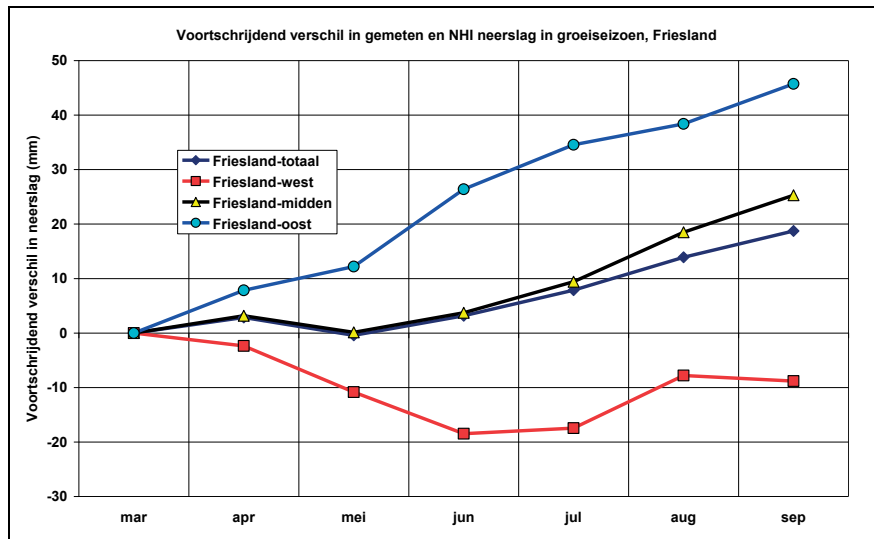
Studies tonen aan dat het wind effect op de gemeten neerslag afhankelijk is van het type regenmeter, de windsnelheid, druppelgrootte verdeling en de neerslagintensiteit. De meetfouten zijn het grootst bij hoge windsnelheden en lage neerslagintensiteiten. In Appendix B is een overzicht gegeven van onderzoek naar effecten van wind op de neerslagmeting. Op basis van de resultaten, die in het Hupselse Beekgebied in de jaren zeventig zijn gevonden, zou de correctie voor een 4 dm² regenmeter op de standaard meethoogte in 2006 voor het meteorologische station Leeuwarden een ruim 7% hoger jaartotaal hebben opgeleverd, terwijl het jaartotalen van de 2 dm² regenmeters ongeveer 4% omhoog gaan met de windcorrectie. Een correctie voor windinvloeden op de neerslagcijfers is dus zeer gewenst. Merk op dat de grotere correctie voor de 4 dm² regenmeter een deel (3,5%) van het verschil tussen de NHI neerslag en de standaard regenmeterschatting verklaart.

Nadere analyse van de verschillen tussen waargenomen en modelneerslag toont aan dat de modelschatting voor het westen van Friesland de werkelijkheid dicht benadert (zie Figuur 2.14 en Figuur 2.15), maar dat de verschillen voor het midden en vooral voor het oosten van de provincie aanzienlijk zijn en zullen leiden tot een overschatting van de watervraag bij optredende tekorten. Voor het oostelijk deel is het verschil tussen beste schatting en de modelwaarde opgelopen tot 46 mm voor het groeiseizoen en tot 100 mm over het gehele jaar. In hoofdstuk 3 wordt aangetoond dat de verschillen voor Noord-Groningen lokaal nog veel groter zijn.

Samenvattend luidt de conclusie dat de gevolgde procedure in het NHI voor extremen en regionale analyses niet acceptabel is. De NHI invoer kan echter eenvoudig worden aangepast door gebruik te maken van het volledige netwerk van neerslagstations in Nederland. Alle data zijn eenvoudig beschikbaar via het KNMI. Voorts dient men na te gaan of de gegevens gecorrigeerd zijn voor windinvloeden.



Figuur 2.14 Geaccumuleerd verschil in gemeten en modelneerslag over geheel 2006 voor Friesland



Figuur 2.15 Geaccumuleerd verschil in gemeten en modelneerslag over het groeiseizoen 2006 voor Friesland

2.2.4 Verdampingsberekening in NHI

In het NHI is voor de verdampingsberekening bij de geanalyseerde simulaties de referentiegewasverdamping volgens Makkink ET_{ref} het vertrekpunt geweest (SIMGRO 7.1.0 manual, Theory and model implementation, van Walsum et al., 2010). Merk op dat NHI v2.0 ook potentiële gewasverdamping met de Penman-Monteith methode toelaat (in twee varianten: direct met de relevante gewaskenmerken of indirect als een referentieverdamping met een gewasfactor), maar hiervoor is niet gekozen. Met de Makkink referentie verdamping worden op dagbasis 4 hulpvariabelen bepaald:

- ET_{w0} = verdamping van een nat gewasoppervlak (wet canopy)
- ET_{d0} = verdamping van een droog gewasoppervlak (dry canopy)
- E_{w0} = verdamping van een natte kale grond (wet, bare soil)
- ET_0 = verdamping van plassen op het oppervlak (ponded soil)

Deze grootheden worden verkregen door de referentieverdamping te vermenigvuldigen met een „gewasfactor“, die voor een gewasoppervlak afhangt van het soort gewas en het groeistadium (seizoen), c.q. type grond. De totale verdamping E_{tot} in het NHI is de som van 4 verschillende processen:

- verdamping van interceptiewater E_i ,
- transpiratie van gewas T_a ,
- verdamping van water in plassen E_{pond} , en
- verdamping van kale grond E_a .

$$E_{tot} = E_i + T_a + E_{pond} + E_a \quad (2.1)$$

Per rekentijdstap wordt eerst de verdamping van interceptiewater berekend, E_i . Deze is een functie van de gewasbedekkingsgraad van de boden, de vullingsgraad van het gewasinterceptiereservoir en de potentiële verdamping van een nat gewasoppervlak ET_{w0} . De verhouding $W_{frac} = E_i / ET_{w0}$ geeft de relatieve duur van interceptiewaterverdamping binnen een tijdstap aan. Die duur wordt in mindering gebracht op de gewastranspiratie en de bodemverdamping.

Vervolgens wordt de potentiële bodemverdamping E_p bepaald op basis van de potentiële verdamping van een natte, kale grond E_{w0} gecorrigeerd voor de duur dat interceptieverdamping actief is en een factor die de beschutting van de bodem door gewasbedekking voor instraling weergeeft.

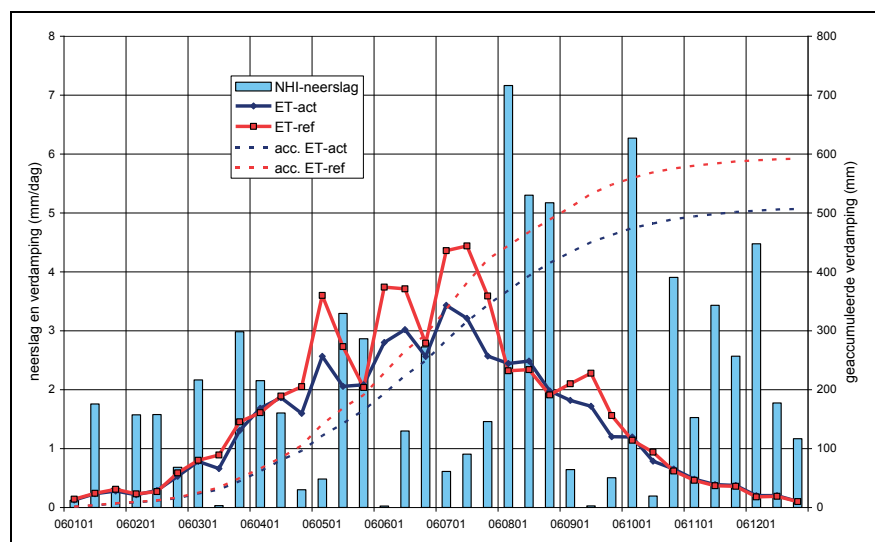
De potentiële transpiratie T_p volgt uit de potentiële verdamping van een droog gewasoppervlak ET_{w0} , gecorrigeerd voor de duur dat interceptieverdamping actief is en verminderd met de potentiële bodemverdamping E_p . De actuele transpiratie T_a wordt berekend uit de potentiële transpiratie gecorrigeerd met een bodemvochtcorrectiefactor volgens het concept van Feddes: potentieel binnen grenzen en daarbuiten lineair afnemend.

De verdamping van water uit plassen E_{pond} is potentieel ET_0 , tenzij de verdamping groter is dan de voorraad in de plas. In het laatste geval wordt de actuele verdamping gelijk wordt gesteld aan de beschikbare waterschijf.

Tenslotte wordt de actuele bodemverdamping E_a bepaald volgens de methode van Boesten en Stroosnijder. De verdamping is potentieel als de netto neerslag groter is dan E_p . In perioden zonder neerslag blijft de verdamping eerst nog potentieel totdat een drempelwaarde wordt overschreden, waarna de verdamping terugloopt als functie van een bodemparameter en de wortel uit de geaccumuleerde potentiële verdamping sinds het begin van de regenloze periode.

2.2.5 Actuele verdamping

De berekende opgetreden gewasverdamping in Friesland is weergegeven in Figuur 2.16 tezamen met de referentieverdamping en de neerslag. De referentieverdamping (= 592.2 mm in 2006) is die van Leeuwarden omdat de gebiedswaarde niet in de uitvoer van het NHI voorkwam. Deze referentieverdamping is echter een goede benadering voor de rest van de provincie omdat de ruimtelijke variatie in deze grootheid gering is, zoals eerder is aangetoond.



Figuur 2.16 Actuele en referentiegewasverdamping 2006 in Friesland volgens NHI

De figuur geeft aan dat de berekende werkelijke verdamping in perioden met neerslag gelijk is aan de referentieverdamping. Kennelijk is een gewasfactor van 1.0 toegepast, zoals geldt voor gras. De referentieverdamping is hier dus vergelijkbaar met de potentiële verdamping. In de regenarme decades is de verdamping steeds lager dan de potentiële verdamping; er is dan sprake geweest van een watertekort ondanks de

aanvoer van water uit het IJsselmeer in die periodes. Er is dus volgens het model schade opgetreden aan de gewassen. Het beeld van de actuele verdamping t.o.v. de potentiële ziet er realistisch uit. Voor een goede verificatie van de verdamping zijn echter metingen nodig. Die zijn in 2006 in Friesland echter niet uitgevoerd, wel in Lutjewad in Groningen in de buurt van Lauwersoog, juist over de provinciegrens, zie hoofdstuk 3.

Op jaarbasis berekent het NHI voor 2006 een actuele verdamping van 506.9 mm. Uitgaande van dezelfde grondwaterstanden en bodemvochtcondities aan het begin en einde van 2006 luidt de waterbalans voor Friesland op jaarbasis als volgt:

$$\text{Neerslag} - \text{verdamping} - \text{afvoer} + \text{inlaat} + \text{netto kwel} = 0$$

Met de beschikbare uitvoer van het NHI zijn alle termen van de balans bekend behalve de netto kwel (= kwel – wegzijging). De balans in mm waterschijf geeft:

$$747.2 \text{ (neerslag)} - 506.9 \text{ (verdamping)} - 349.9 \text{ (afvoer)} + 93.4 \text{ (inlaat)} + \text{netto kwel} = 0$$

Een netto kwel van 16.2 mm is nodig om de balans sluitend te maken. Een positieve netto kwel is aannemelijk door toevoer van grondwater van het Drents plateau en vanuit de Waddenzee.

Op basis van de beschikbare metingen en de berekende netto kwel uit het NHI kan de volgende jaarbalans worden gemaakt:

$$792.6 \text{ (neerslag)} - \text{verdamping} - 348.4 \text{ (afvoer)} + 65.3 \text{ (inlaat)} + 16.2 \text{ (netto kwel)} = 0$$

Deze balans heeft een actuele verdamping nodig van 525.7 mm om te sluiten. Deze waarde is 4% hoger dan het NHI heeft berekend. Dit is alleszins binnen de nauwkeurigheidmarges waarmee de verdamping kan worden bepaald. Enige voorzichtigheid is echter geboden omdat deze uitspraak natuurlijk mede wordt bepaald door de berekende waarde van de netto kwel.

2.3 Oppervlaktewater

2.3.1 Waterinlaat en doorvoer

Water wordt vanuit het IJsselmeer ingelaten op de Friese boezem bij Lemmer, Stavoren, Workum en Makkum. Een deel hiervan wordt verder getransporteerd naar Groningen bij Gaarkeuken en de Noordoostpolder bij Kuinre en in Friesland naar de Afgekoppelde gebieden Het Bildt/Roptazijl en Dongeradeel (zie Tabel 2.1). Op jaarbasis bedroeg de waargenomen inlaat 218 Mm³, waarvan 214 Mm³ in het groeiseizoen. In totaal is 94 Mm³ van de inlaat doorgevoerd naar Groningen (84 Mm³) en de Noordoostpolder (10 Mm³). De inlaat van de Afgekoppelde gebieden is niet gemeten, maar het model berekent deze op 14 Mm³. Van de inlaat is dus ongeveer 110 Mm³ gebruikt in het afwateringsgebied van de Friese boezem. Dat is 50% van de inlaat.

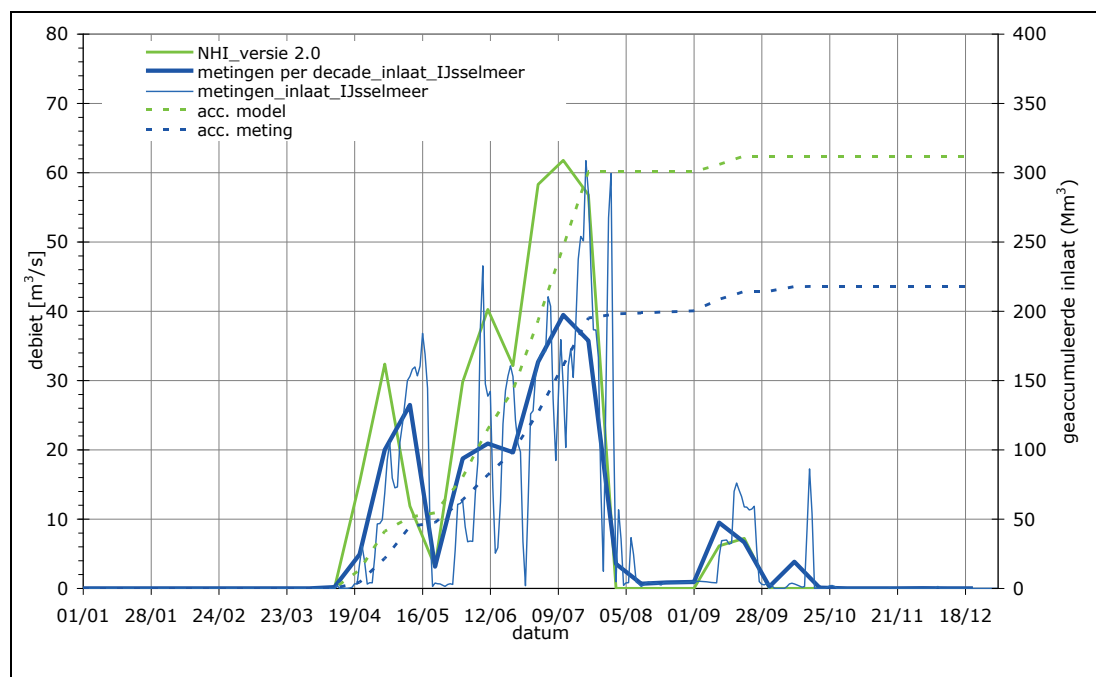
Het gemeten en berekende inlaatverloop in 2006, gesommeerd over alle inlaatpunten, is weergegeven in Figuur 2.17. De periode waarover is ingelaten historisch en in het model zijn gelijk met uitzondering van een beperkte inlaat in oktober die door het model wordt gemist. De schaal van de inlaat - waargenomen en berekend - verschilt nogal, met name in de maanden juni en juli: het model berekent een te grote inlaat. Voor 2006 bedraagt de berekende inlaat 312 Mm³, geheel geconcentreerd in het groeiseizoen. Het model overschat de inlaat dus met 43%. Van de inlaat gaat 128 Mm³ (41%) naar Groningen en 14 (4%) Mm³ naar de Afgekoppelde gebieden. Bij een doorvoer naar de Noordoostpolder van 10 Mm³ houdt dit in dat 160 Mm³ ofwel 51% van het totaal wordt

ingelaten voor gebruik in district 1, de provincie Friesland zonder de Afgekoppelde gebieden. Ongeveer eenzelfde percentage als is waargenomen.

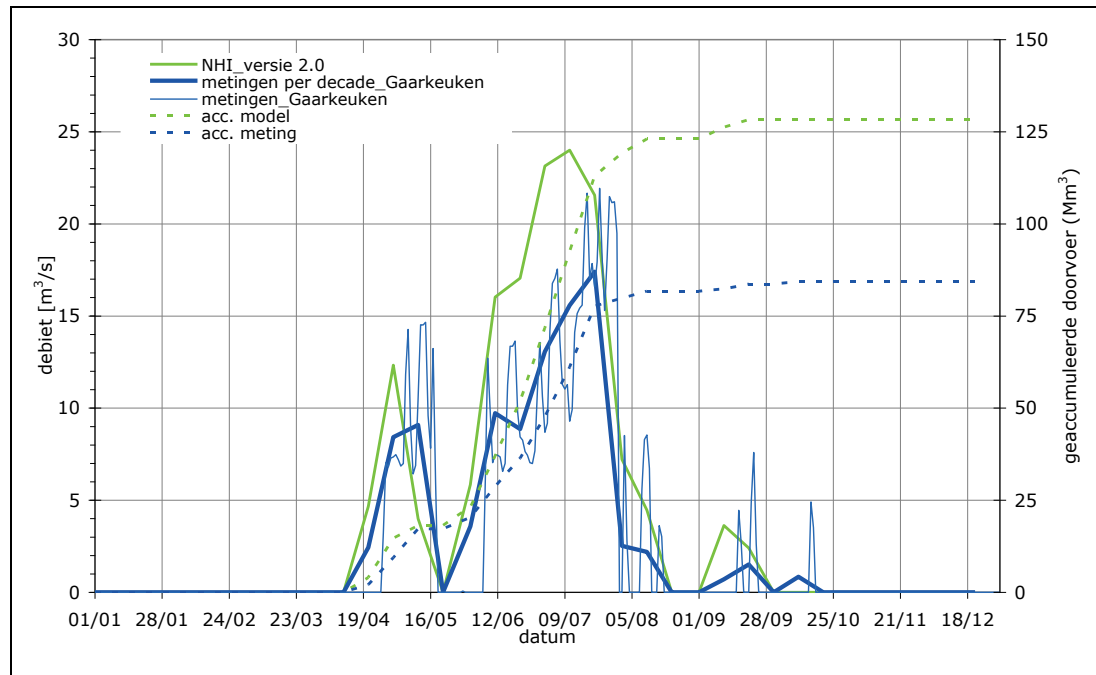
De te groot berekende inlaat geeft aan dat de watervraag in het model zowel in Friesland als in Groningen is overschat. Mede debet hieraan is de te lage neerslagrandvoorwaarde in het model, enigszins gecorrigeerd door een mogelijk daardoor iets te laag berekende verdamping.

De gemeten en berekende doorvoer naar Groningen is weergegeven in Figuur 2.18. Behoudens een schaalfactor is het verloop van de doorvoer vrijwel identiek aan de inlaat vanuit het IJsselmeer, met dezelfde overschatting van de doorvoer in het model. Ook daar is de neerslag onderschat in de modelrandvoorwaarde. Overigens is er een groot verschil tussen de gemeten doorvoer bij Gaarkeuken zoals gegeven door het Wetterskip Fryslân en het waterschap Noorderzijlvest. Noorderzijlvest geeft een veel lagere doorvoer op dan Fryslân zegt door te voeren. De gegevens van Noorderzijlvest zijn niet consistent met de inlaat bij Dorkwerd; ook de Friese schattingen lijken iets te laag, maar wijken minder af, zie verder hoofdstuk 3. De Friese getallen worden daarom in de tabellen gehanteerd.

Uit de beschrijvingen van het distributiemodel (HKV, 2009) wordt niet duidelijk hoe de doorvoer naar de Noordoostpolder vanuit de Friese boezem in het NHI is geregeld. Dit is nog een punt van aandacht.



Figuur 2.17 Gemeten en berekende inlaat vanuit het IJsselmeer (sommatie van alle inlaatpunten)



Figuur 2.18 Gemeten en berekende afvoer bij Gaarkeuken (doorvoer naar Groningen)

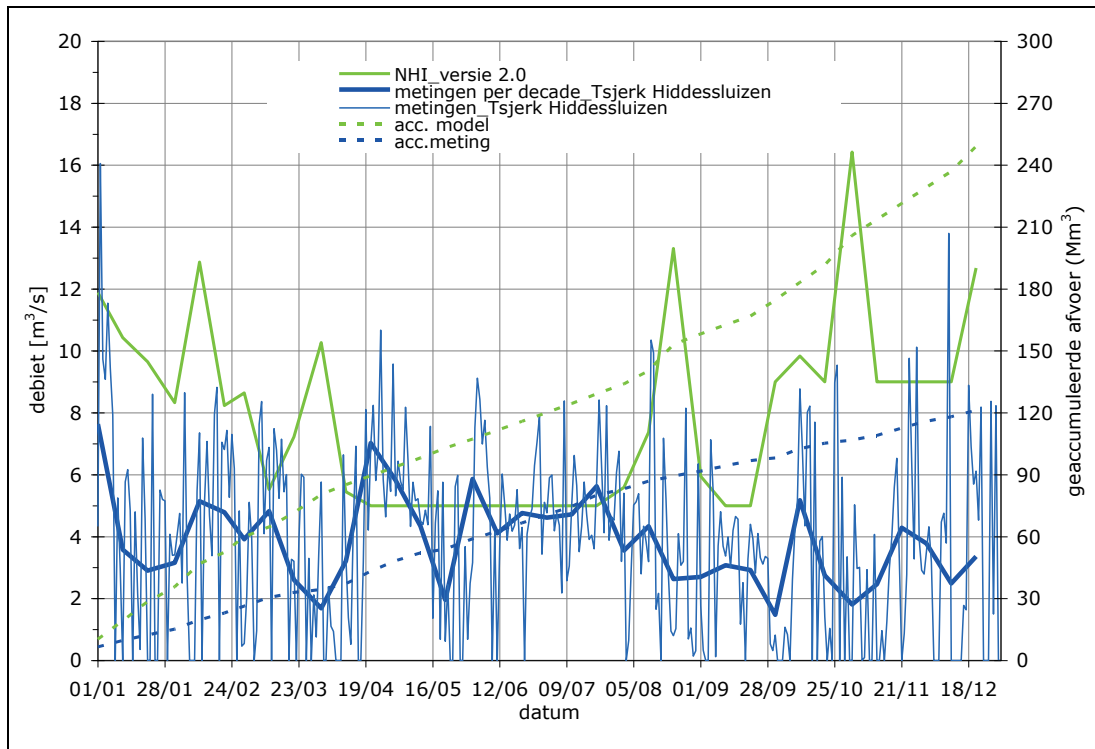
2.3.2 Afvoer

Friese boezem

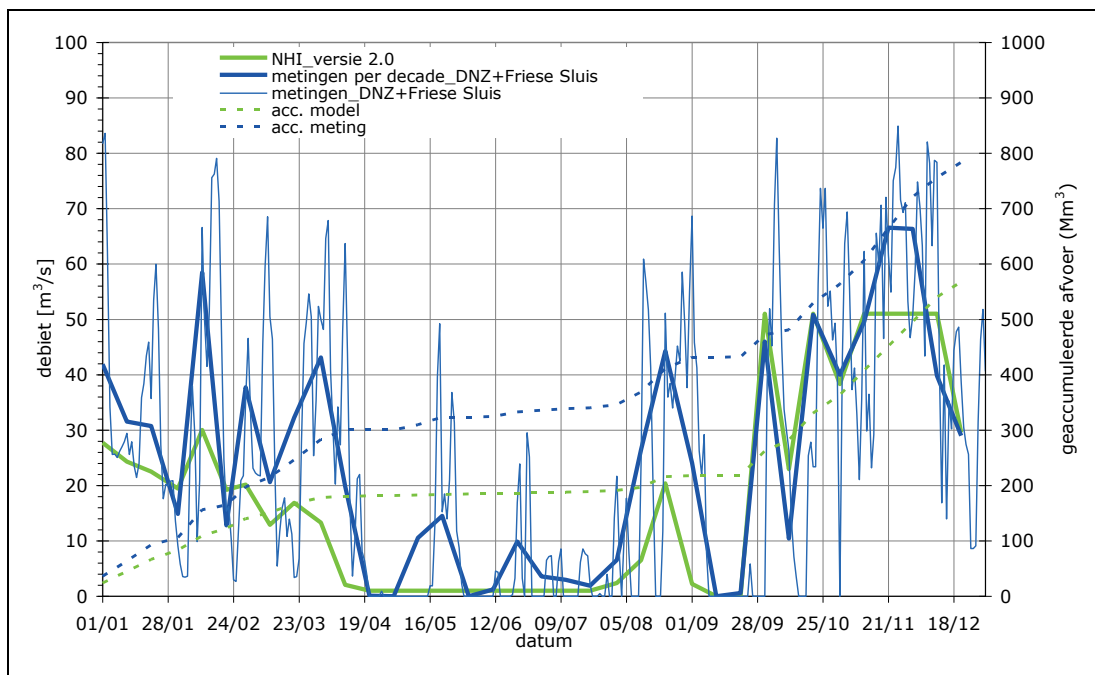
De Friese boezem voert af op de Waddenzee en het Lauwersmeer, en bij grote peilstijgingen ook op het IJsselmeer. De gemeten en berekende lozingen bij Harlingen op de Waddenzee, op het Lauwersmeer en het IJsselmeer vanuit de boezem zijn weergegeven in Figuur 2.19, Figuur 2.20 en Figuur 2.21. Figuur 2.19 geeft aan dat het model de afvoer via de Tsjerk Hiddessluizen zeer slecht reproduceert. Alleen in de maanden april t/m juli is de gemiddelde afvoer ongeveer correct, maar in de rest van het jaar berekent het model te hoge afvoeren en ziet het afvoerverloop er volstrekt anders uit dan is waargenomen.

Het afvoerverloop naar het Lauwersmeer wordt beter gereproduceerd, maar onderschat juist de afvoer in de eerste helft van het jaar. De berekende afvoer naar het IJsselmeer, tenslotte, wordt enigszins overschat, maar treedt op het juiste moment op m.u.v. de piek begin oktober.

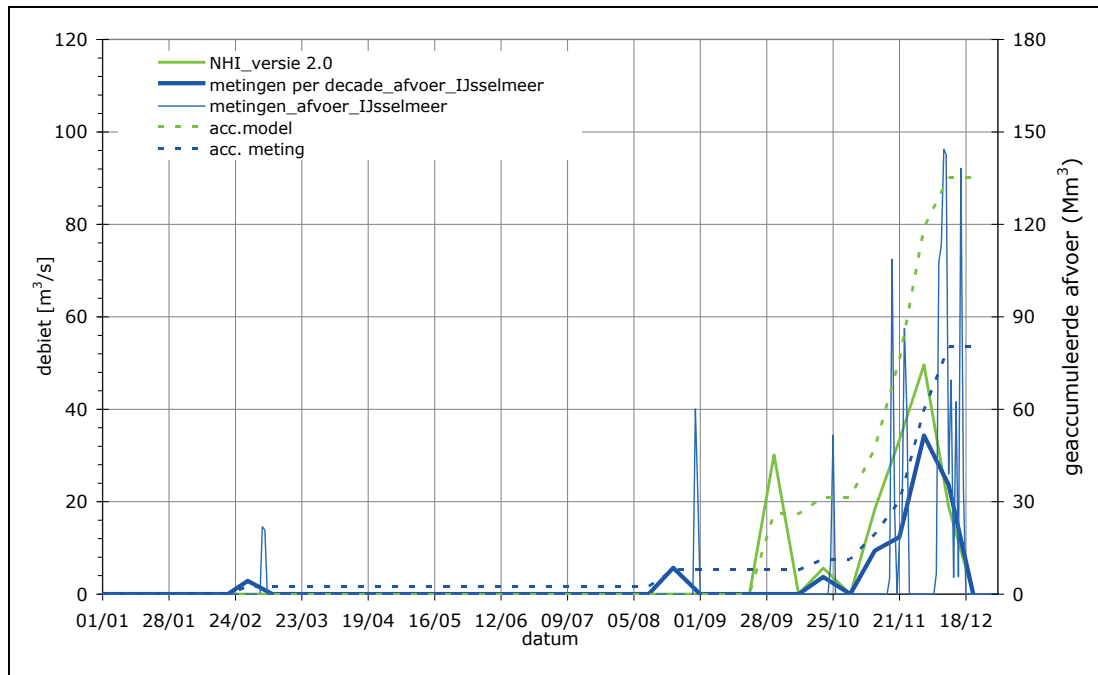
Het berekende verloop heeft alles te maken met de opgelegde afvoerverdeling tussen de takken van het distributiemodel. Hierin wordt voorgeschreven dat bij afvoeren tot $60 \text{ m}^3/\text{s}$ 70% naar het Lauwersmeer en 30% via Harlingen naar de Waddenzee wordt afgevoerd. Overschrijdt de afvoer $60 \text{ m}^3/\text{s}$ dan wordt $60 \text{ m}^3/\text{s}$ in een verhouding 85:15 naar resp. het Lauwersmeer en de Waddenzee afgevoerd en het meerdere naar het IJsselmeer. Het heeft dus geen zin om de hydrografen van de Tsjerk Hiddessluizen en de lozingen op het Lauwersmeer apart te beoordelen. Worden de afvoeren samengevoegd, zie Figuur 2.22, dan blijkt dat het model het afvoerverloop alleszins redelijk reproduceert. Het mist alleen de dynamiek in de eerste helft van het groeiseizoen. De afknotting bij $60 \text{ m}^3/\text{s}$ verklaart ook de overschatting van de lozing op het IJsselmeer aan het eind van het jaar. Alleen de afvoer op het Lauwersmeer had die grenswaarde eind 2006 al overschreden. Merk op dat een afwijking van de aangenomen verdeling van water over de takken consequenties heeft de waterbalans van het Lauwersmeer. Het model onderschat de toestroming.



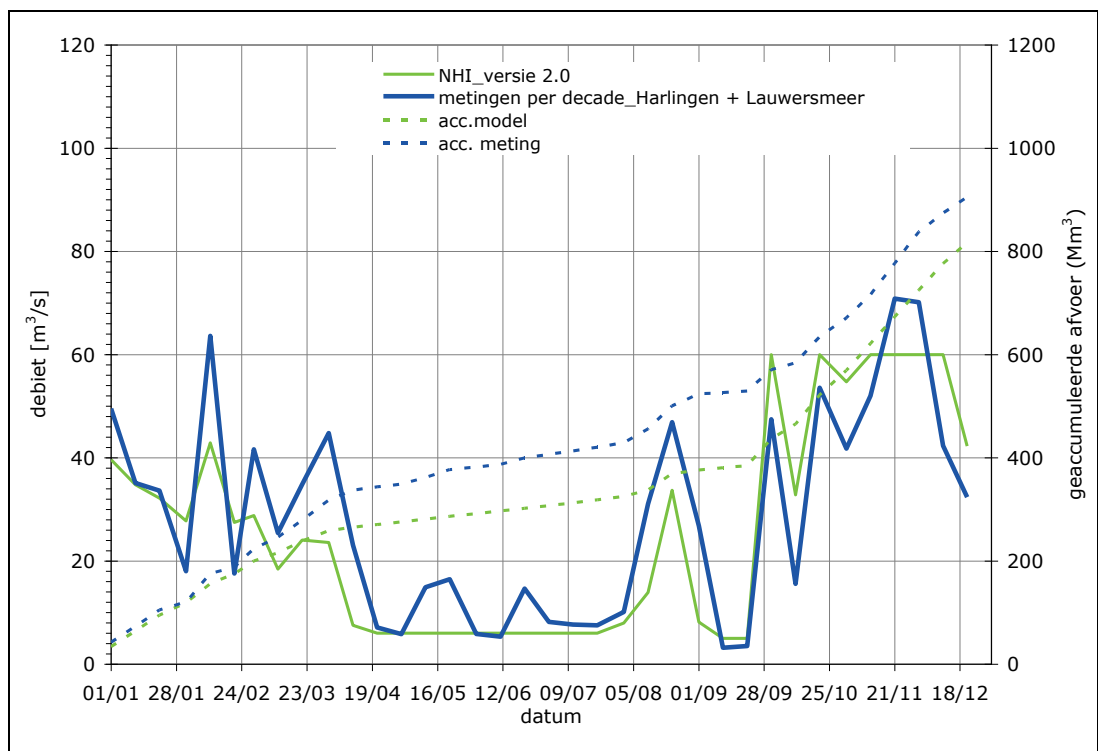
Figuur 2.19 Gemeten en berekende afvoer naar de Waddenzee bij Harlingen via Tsjerk Hiddessluizen



Figuur 2.20 Gemeten en berekende afvoer naar het Lauwersmeer bij Dokkumer Nieuwe Zijlen en Zoutkamp (Friese Sluis)



Figuur 2.21 Gemeten en berekende afvoer naar het IJsselmeer

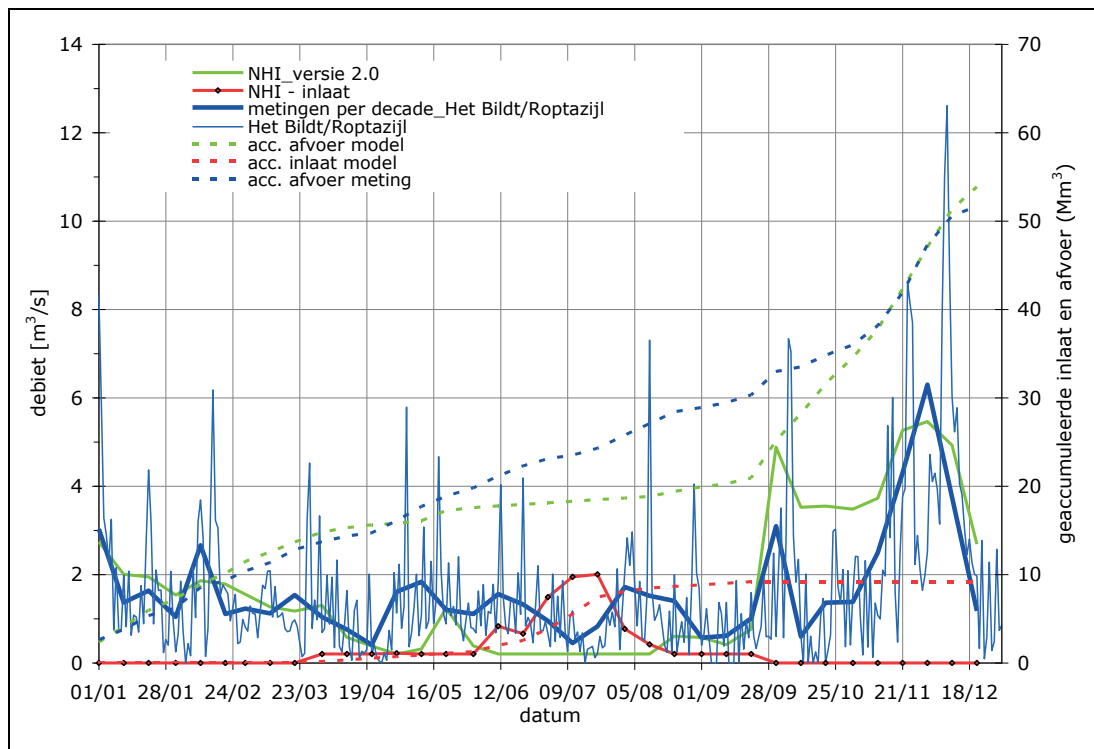


Figuur 2.22 Gemeten en berekende afvoer naar de Waddenzee (Harlingen) en het Lauwersmeer (Dokkumer Nieuwe Zijlen en Zoutkamp)

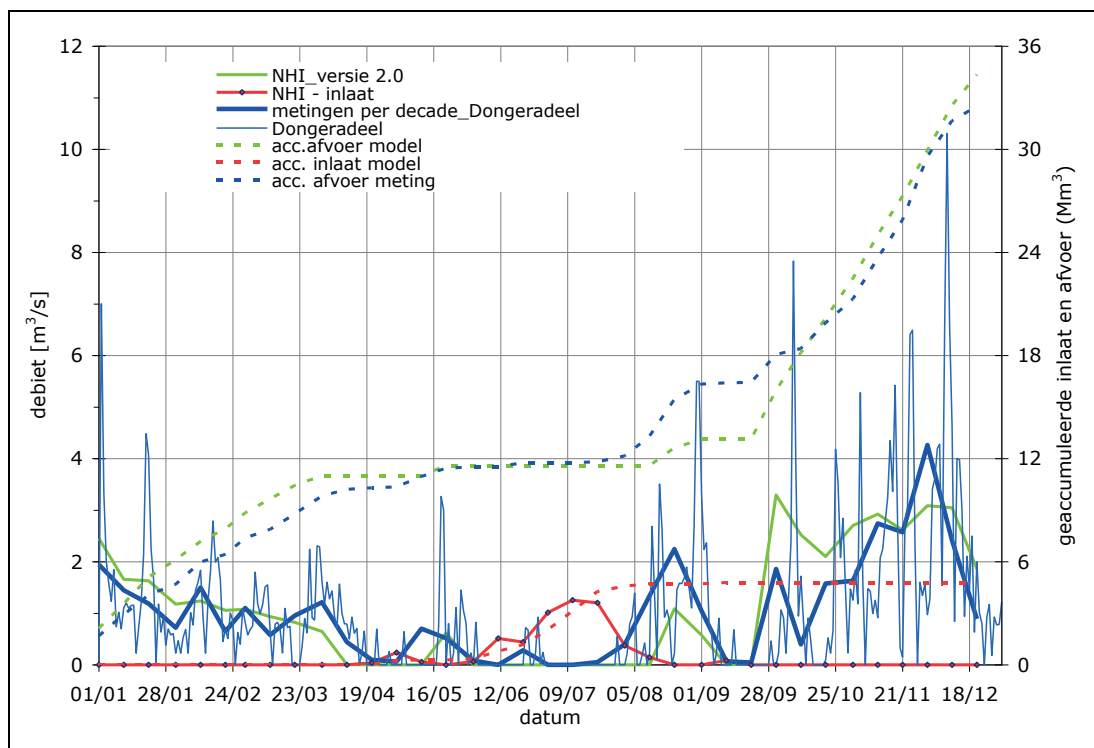
Afgekoppelde gebieden

De reproductie van het afvoerverloop van de Afgekoppelde gebieden Het Bildt/Roptazijl en Dongeradeel is gepresenteerd in Figuur 2.23 en Figuur 2.24. Voor Het Bildt/Roptazijl wordt het verloop t/m april bevredigend gereproduceerd, blijft de modelafvoer duidelijk achter in het groeiseizoen en is te hoog in de maanden oktober en november. De berekende jaarafvoer komt weer wel goed overeen met de metingen. Het berekende afvoersignaal van Dongeradeel sluit beter aan bij de metingen dan die voor Het

Bildt/Roptazijl. De afvoer wordt hier te laag berekend in augustus en te hoog in oktober, maar het jaartotaal wordt correct gesimuleerd.



Figuur 2.23 Gemeten en berekende afvoer en berekende inlaat Het Bildt/Roptazijl



Figuur 2.24 Gemeten en berekende afvoer en berekende inlaat Dongeradeel

In de figuren is ook de berekende inlaat van de Afgekoppelde gebieden weergegeven. Duidelijk is te zien dat de inlaat niet leidt tot een respons in het afvoersignaal. De toevoer wordt dus in het model niet gebruikt voor doorspoeling maar vrijwel uitsluitend voor aanvulling van het watertekort. In de beschrijving van het distributiemodel (HKV,

2009) wordt gesteld dat de capaciteit van de gezamenlijke inlaten orde $6 \text{ m}^3/\text{s}$ bedraagt, die in de periode 15 maart t/m 15 september half open staan voor doorspoeling voor verziltingbestrijding. In perioden van watertekort worden de inlaten volledig ingezet. Uit Figuur 2.23 is af te lezen dat in het model die capaciteiten volstrekt niet worden gehaald. Het berekende doorspoeldebiet bedraagt slechts $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Zelfs in de droge periode berekent het model een maximum inlaat van $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit dient nader geanalyseerd te worden. Voor Dongeradeel worden in de beschrijving van het distributiemodel veel bescheidener inlaatcapaciteiten aangegeven (zie Tabel 2.1), waarmee de berekende inlaat meer mee in overeenstemming is.

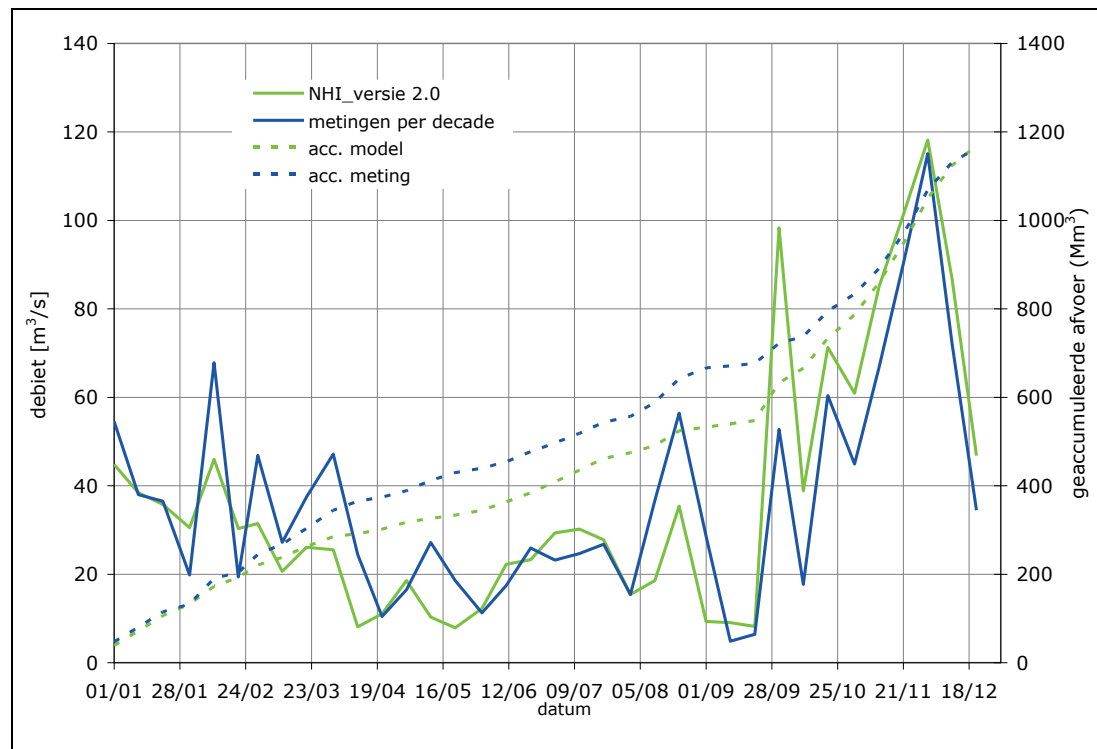
Totale afvoer

De totale afvoer uit de provincie Friesland wordt gevormd door de lozingen op

- het Lauwersmeer (Friese boezem en Dongeradeel)
- de Waddenzee (Friese boezem en Het Bildt/Roptazijl)
- het IJsselmeer (Friese boezem)
- doorvoer naar Groningen bij Gaarkeuken.

Het verloop van de gesommeerde afvoer gemeten en berekend is weergegeven in Figuur 2.25. De figuur geeft aan dat het model de gemeten afvoer over grote perioden redelijk reproduceert: in maart, mei en augustus is sprake van onderschatting en in oktober van overschatting. In het groeiseizoen is daarom sprake van enig verschil maar de jaarsom gemeten en berekend is vrijwel gelijk:

- groeiseizoen: 285 Mm^3 (= 85 mm) berekend en 373 Mm^3 (= 112 mm) gemeten, een verschil van 31 %;
- kalenderjaar: 1169 Mm^3 (= 350 mm) berekend en 1164 Mm^3 (= 348 mm) gemeten, een verschil kleiner dan 1%.



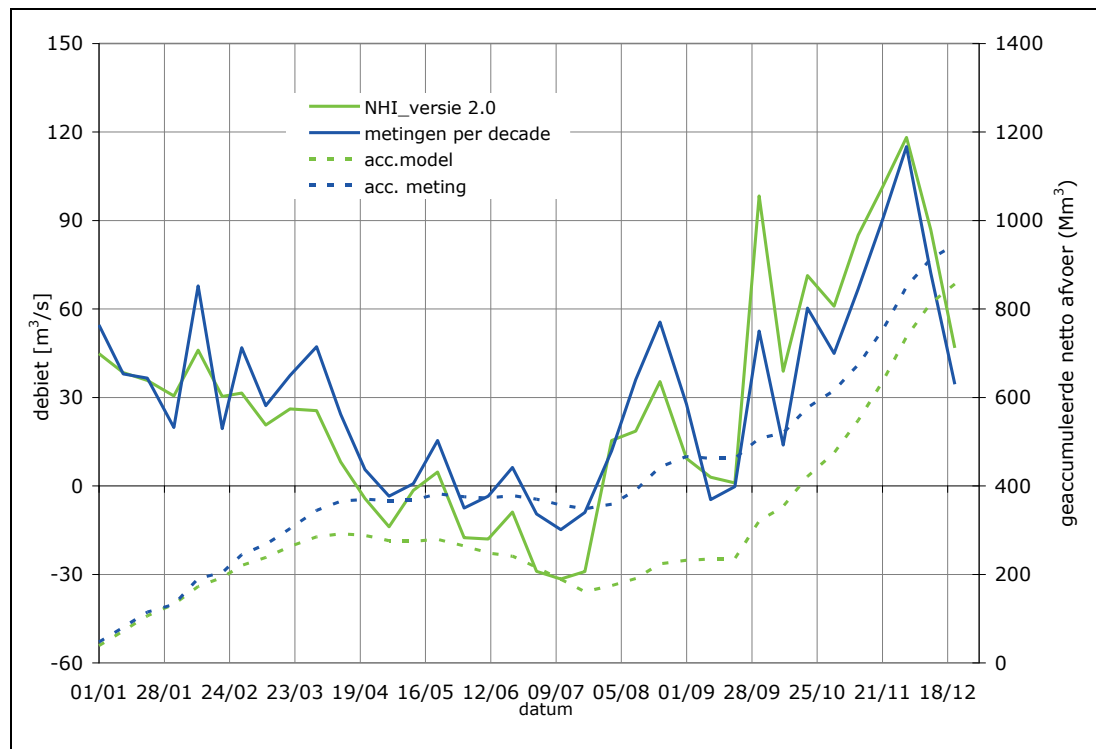
Figuur 2.25 Totale gemeten en berekende afvoer uit Friesland

De afvoer gecorrigeerd voor de inlaat uit het IJsselmeer levert de netto afvoer (afvoer – inlaat), die voor 2006 is weergegeven in Figuur 2.26. De afwijking tussen de metingen en het modelresultaat is hier wat groter door de forse overschatting van de berekende

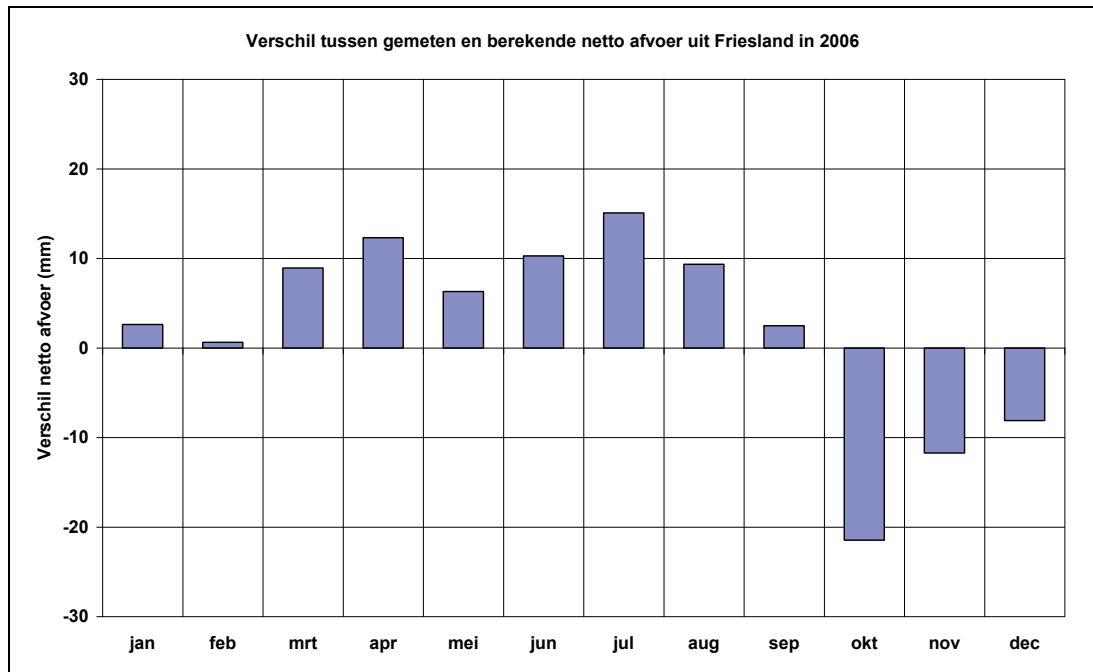
inlaat. Het verschil tussen de gemeten en de berekende netto afvoer, uitgedrukt in mm, is gepresenteerd in Figuur 2.27. Het gesommeerde verschil tussen meting en model bedraagt in september 68 mm, dat terugloopt naar 27 mm in december. Het resultaat kan verbeterd worden door de neerslag beter in overeenstemming te brengen met de waarnemingen.

Netto afvoer

De waargenomen en berekende afvoeren en inlaten op de afvoer- en inlaatmeetpunten voor het groeiseizoen en het kalenderjaar zijn samengevat in Tabel 2.2. T.a.v. de individuele afvoerlocaties zijn de verschillen tussen meting en model groot, maar het totale resultaat geeft een aanmerkelijk beter beeld. De grote lokale afwijkingen zijn een direct gevolg van de in het distributiemodel aangenomen verdelingen tussen de afvoertakken. Voor de overall balans maakt dat niet uit, maar voor waterbalansen van kleinere eenheden zoals het Lauwersmeer geeft dit problemen. Er zal meer fysica in de verdeelsleutels moeten worden aangebracht om dit te verbeteren. De overschatting van de berekende inlaat wordt voor een deel verklaard door onderschatting van de neerslag, waardoor de watervraag in het groeiseizoen wordt overschat. Dit moet een eenvoudige aanpassing zijn in het model. Voorts dient de neerslag gecorrigeerd te worden voor windeffecten.



Figuur 2.26 Totale gemeten en berekende netto afvoer (afvoer – inlaat) uit Friesland



Figuur 2.27 Verschil tussen de gemeten en berekende netto afvoer (in mm) uit Friesland in 2006

Tabel 2.2 Overzicht van gemeten en berekende afvoer en inlaatvolumina Friesland

	Locatie	meting Mm ³		model Mm ³		meting-model Mm ³		meting-model %	
		groei	jaar	groei	jaar	groei	jaar	groei	jaar
afvoer	Harlingen FB	64	122	95	249	-31.0	-127.5	-48	-105
	Lauwersmeer FB	186	783	51	568	135.3	215.6	73	28
	IJsselmeer FB	5	80	0	135	5.4	-55.0	100	-69
	Gaarkeuken	84	84	128	128	-44.6	-43.9	-53	-52
	Noordoostpolder	8	10	0	0	8.2	9.8	100	100
	Bildt/Roptazijl	18	52	7	54	10.2	-2.2	59	-4
	Dongeradeel	8	33	3	34	5.0	-1.8	65	-6
	afvoer totaal		373	1164	285	1169	88.5	-5.1	24
inlaat	IJsselmeer FB	214	218	312	312	-97.8	-94.1	-46	-43

2.4 Grondwaterstanden

Van de locaties in Friesland, die zijn weergegeven in Tabel 2.3, zijn voor 2006 grondwaterstanden ontvangen voor vergelijking met de berekende freatische grondwaterstanden in het NHI. De grondwaterstanden in het NHI zijn de waarden van de 250 x 250 m rooster cel waarin de waarnemingsbuis is gelegen. Door de ruimtelijke middeling in het model is een exacte vergelijking van de hoogte t.o.v. NAP niet zinvol. T.o.v. maaiveld ook niet omdat de opgegeven waarde van de hoogte van het maaiveld bij de peilbuis t.o.v. NAP in een aantal gevallen inconsistent is met de opgegeven grondwaterstand t.o.v. NAP. Daarom is vooral gekeken naar de optredende grondwater fluctuaties en de reproductie hiervan in het model (dynamiek) en de maximale variatie over het jaar (range). Vooraf is het verloop van de grondwaterstandmetingen gevalideerd door onderlinge vergelijking en respons op de dagneerslag van een naburige neerslagstation.

Tabel 2.3 Overzicht van locaties van grondwaterpeilbuizen, omgevingscondities en naburig neerslagstation

put	X (m)	Y (m)	mv NHI	mv meting	bodemgesteldheid	neerslagstation
05EL0002	168,810	589,640	0.61	0.66	akkerbouw op klei/zavel	St. Annaparochie
05FP9001	169,500?	588,475?	0.76			St. Annaparochie
06GP0050	203,050?	576,925?	1.55		grasland op zand	Bergumerdam
10EL9001	169,460	574,480	0.08	-0.38	grasland op klei	Skrins
10EL9005	169,800?	570,800?	0.17			Skrins
11HL9031	215,330	560,620	5.04	6.44	hogere zandgond	Gorredijk
15FL0020	174,710	543,380	-0.86	-0.93	grasland in veen	Oudemirdum

05EL002 en 05FP9001

De grondwaterstandpeilbuizen 05EL002 en 05FP9001 liggen in het Bildt. De onderlinge vergelijking en de vergelijking met de neerslag van St. Annaparochie is weergegeven in Figuur 2.28. De waarnemingen zijn onderling zeer goed vergelijkbaar en het grondwaterstandverloop volgt de neerslag heel direct. De range van de waterstanden is verschillend: de variatie in 05FP9001 is ruim 2 m en de put is in de droge periode waarschijnlijk drooggevallen, terwijl de range van 05EL002 minder dan 1.5 m is.

Het berekende verloop van 05EL002 wijkt sterk af van de meting: de range is slechts de helft van de meting en de respons op de neerslag is m.u.v. de laatste maanden van het jaar vrijwel afwezig. Het berekende signaal vertoont op 11 september een vreemde dip, zie Figuur 2.30, die niet het gevolg kan zijn van een peilvariatie. Immers, dat zou een geleidelijke aanpassing hebben laten zien. Alle andere peilbuizen vertonen eenzelfde 9/11 hik, meestal in omgekeerde richting. Dit vraagt aandacht van de modelbouwers.

Het gemeten en berekende verloop van 05FP9001 is weergegeven in Figuur 2.31 en Figuur 2.32. De eerste figuur geeft aan dat de range van het berekende verloop (1 m) ver onder de waargenomen variatie (> 2 m) ligt en de neerslag is nauwelijks terug te vinden in het grondwaterstandverloop. De 9/11 hik wijst nu naar boven en is aantoonbaar geen gevolg van neerslag (station Leeuwarden is genomen omdat dit ook in het NHI is toegepast) zoals valt af te leiden uit de tweede figuur.

06GP0050

De peilbuis 06GO0050 ligt in grasland op zand in het oosten van de provincie ten noorden van Drachten, oostelijk van het Bergumermeer. De metingen hebben een onjuiste referentie. De peilstijgingen zijn hier wat minder abrupt dan in de hiervoor besproken peilputten, zie Figuur 2.33. Een vergelijking tussen het gemeten en berekende verloop is getoond in Figuur 2.34. De figuur geeft aan dat in het model vanaf januari de grondwaterstand voortdurend daalt tot eind juli, terwijl de gemeten en grondwaterstand pas vanaf april daalt. De gemeten grondwaterstandvariatiën worden goed gevolgd totdat de 9/11 hik zich voordoet. Daarna is de respons ook acceptabel, alleen verschoven. Figuur 2.35 geeft het detail weer rond de 9/11 verstoring. Duidelijk is dat neerslag hier geen rol speelt bij de plotselinge grondwaterstandstijging.

10EL9001 en 10EL9005

De peilbuizen 10EL9001 en 10EL9005 zijn gelegen nabij Winsum en Wommels, ten zuidwesten van Leeuwarden, in grasland op klei. Het gemeten verloop van de peilbuizen is in Figuur 2.36 weergegeven, samen met de neerslag gemeten in Skrins. De grondwaterstand in put 10EL9001 zakt in het groeiseizoen tot augustus met orde 2 m om daarna in augustus volledig te herstellen, terwijl peilbuis 10EL9005 in het geheel geen tekenen van uitdroging vertoont. De variatie bedraagt hier maximaal 4 dm. Mogelijk speelt hier de plaats naast een uitloper van de Bolswarder trekvaart een rol.

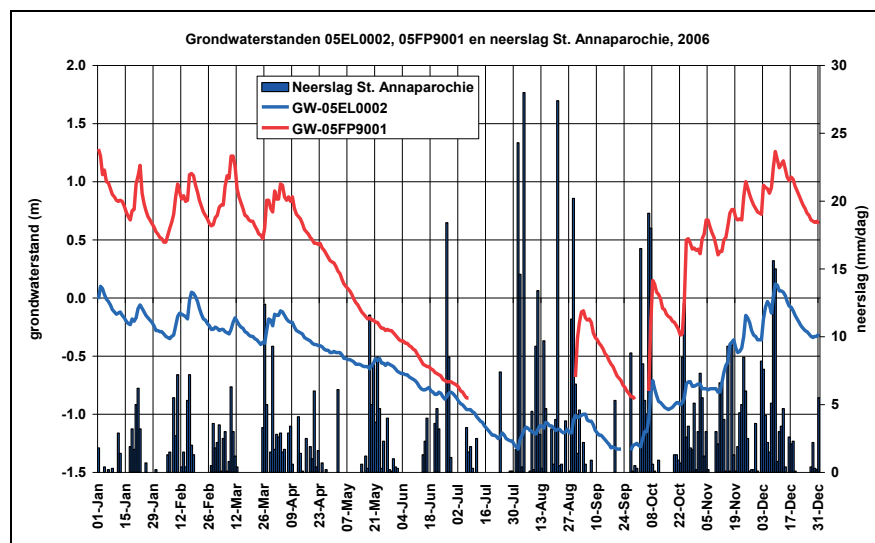
Figuur 2.37 geeft aan dat het model de variatie van peilput 10EL9001 in het geheel niet kan volgen. In het groeiseizoen daalt de berekende grondwaterstand slechts 1 dm in plaats van de gemeten 2 m in het veld. Ook de variaties in de rest van het jaar worden niet gereproduceerd. Het model doet het beter in de omgeving van peilbuis 10EL9005. Buiten het groeiseizoen wordt de dynamiek redelijk gereproduceerd, zie Figuur 2.38, maar in het groeiseizoen (mei - augustus) vertoont het model geen reactie op de neerslag, terwijl die wel is opgetreden.

11HL9031

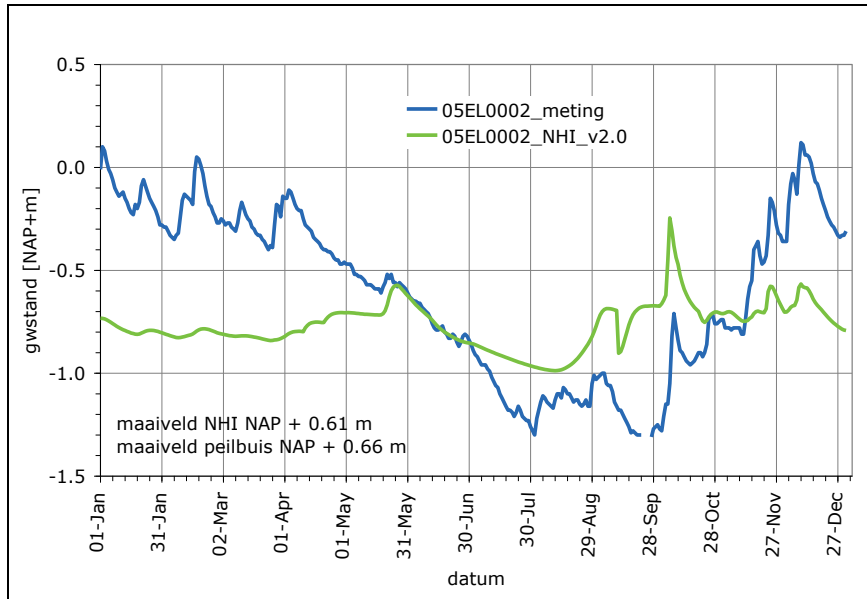
De peilbuis 1HL9031 ligt bij Oosterwolde op hogere zandgrond, in een gebied met grasland en akkerbouw. Het grondwaterverloop is weergegeven in Figuur 2.39 samen met de neerslag van Gorredijk. De figuur geeft aan dat de grondwaterstand een sterk gefilterde en vertraagde respons geeft op het neerslagverloop. Het model geeft een redelijke reproductie van het waargenomen signaal, zie Figuur 2.40, maar wel weer met de eerder waargenomen 9/11 hik. De schaal van de berekende variatie is echter ongeveer de helft van wat is waargenomen.

15FL0020

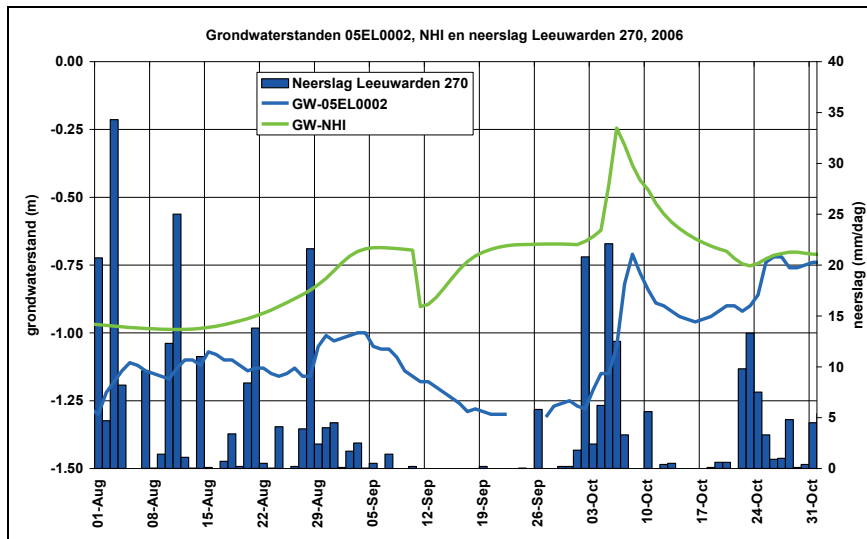
Peilbuis 15FL0020 ligt in grasland in het veengebied ten noorden van Lemmer bij de Grootte Brekken. Het grondwaterstandverloop met de neerslag van Oudemirdum is weergegeven in Figuur 2.41. De respons op de neerslag is snel. In het model wordt het verloop en de range van de variatie goed gesimuleerd, zie Figuur 2.42. Alleen de dynamiek in het groeiseizoen blijft achter. Ook hier is weer de 9/11 hik aanwezig.



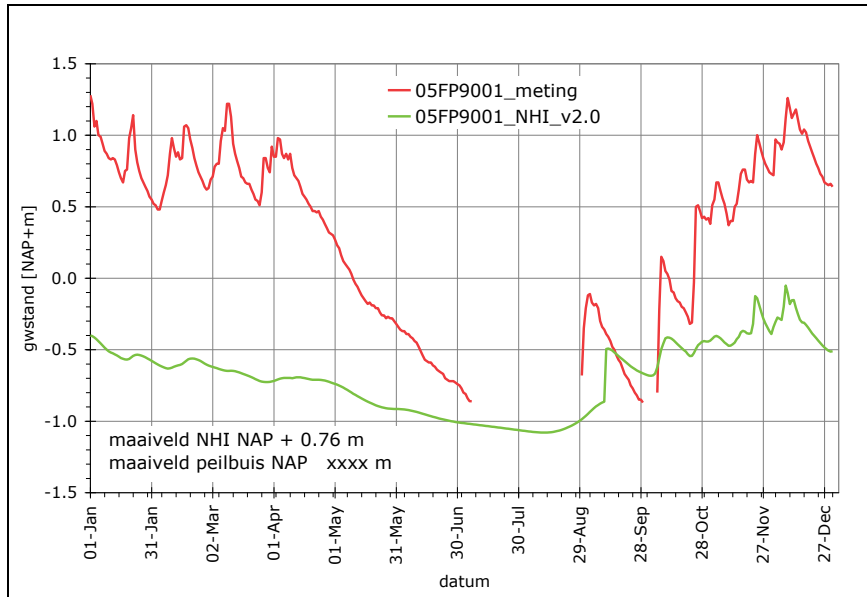
Figuur 2.28 Grondwaterstanden 05EL0002 en 05FP9001 en de neerslag van St Annaparochie, 2006



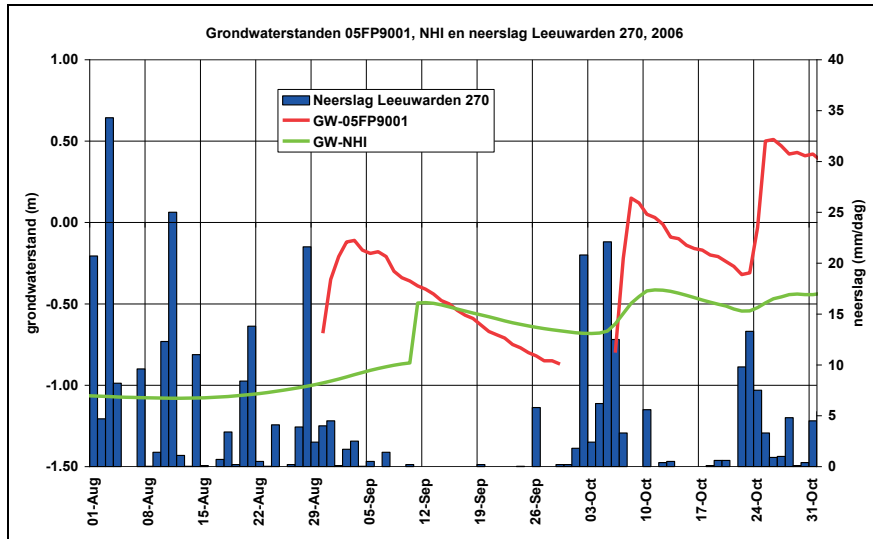
Figuur 2.29 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop peilbuis 05EL0002



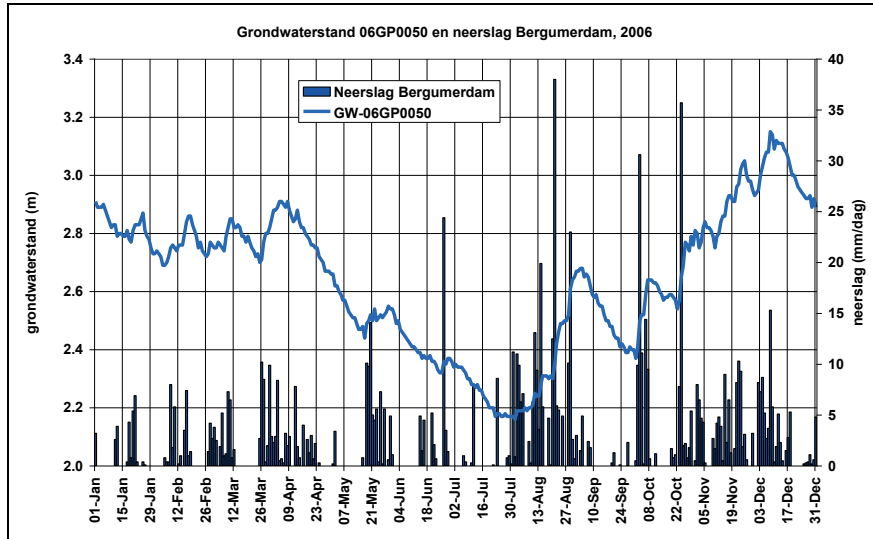
Figuur 2.30 Detail grondwaterstandverloop peilbuis 05EL0002 met neerslag te Leeuwarden



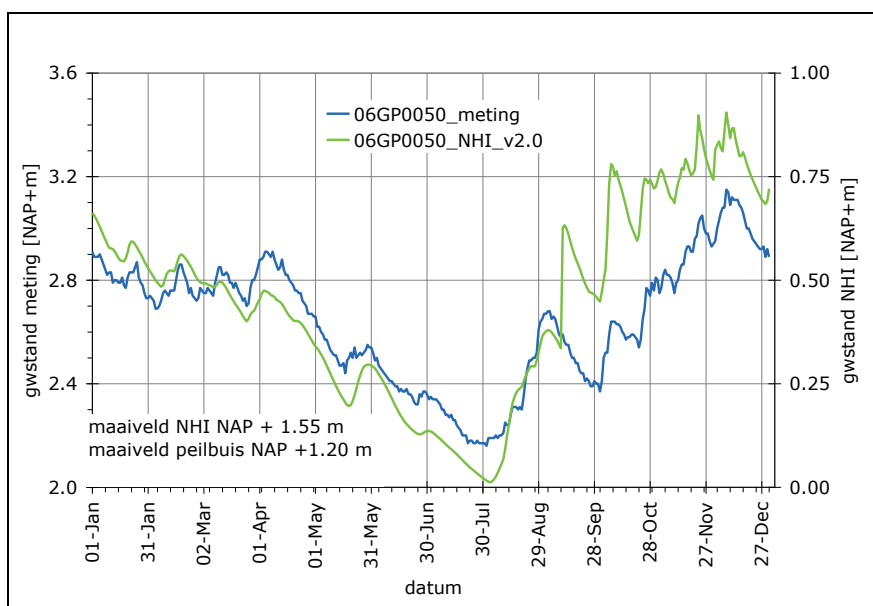
Figuur 2.31 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop peilbuis 05FP9001



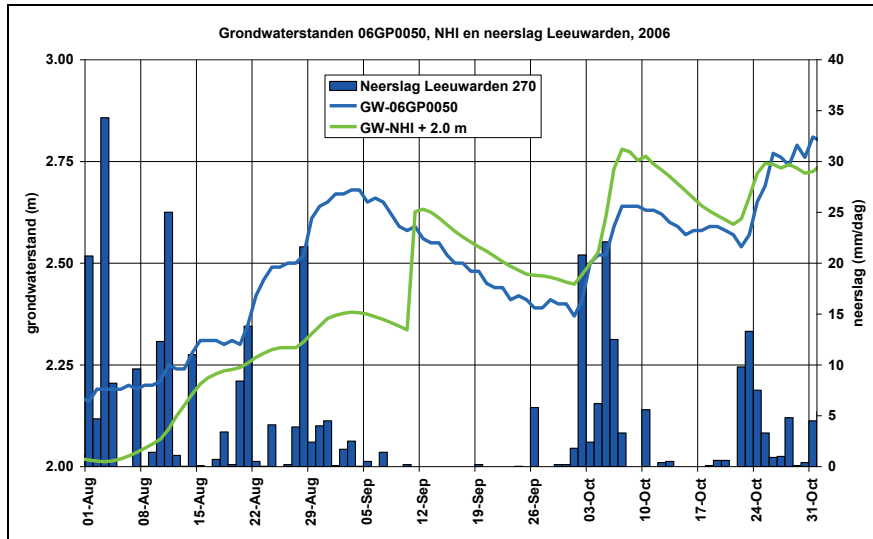
Figuur 2.32 Detail grondwaterstandverloop peilbuis 05FP9001 en neerslag te Leeuwarden



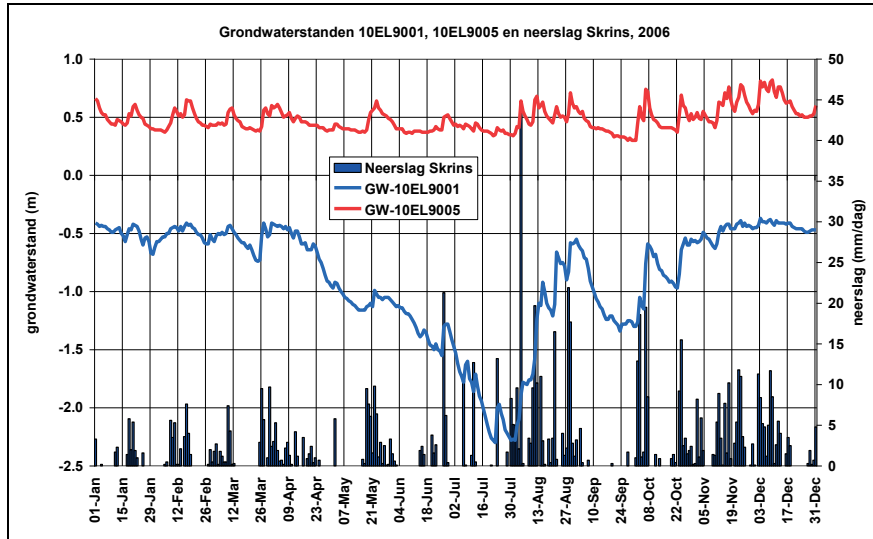
Figuur 2.33 Grondwaterstanden 06GP0050 en de neerslag van Bergumerdam, 2006



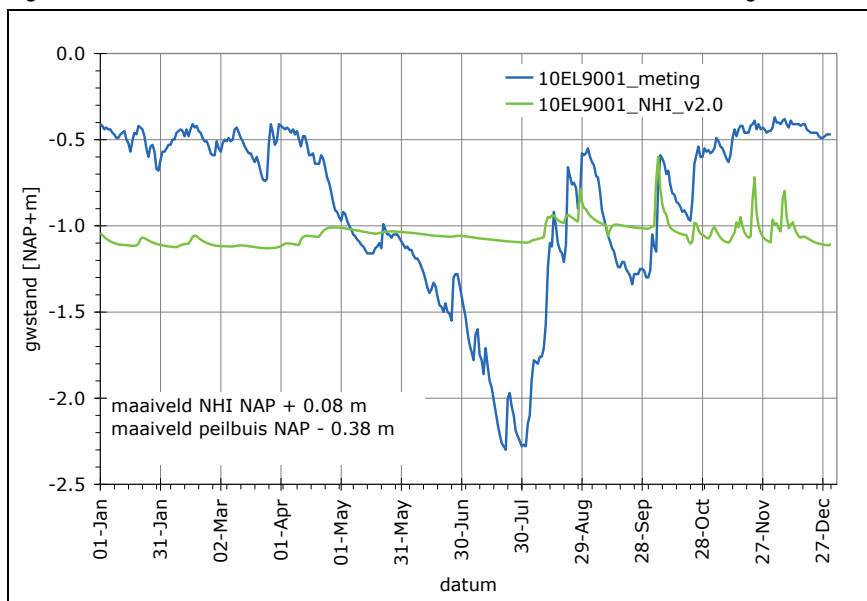
Figuur 2.34 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop peilbuis 06GP0050



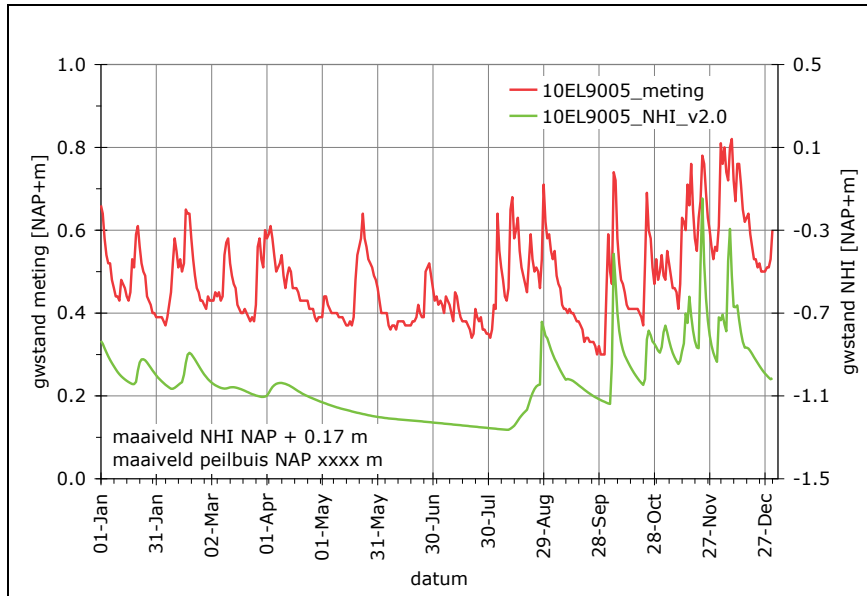
Figuur 2.35 Detail grondwaterstandverloop peilbuis 06GP0050 en neerslag te Leeuwarden



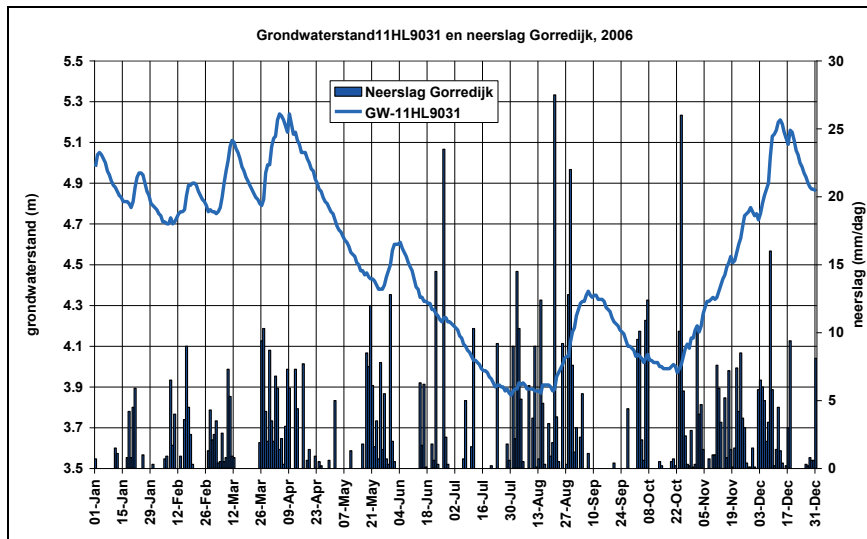
Figuur 2.36 Grondwaterstanden 10EL9001 en 10EL9005 en de neerslag van Skrins, 2006



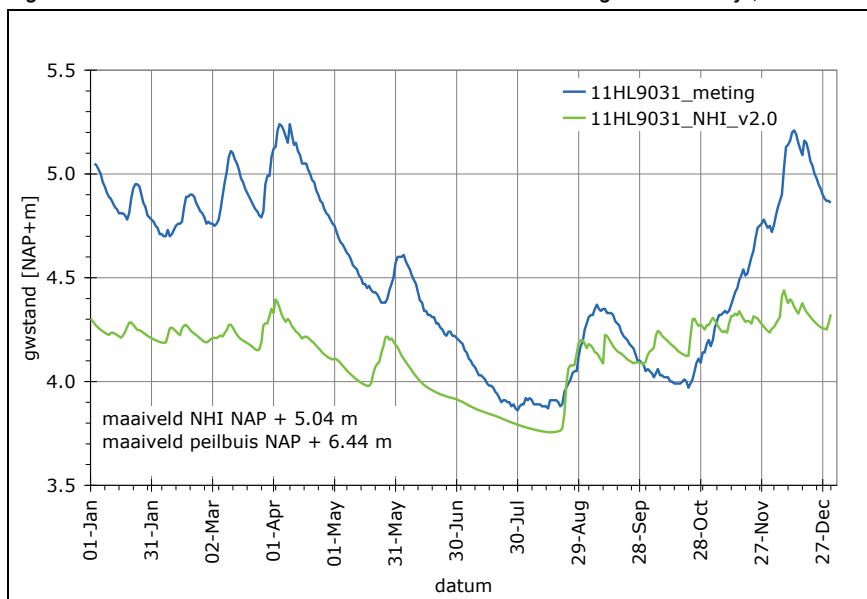
Figuur 2.37 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop peilbuis 10EL9001



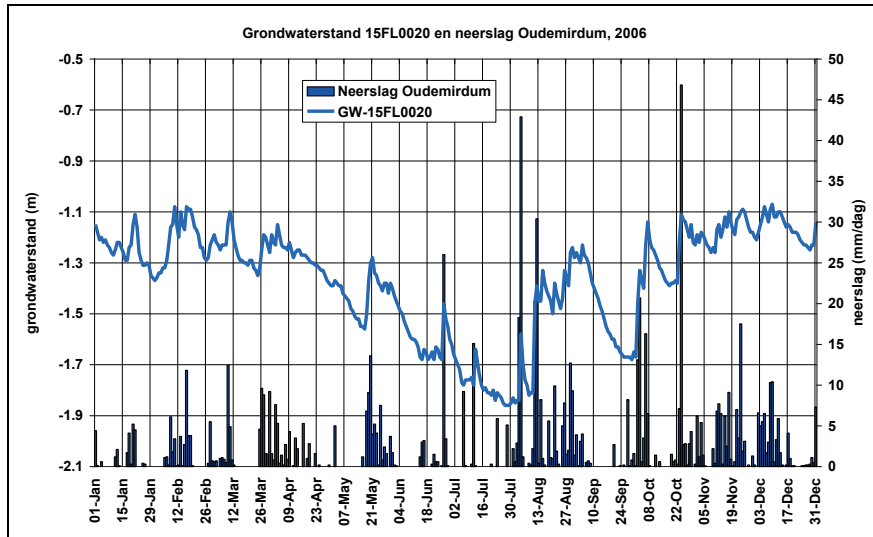
Figuur 2.38 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop peilbuis 10EL9005



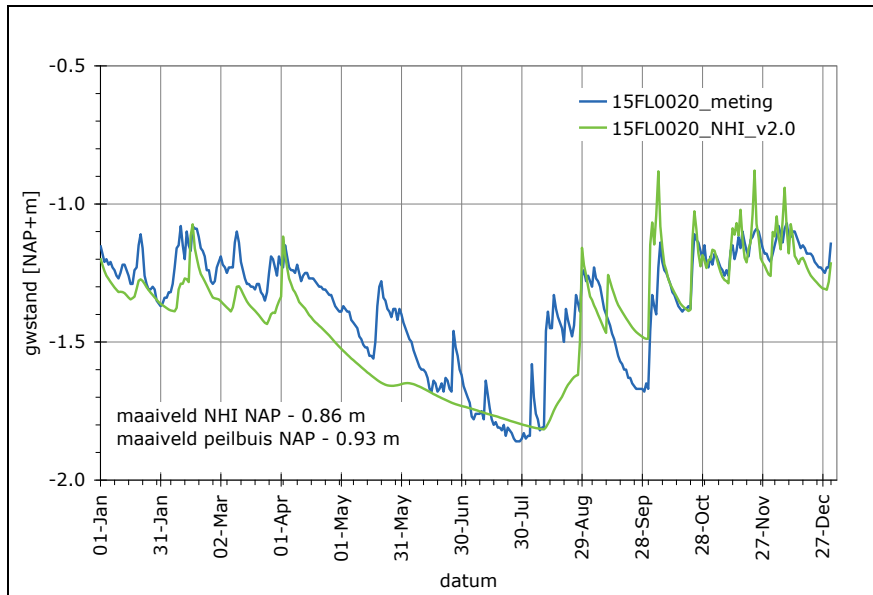
Figuur 2.39 Grondwaterstanden 11HL9031 en de neerslag van Gorredijk, 2006



Figuur 2.40 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop peilbuis 11HL9031



Figuur 2.41 Grondwaterstanden 15FL0020 en de neerslag van Oudemirdum, 2006



Figuur 2.42 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop peilbuis 15FL0020

In Tabel 2.4 is een overzicht gegeven van de kwaliteit van de simulatie van grondwaterstanden in het NHI, waarbij onderscheid is gemaakt naar de dynamiek in het groeiseizoen en in de rest van het jaar en de weergave van het grondwaterstandbereik (range). De tabel geeft aan het model goed werkt voor zandgronden en veen, maar veelal matig tot slecht presteert voor kleigronden. Vooral in het groeiseizoen is de simulatie van de dynamiek slecht, m.u.v. de zandgronden. Tenslotte wordt opgemerkt dat aandacht besteed moet worden aan de eliminatie van de 9/11 hik.

Tabel 2.4 Overzicht analyse simulatie van grondwaterstanden

put	mv NHI	bodemgesteldheid	dynamiek		range
			groeiseizoen	okt-mrt	
05EL0002	0.61	akkerbouw op klei/zavel	-	-	-
05FP9001	0.76		-	+/-	-
06GP0050	1.55	grasland op zand	+	+	+
10EL9001	0.08	grasland op klei	-	+/-	-
10EL9005	0.17		-	+	+
11HL9031	5.04	hogere zandgrond	+	+	+/-
15FL0020	-0.86	grasland in veen	-	+	+

2.5 Chlorideconcentraties

Er zijn voor Friesland geen gegevens ontvangen van chlorideconcentraties.

3 Noorderzijvest

3.1 Hydraulische infrastructuur en schematisatie

Het beheersgebied van het waterschap Noorderzijvest omvat de volgende stroomgebieden, zie Figuur 3.1 en Tabel 3.1:

- Electraboezem, met als grootste watergangen het Reitdiep en het Van Starckenborghkanaal
- Fivelingoboezem, en
- Noordelijke kustpolders.

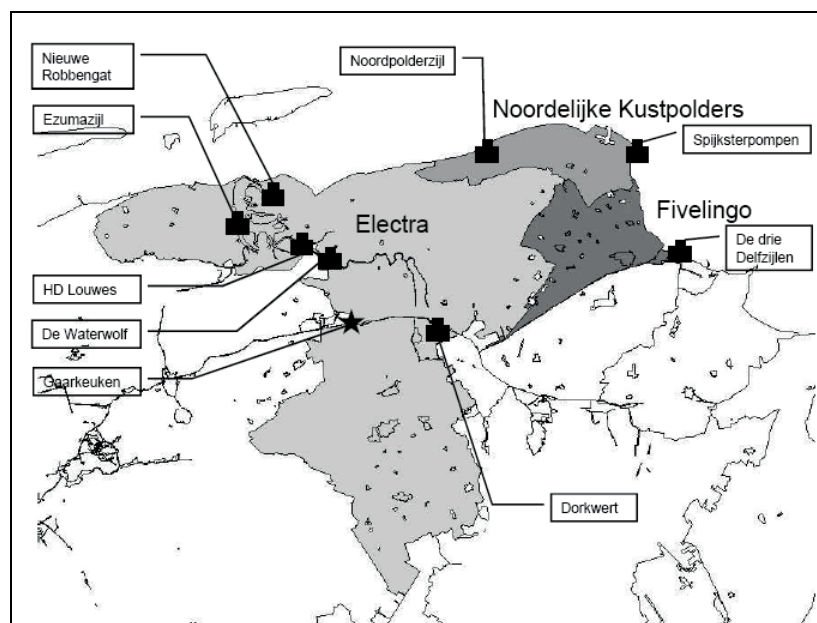
Waterinlaat naar de Electraboezem geschiedt via het Van Starckenborghkanaal bij Gaarkeuken en indien beschikbaar via waterschap Hunze en Aa's bij Assen vanuit het Noord Willemskanaal en de Drentse Hoofdvaart. Van de aanvoer bij Gaarkeuken wordt bij Dorkwert orde 4/5 opgepompt naar de Eemskanaalbozem van het waterschap Hunze en Aa's; de rest is beschikbaar voor Fivelingo, de Noordelijke kustpolders en Electra. De boezem voert via het Reitdiep af op het Lauwersmeer.

Fivelingo laat water in via het Damsterdiep en loost overtollig water op de Dollard in Delfzijl via het spuicomples of het gemaal De Drie Delfzijlen.

De Noordelijke kustpolders laten water in vanuit de Electraboezem via een aantal poldergemalen en lozen op de Waddenzee via twee gemalen.

In het NHI zijn in het gebied van het waterschap Noorderzijvest de volgende districten onderscheiden:

- Peize en Eelderdiep/Fochtteloerveen (3), Leeksterhoofddiep en Dwarsdiep (146), Reitdiep-zuid (4) en Reitdiep-noord (9) in het Electraboezemgebied
- Lauwersmeer (145)
- Fivelingo (144), en
- Noordelijke kustpolders (142).



Figuur 3.1 Stroomgebieden in het beheersgebied van het waterschap Noorderzijvest

Tabel 3.1 Overzicht van inlaat, afvoer en doorvoerkunstwerken in Noorderzijlvest

Gebied	Kunstwerk	Locatie	Laat in van / Loost op	Capaciteit (m ³ /s)
Electra boezem				
Inlaat	sluis Gaarkeuken inlaten Ter Aard, Huis ter Heide, Heideheim	Gaarkeuken Assen	Prinses Margrietkanaal Drentse Hoofdvaart - Noord Willemskanaal	24,0 1,5
Afvoer	Nieuwe Robbengat gemaal HD Louwes gemaal De Waterwolf	Lauwersoog Zoutkamp Zoutkamp	Lauwersmeer Lauwersmeer Lauwersmeer	3,6 + sc? ¹⁾ 16,6 + sc ? 75,0 + sc ?
Doorvoer	Dorkwerd booster Driewegsluis inlaten Noordelijke kustpolders	Groningen Groningen langs Reitdiep	Eemskanaal Damsterdiep diverse leidingen	20,0 1,5 2,0
Fivelingo boezem				
Inlaat	booster Driewegsluis	Groningen	Van Starckenborghkanaal	1.5
Afvoer	gemaal De Drie Delfzijlen	Delfzijl	Dollard	25,0 + sc ≈ 15
Noordelijke kustpolders				
Inlaat	diverse poldergemalen	diverse locaties	Electra boezem = Reitdiep	2,0
Afvoer	gemaal Noordpolderzijl gemaal Spijksterpompen	bij Usquert bij Spijk	Waddenzee Waddenzee	3,6 11,0

¹⁾ sc = spuicapaciteit

Merk op dat in het model het district 145 Lauwersmeer (= het Lauwersmeer + gebied dat afwatert op het Lauwersmeer via gemaal Nieuw Robbengat) niet afwatert op het Lauwersmeer maar direct op de Waddenzee.

Zoals aangegeven wordt tijdens droge perioden water ingelaten vanuit de Friese boezem, het Noord-Willemskanaal en de Drentse Hoofdvaart. Voor de distributie van de inlaat bestaat een 10 punten tellende prioriteitenlijst (zie HKV, 2009). Hoogste prioriteit heeft de peilhandhaving ter voorkoming van onomkeerbare klink, voor de stabiliteit van kades en voor het behoud van ecologische kwaliteit in gebieden met karakteristieke natuur- en landschapswaarden.

3.2 Neerslag en verdamping

3.2.1 Gemeten en modelneerslag

In hoofdstuk 2 is de neerslag van Noord-Nederland in 2006 uitgebreid aan de orde geweest, zie Figuur 2.12 en Figuur 2.13. Evenals voor Friesland geldt ook hier dat de neerslag is onderschat, vooral voor de Noordelijke kustpolders en Fivelingo. Dit wordt duidelijk uit onderstaande Figuur 3.2 en Figuur 3.3 en Tabel 3.2.

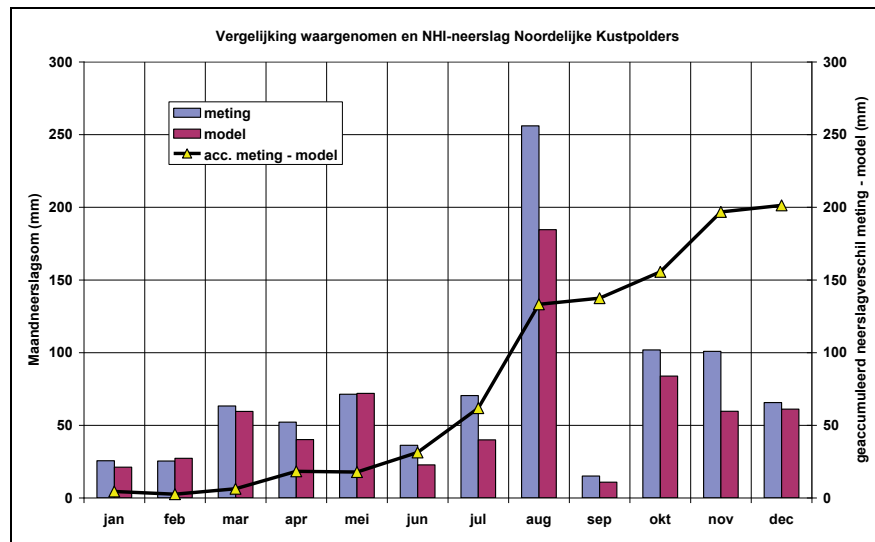
Tabel 3.2 Vergelijking tussen gemeten en model neerslag in groeiseizoen en jaar 2006 voor de Noordelijke kustpolders en Fivelingo

Gebied	Neerslag gemeten (mm)		Neerslag model (mm)		Verschil meting – model (mm)	
	Groeiseizoen	Jaar	Groeiseizoen	Jaar	Groeiseizoen	Jaar
Noordelijke kustpolders	501.3	883.9	370.1	682.7	131.2	201.2
Fivelingo	438.4	788.0	373.7	693.2	64.7	94.8

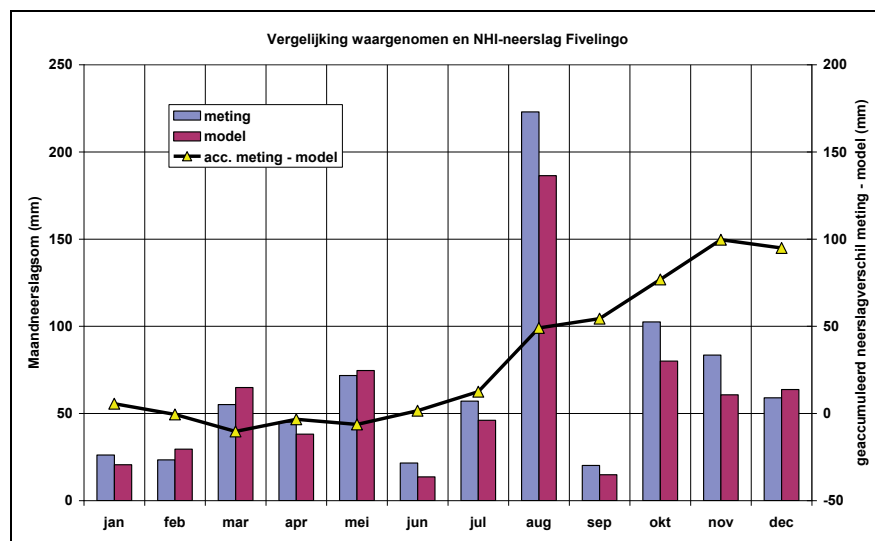
De opgetreden neerslag voor de Noordelijke kustpolders is geschat als gemiddelde van de stations Warffum, Uithuizen en Roodeschool, terwijl de modelneerslag is gebaseerd op de stations Lauwersoog, Eelde en Nieuw Beerta. Voor de Noordelijke kustpolders is het verschil 26% in het groeiseizoen en op jaarbasis 23%.

De neerslag in Fivelingo is geschat als gemiddelde van de stations Middelstum, Delfzijl en Zeerijp, terwijl de modelneerslag is gebaseerd op de stations Eelde en Nieuw Beerta. De verschillen zijn hier voor het groeiseizoen en het jaar 2006 respectievelijk 15 en 12%.

De impact van de verschillen zullen bij de analyse van het modelresultaat voor het oppervlaktewater worden besproken. De onderschatting van de neerslag in het groeiseizoen kan tot een overschatting van de watervraag in het model leiden.



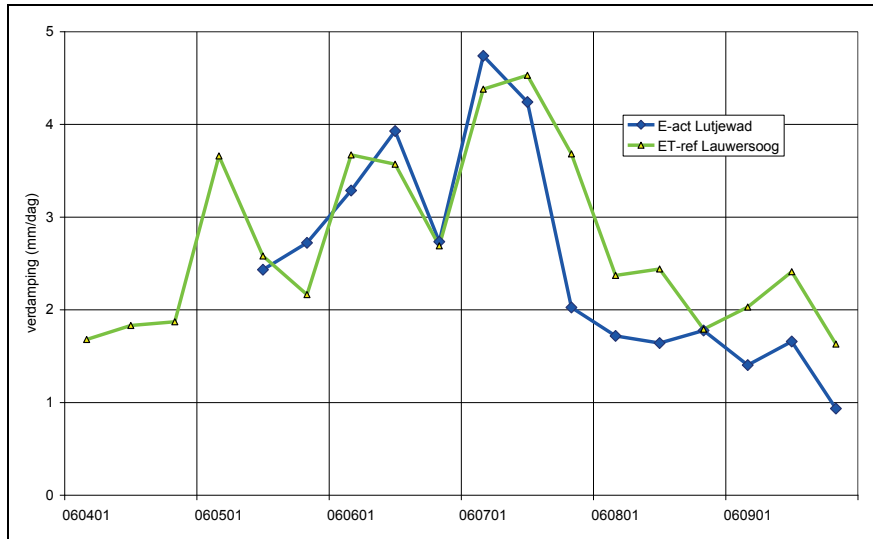
Figuur 3.2 Gemeten en model neerslag voor de Noordelijke kustpolders in 2006



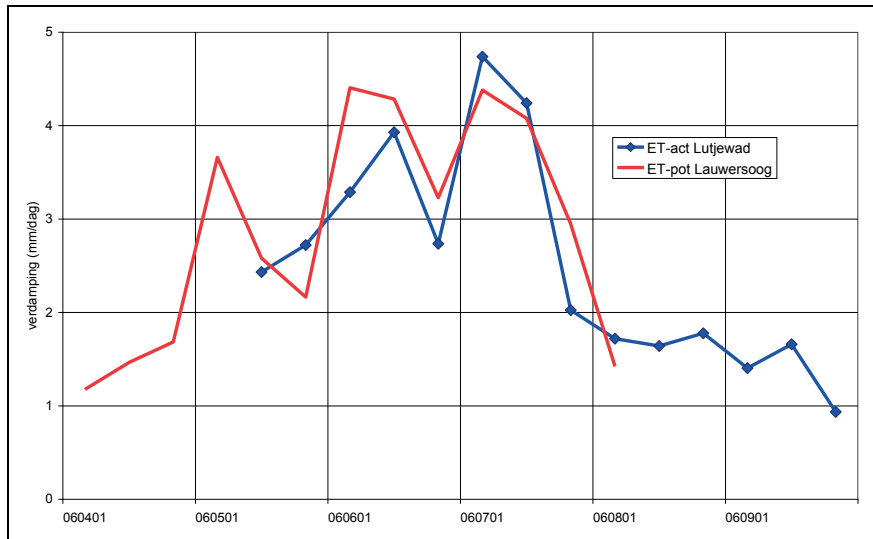
Figuur 3.3 Gemeten en model neerslag voor Fivelingo in 2006

3.2.2 Gemeten en berekende verdamping

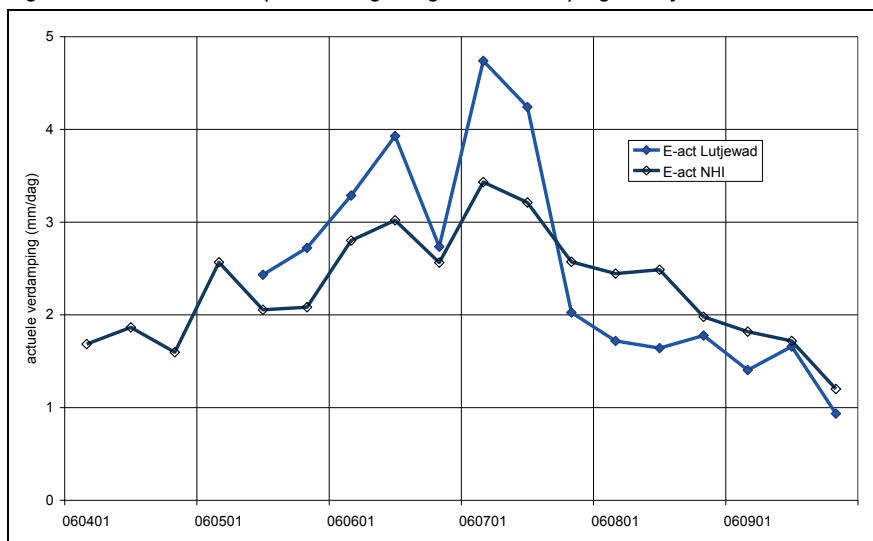
Voor de periode 10/5/2006 - 10/5/2007 zijn voor Lutjewad, 10 km ten oosten van Lauwersoog, gemeten verdampingscijfers beschikbaar via Alterra (zie Elbers, et al, 2009). De metingen zijn uitgevoerd met de eddy-correlatiemethode voor wintertarwe op poldervaaggrond. Resultaten van meting en berekening zijn weergegeven in Figuur 3.4, Figuur 3.5 en Figuur 3.6.



Figuur 3.4 Actuele en referentie verdamping in Lutjewad en Lauwersoog, 2006



Figuur 3.5 Actuele en potentiële graangewasverdamping in Lutjewad en Lauwersoog, 2006



Figuur 3.6 Gemeten en berekende actuele verdamping voor Lutjewad, groeiseizoen 2006

De vergelijking tussen de gemeten actuele verdamping en de referentie gewasverdamping voor het groeiseizoen 2006 geeft aan dat de referentieverdamping vanaf medio juli de actuele verdamping overschrijdt. De potentiële verdamping van een

graangewas wordt verkregen door de referentieverdamping te vermenigvuldigen met de gewasfactoren voor de decades. De berekende potentiële verdamping voor graan sluit redelijk aan bij de waargenomen verdamping. Dit geeft aan dat de verdamping volgens deze berekening ongeveer potentieel is geweest (408 ± 45 mm actueel gemeten tegen 380 mm potentieel berekend).

De vergelijking tussen de gemeten gewasverdamping en de berekende actuele verdamping volgens NHI maakt duidelijk dat het model tot de tweede decade van juli de verdamping te laag berekend en daarna te hoog. Het berekende resultaat ziet er veel vlakker uit dan de meting.

Bij de beoordeling van de resultaten moet men er rekening mee houden dat de onzekerheid in de gemeten actuele verdamping orde 11% bedraagt. Elbers et al (2009) geeft aan dat over de periode 10/5/2006 - 10/5/2007 de referentieverdamping 647 mm bedroeg tegen een gemeten verdamping van 523 mm.

3.3 Oppervlaktewater

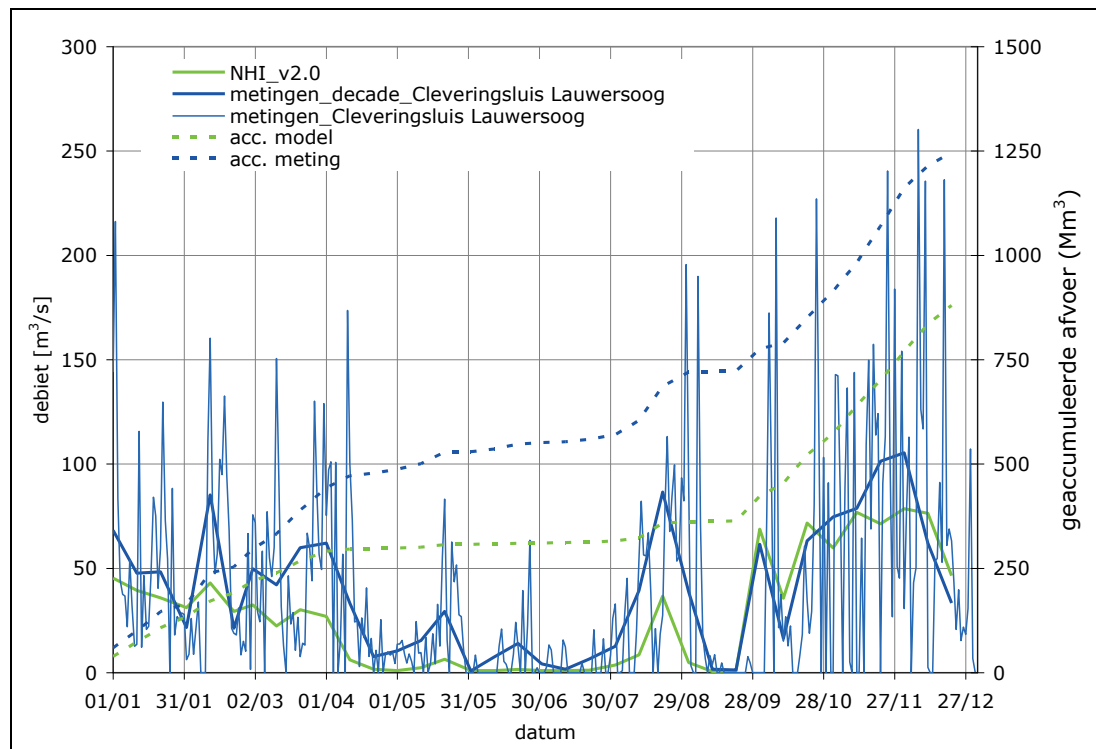
3.3.1 Electraboezem

Voor de Electraboezem wordt conform de analyse voor het jaar 2003 (HKV, 2010) een vergelijking gegeven tussen de gemeten en berekende afvoer via de Cleveringsluizen, zie Figuur 3.7. De verschillen lopen t/m augustus gestaag op. Het model berekent de afvoer te laag. Hiervoor zijn enkele redenen aan te wijzen. Het model neemt de afvoer van het district Lauwersmeer niet in beschouwing, terwijl voorts, door de aangenomen afvoerverdeling in Friesland tussen de Waddenzee en het Lauwersmeer en de limiet aan de afvoer naar beiden, er in 2006 via Dokkumer Nieuwe Zijlen en de Friese Sluis in Zoutkamp in het model te weinig is afgevoerd naar het Lauwersmeer. Verder speelt de onderschatte neerslag een rol. Het model berekent op jaarbasis, inclusief het district Lauwersmeer, een afvoervolume van ongeveer 1040 Mm^3 , terwijl 1246 Mm^3 is gemeten. Dat is een verschil van 20%.

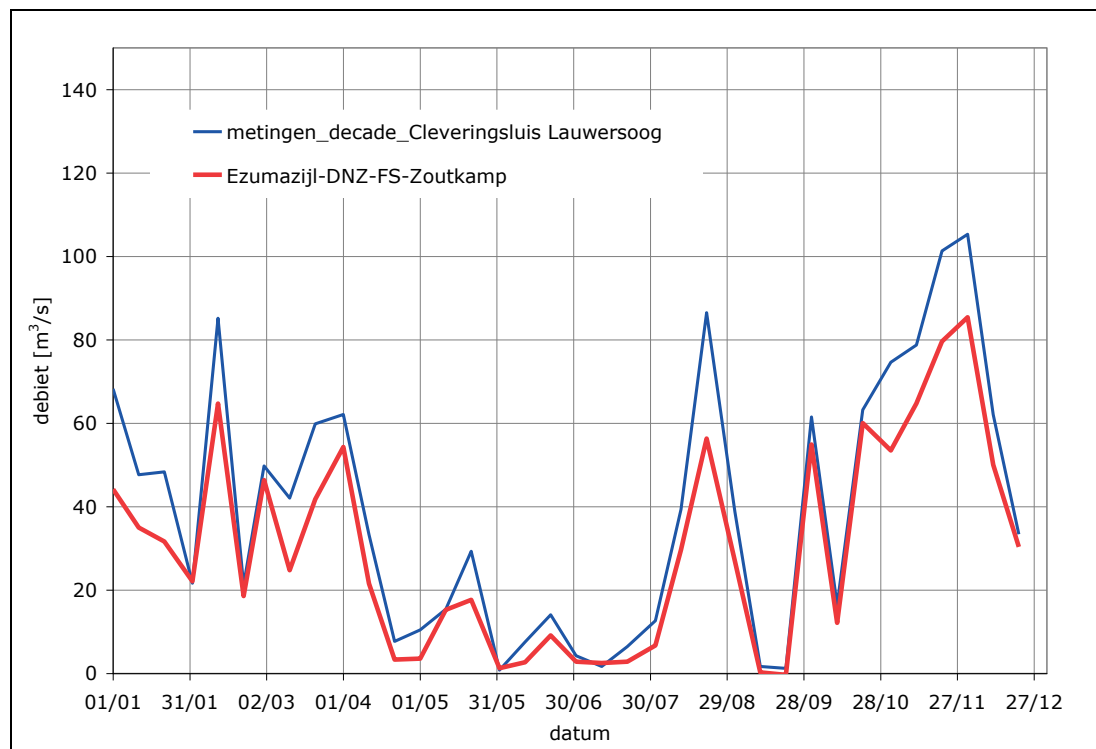
Overigens sluiten de metingen rond het Lauwersmeer ook niet volledig op elkaar aan. De totale gemeten instroming op het meer (ex Nieuw Robbengat) en de afvoer via de Cleveringsluizen is weergegeven in Figuur 3.8. De totale gemeten inlaat bedraagt 948 Mm^3 . Dit dient echter nog gecorrigeerd te worden voor vrije lozing (niet in de aangeleverde afvoeren meegenomen, alleen de gepompte uren worden geregistreerd) en de afstroming van het onbemetende deel. Omdat de grootte van de vrije afstroming niet bekend is, is niet aan te geven in hoeverre dit de balans sluitend maakt. Deze onzekerheid dient in de beoordeling van het modelresultaat ten opzichte van de metingen wel meegenomen te worden. In het kader van de modevaluatie is ook een kritische analyse van de metingen op zijn plaats.

T.a.v. de doorvoer van water naar de Eemskanaalboezem bij Dorkwerd, zie Figuur 3.9, valt op dat de modeldoorvoer in het begin van het groeiseizoen het dubbele van de meting bedraagt, maar dat zij in de rest van het seizoen vrijwel gelijk zijn. Dit is opmerkelijk omdat de berekende doorvoer bij Gaarkeuken aanmerkelijk groter was dan de meting. Nadere analyse van de gegevens van Gaarkeuken geeft aan dat beide versies van de aanvoer bij Gaarkeuken, zowel die van Fryslân als die van Noorderzijlvest niet consistent zijn met de doorvoer bij Dorkwerd, zie Figuur 3.10. In de droge periode mag worden aangenomen dat de doorvoer bij Dorkwerd ongeveer 80% van de aanvoer bij Gaarkeuken bedraagt. Dat is niet conform de metingen: Dorkwerd is ongeveer gelijk aan Gaarkeuken Fryslân en veel groter dan Gaarkeuken Noorderzijlvest. Figuur 3.11 geeft aan dat Gaarkeuken Noorderzijlvest meestal een constante factor lager is dan Gaarkeuken Fryslân. Op jaarbasis is het verschil 36%.

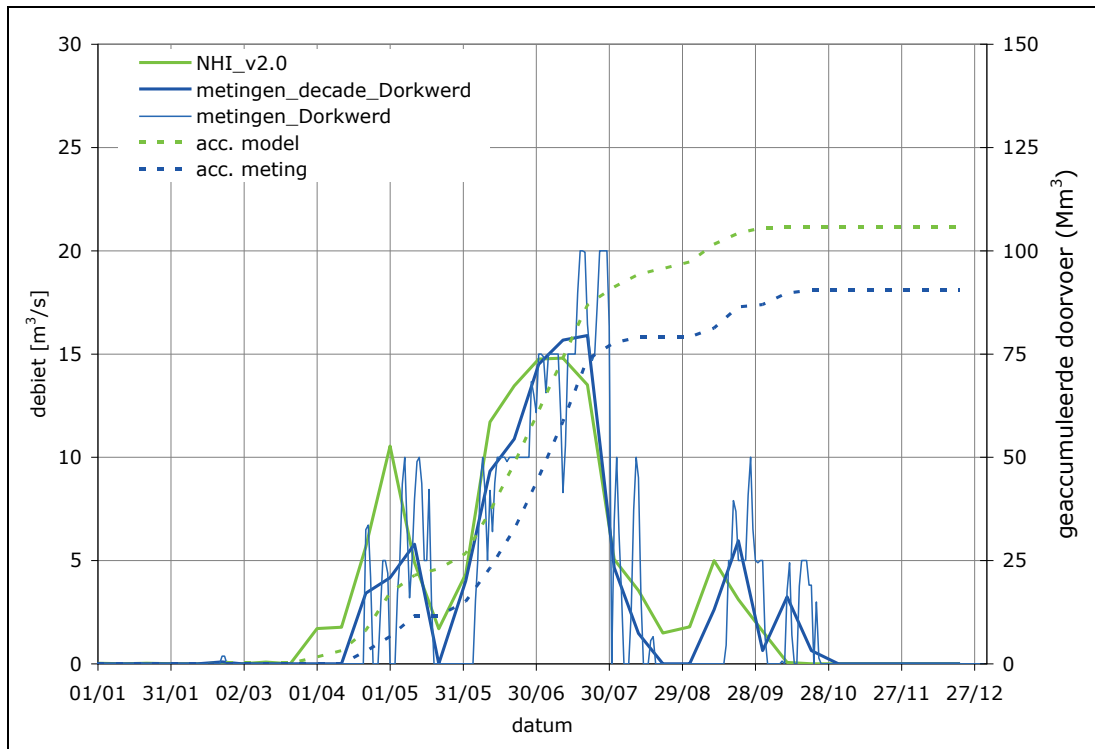
Onder verwijzing naar de studie van De Jager (1965), is door de provincie Groningen aangegeven, dat de inconsistentie tussen Gaarkeuken en Dorkwerd ook verklaard zou kunnen worden door een bijdrage van kwel uit een gebied van ca 100.000 ha ten noorden en ten zuiden van het van Starckenborghkanaal, zie ook Figuur 1.2. Voor een bijdrage van $4 \text{ m}^3/\text{s}$ (grootte van de inconsistentie) betekent dit een kwel van $0.35 \text{ mm}/\text{dag}$.



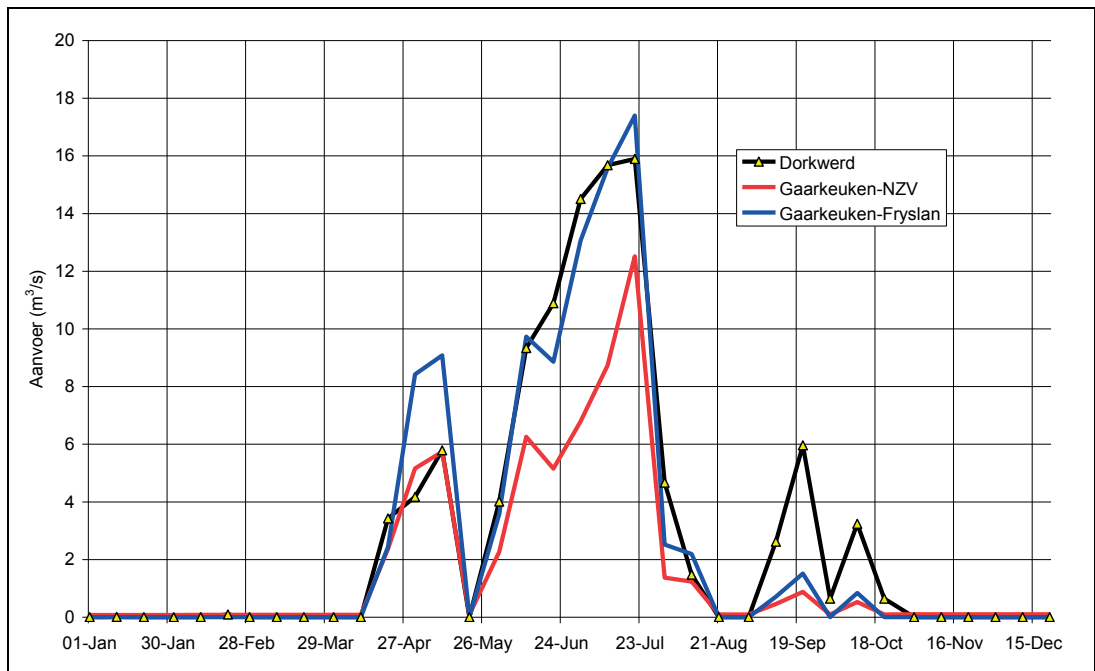
Figuur 3.7 Gemeten en berekende afvoer door de Cleveringsluizen (naar Waddenzee)



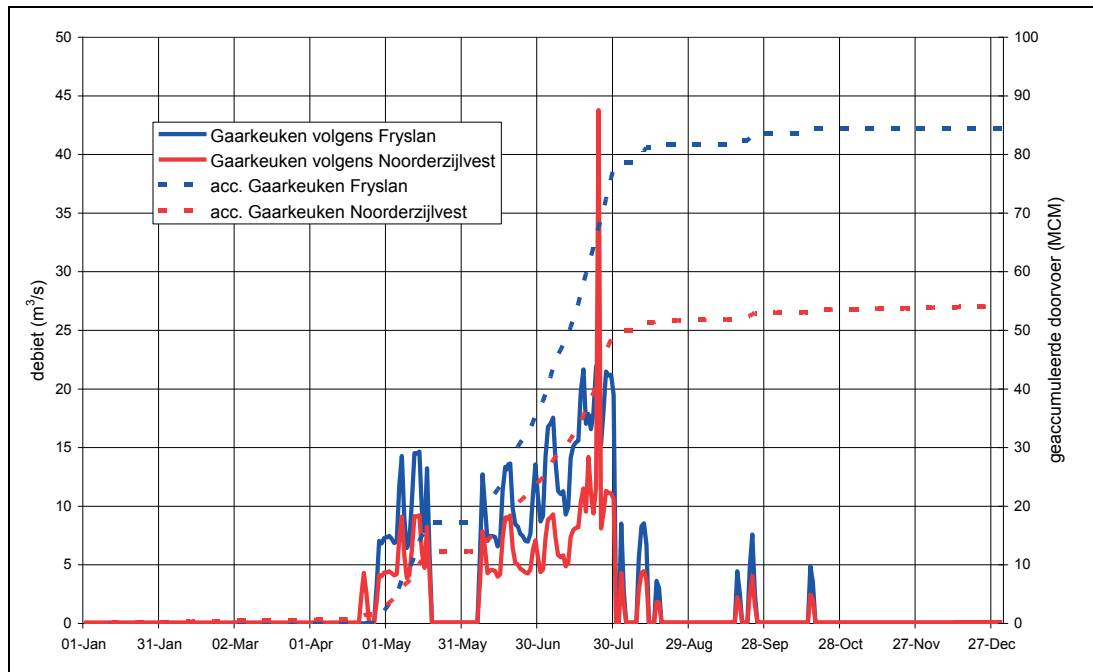
Figuur 3.8 Gemeten inlaat op en afvoer van het Lauwersmeer, 2006



Figuur 3.9 Gemeten en berekende doorvoer naar Hunze en Aa's bij Dorkwerd



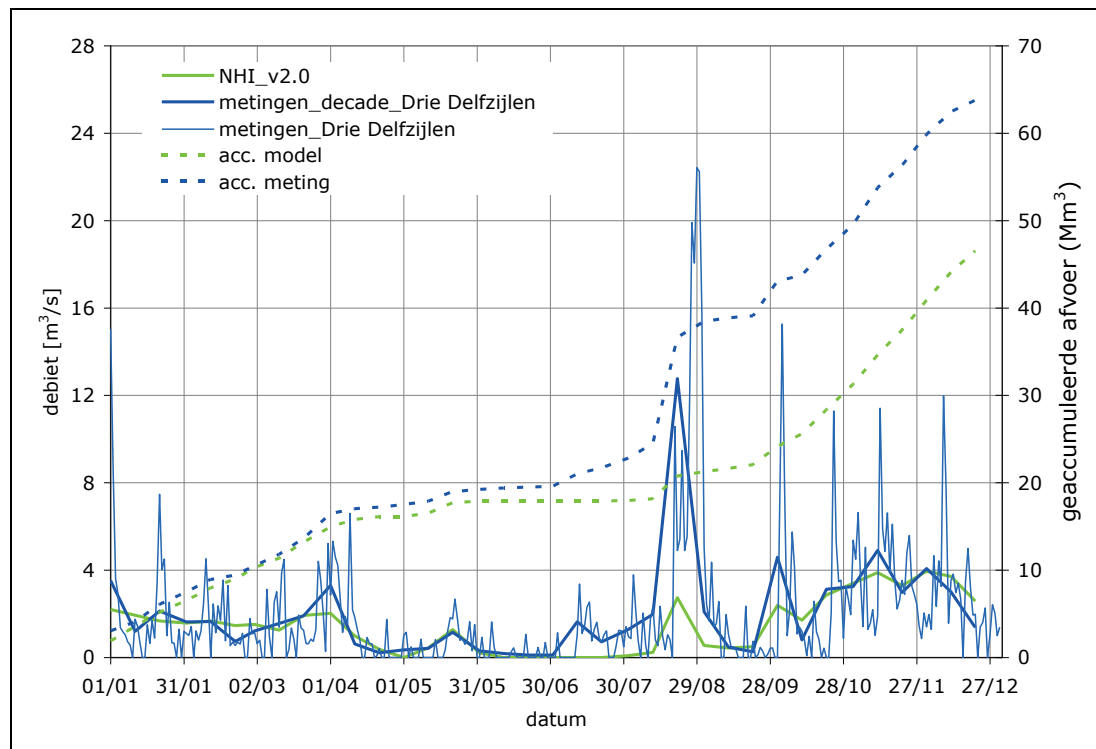
Figuur 3.10 Gemeten doorvoer bij Dorkwerd en bij Gaarkeuken volgens Noorderzijlvest en Fryslân



Figuur 3.11 Gemeten doorvoer bij Gaarkeuken volgens Noorderzijlvest en Fryslân

3.3.2 Fivelingoboezem

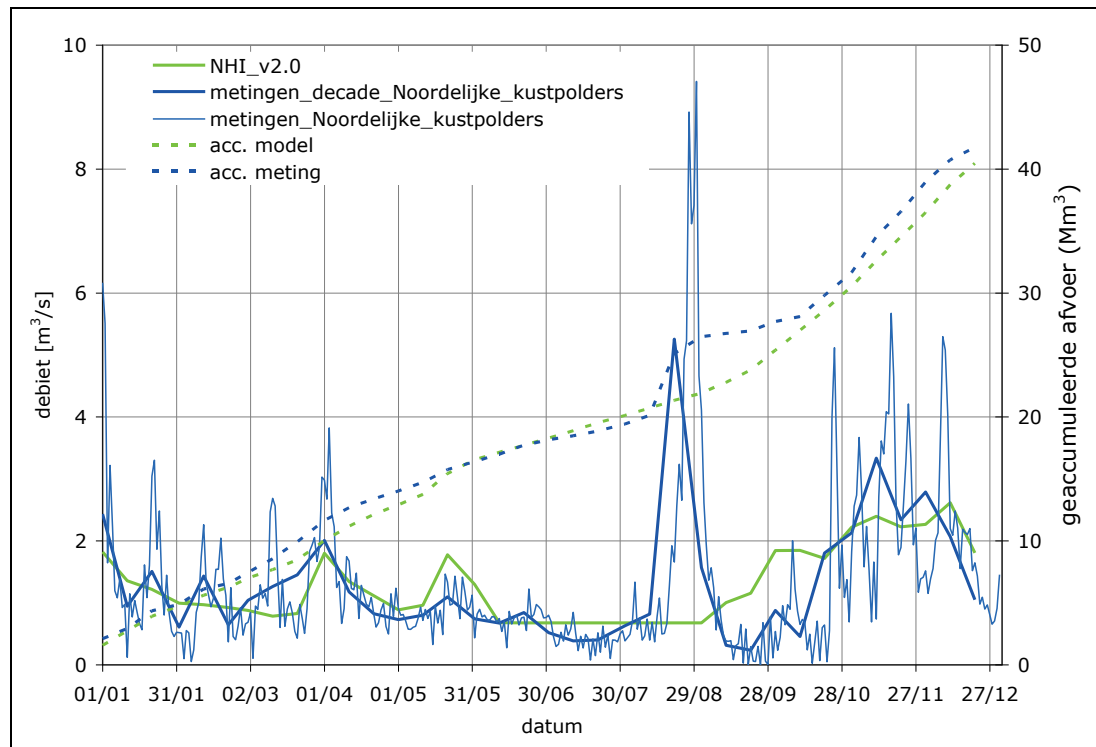
De Fivelingoboezem voert het water in Delfzijl af op de Dollard via het gemaal De Drie Delfzijen. De aanvoer is via het Damsterdiep, maar deze is niet gegeven/gemeten. De gemeten en berekende afvoer zijn weergegeven in Figuur 3.12. De figuur geeft aan dat met uitzondering van de maanden juli - augustus het model de afvoer adequaat reproduceert. De afwijking in juli - augustus is naar verwachting voor een groot deel het gevolg van een onjuist ingevoerde neerslag, zie ook Figuur 3.3.



Figuur 3.12 Gemeten en berekende afvoer van De Drie Delfzijen

3.3.3 Noordelijke kustpolders

De Noordelijke kustpolders van Groningen lozen op de Waddenzee via de gemalen Noordpolderzijl en Spijksterpompen, terwijl in droge periodes water wordt ingelaten uit de Electraboezem. De aanvoer is niet gemeten/gegeven. De gemeten en berekende afvoer is weergegeven in Figuur 3.13. T/m juli simuleert het model de afvoer redelijk maar in augustus en september gaat het volledig mis, met name in augustus. De afvoerpiek in die maand wordt volledig gemist. Figuur 3.2 geeft aan dat de neerslag voor augustus ernstig onderschat is geweest in het model. Het tekort in berekende afvoer in augustus wordt in september bijna gecompenseerd, zodat de gemeten en berekende jaartotalen slechts weinig van elkaar afwijken.



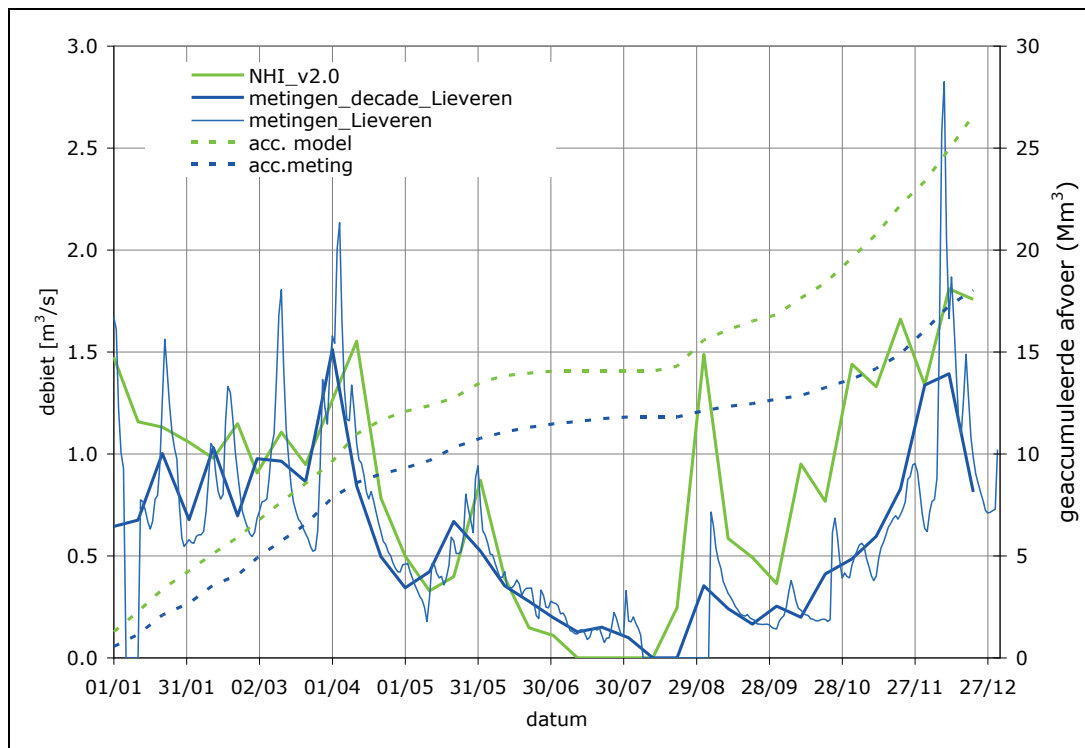
Figuur 3.13 Gemeten en berekende afvoer uit de Noordelijke kustpolders van Groningen

3.3.4 Peizerdiep

Het Peizerdiep draineert het zuidelijk deel van het beheersgebied van het waterschap Noorderzijlvest. In de zomer wordt water ingelaten vanuit het Noord-Willemskanaal, maar gegevens hierover zijn niet aangeleverd. De afvoer van een gebied ter grootte van 13.175 ha wordt gemeten bij Lieveren, waarvoor gegevens beschikbaar zijn. De NHI-uitvoer betreft afvoer van district 3. De grootte van dit district is echter 29.149 ha. Voor de vergelijking van modelresultaat met meting zijn de berekende afvoeren gecorrigeerd naar de oppervlakte bovenstrooms van het meetpunt. De meting en het aangepaste modelresultaat zijn gegeven in Figuur 3.14. De berekende afvoer begint te hoog maar volgt dan de dynamiek van het afvoerloop goed tot medio augustus, echter steeds een decade te laat. Daarna overschat het model de afvoer aanzienlijk. Het lijkt erop dat in het model de berging in de bodem onvoldoende is, dat mede veroorzaakt wordt door onvoldoende wegzijging. In de herfst en wintermaanden is duidelijk sprake van een te groot berekende afvoer via het oppervlak. Op jaarbasis wordt in het model te veel water afgevoerd in vergelijking met de meting. Dat is verrassend omdat de neerslag onderschat lijkt.

De gemeten afvoer op jaarbasis bedraagt slechts 137 mm en de berekende 202 mm. De gemeten waarde lijkt daarmee aan de zeer lage kant indien er geen wegzijging zou

zijn. De jaarneerslagsom van station Roden (gelegen in het gebied) bedroeg in 2006 800 mm. Een afvoer van 137 mm (zonder netto inlaat van water in het groeiseizoen) zou dan een verdamping van 663 mm vragen, terwijl de referentiegewasverdamping in het nabijgelegen meteorologische station Eelde 586 mm bedroeg. Dit houdt in dat er of sprake is van grote wegzijging uit het gebied of van een sterke onderschatting van de gemeten afvoer. De resultaten van de analyses voor Drenthe wijzen alle echter in dezelfde richting, nl dat de wegzijging vanuit het Drents plateau in het model sterk wordt onderschat. Ook de (schijnbare?) inconsistentie tussen de afvoeren bij Gaarkeuken en Dorkwerd wijzen in die richting (zie 3.3.1). De waterbalans van dit district en de gebruikte afvoerrelatie dient daarom nader onderzocht te worden.



Figuur 3.14 Gemeten en berekende afvoer van het Peizerdiep

3.3.5 Overzicht

In Tabel 3.3 is een overzicht gegeven van de afvoer, inlaat en doorvoer zoals is gemeten en berekend voor locaties in waterschap Noorderzijlvest voor het groeiseizoen april – september en het hele kalenderjaar 2006. De tabel geeft aan dat de inlaat en doorvoer door het model zijn overschat en dat de afvoer in het algemeen is onderschat. Voor het groeiseizoen zijn de verschillen procentueel groter dan op jaarbasis. De berekende afvoer van het Peizerdiep vormt hierop een uitzondering.

Tabel 3.3 Overzicht van gemeten en berekende afvoer en inlaatvolumina Noorderzijlvest

	Locatie	meting Mm ³		model Mm ³		meting-model Mm ³		meting-model %	
		groeï	jaar	groeï	jaar	groeï	jaar	groeï	jaar
afvoer	Cleveringsluizen	427	1246	86	880	340.7	366.8	80	29
	Fivelingo	29	64	14	47	15	17.3	52	27
	Noordelijke kp's	20	42	15	41	4.2	1	22	2
	Peizerdiep	8	18	8	27	-0.4	-8.6	-5	-48
inlaat	Gaarkeuken-NZV	53	54	128	128	-75.8	-74.2	-144	-137
	Gaarkeuken Frld	84	84	128	128	-43.9	-43.9	-52	-52
doorvoer	Dorkwerd	86	90	104	106	-17.7	-15.3	-20	-17

3.4 Grondwaterstanden

Overzicht van locaties van grondwaterpeilbuizen, omgevingscondities en naburig neerslagstation

put	X (m)	Y (m)	mv NHI	mv meting	Bodemgesteldheid	neerslagstation
B03G0080	248724	605989	1.07	0.90	klei met akkerbouw	Roodeschool
B07A0125	226999	597100	1.33	1.56	klei met akkerbouw	Eenrum
B06H0055	210070	575708	3.29	3.52	hogere zandgrond	Marum
B11F0203	216900	572050	4.12	4.57	hogere zandgrond	Marum

B03G0080

Peilbuis B03G0080 ligt in de Oostpolder in een kleigebied met akkerbouw, ten noordoosten van Roodeschool. Het gemeten grondwaterstandverloop met de neerslag van Roodeschool is weergegeven in Figuur 3.15. De grondwaterstand reageert snel op de neerslag, gewoonlijk met enkele dm. In de maanden juni-juli zakt de grondwaterstand orde 6 dm, om in augustus ruim 1 m te stijgen in respons op hevige regenval. Het gemeten en berekende verloop is gepresenteerd in Figuur 3.16. Het berekende verloop mist de dynamiek vrijwel volledig en de range blijft ver achter bij die van het gemeten verloop. Het uitputtingsverloop in de droge maand september wordt ook niet gesimuleerd.

B07A0125

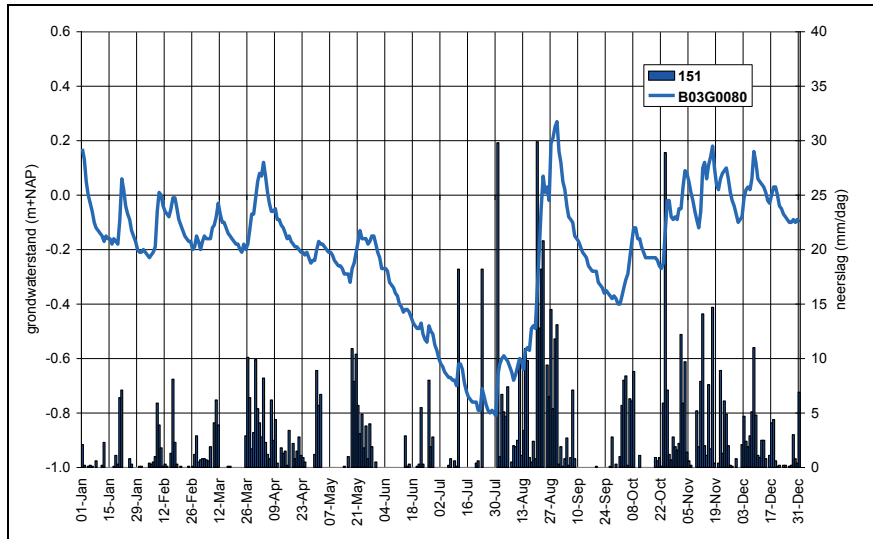
Peilbuis B07A0125 ligt aan de zuidrand van Eenrum ook in een kleigebied met akkerbouw. Het gemeten grondwaterstandverloop met de neerslag van Eenrum is getoond in Figuur 3.17. De reactie van het grondwater op de neerslag en de range van het verloop is vrijwel gelijk aan dat van de vorige peilbuis. Het berekende verloop en de meting zijn weergegeven in Figuur 3.18. Ook hier is geen sprake van enige dynamiek in het verloop. De berekende range is ongeveer 0,5 m maar wordt vooral veroorzaakt door de 9/11 hik, zoals ook in het berekende grondwaterverloop in Friesland is geconstateerd. Figuur 3.19 toont aan dat de verstoring geen reactie is op de neerslag.

B06H0055 en B11F0203

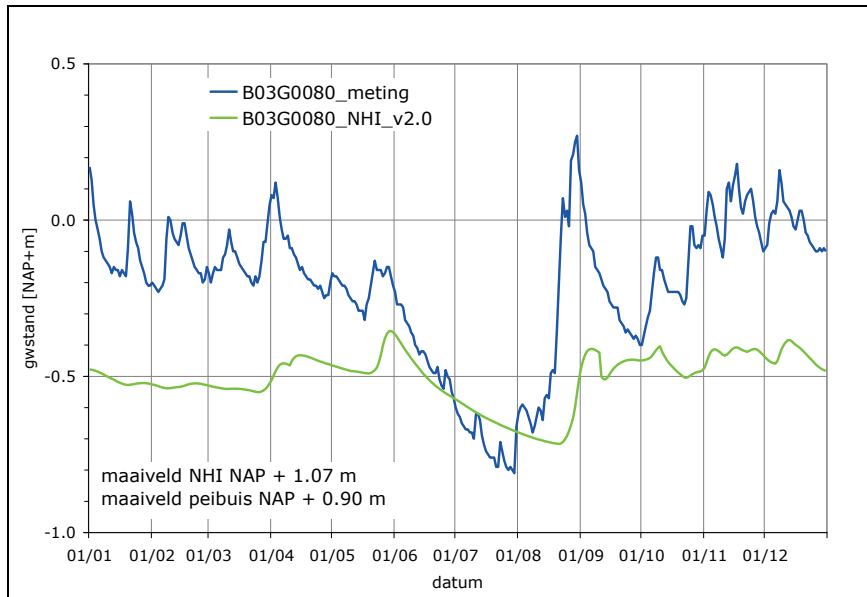
De peilbuizen B06H0055 en B11F0203 bevinden zich op hogere zandgronden met gras en akkerbouw, respectievelijk west en oost van Marum. De gemeten grondwaterstanden met de neerslag van Marum zijn getoond in Figuur 3.20. De verlopen vertonen eenzelfde patroon, echter de respons in peilbuis B06H0055 is sneller en heeft een grotere range. In Figuur 3.21 is het verloop in peilbuis B06H0055 vergeleken met het berekende verloop. Hoewel het berekende verloop de dynamiek mist komt de range redelijk in de buurt van wat er is gemeten. Dit is echter meer een gevolg van de 9/11 hik in de simulatie. De respons in april op de neerslag is ook te traag.

In Figuur 3.22 is het grondwaterverloop in peilbuis B11F0203 vergeleken met het NHI-resultaat. Met uitzondering van de 9/11 hik wordt het verloop redelijk weergegeven in dynamiek en range. Van de hier gepresenteerde simulaties is dit de enige die een acceptabel verloop laat zien. De diepte onder het maaiveld is echter aanzienlijk te hoog: het gemeten grondwater bevindt zich op 2,5 tot 3,0 m onder het maaiveld, terwijl het model het freatisch vlak op 1,0 tot 1,5 m onder het maaiveld legt.

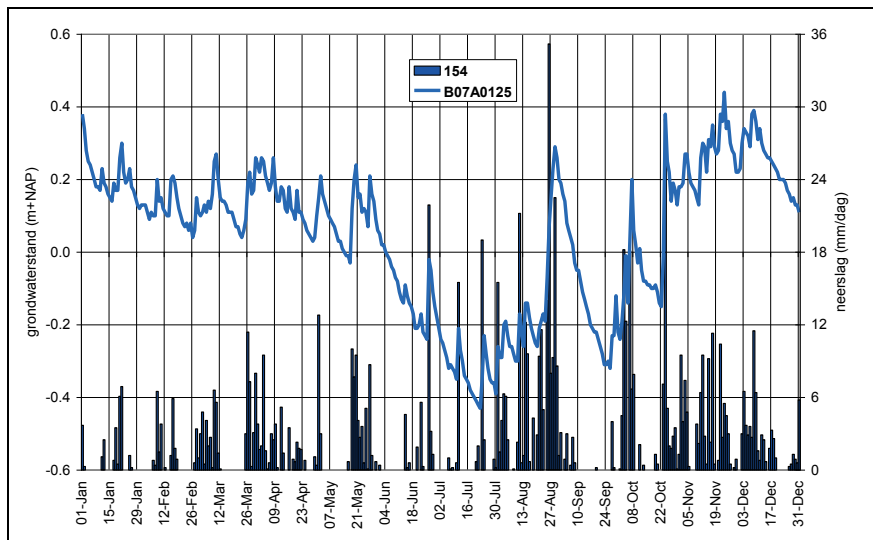
De samenvatting van de resultaten is gegeven in sectie 4.3 met de metingen in het beheersgebied van Hunze en Aa's.



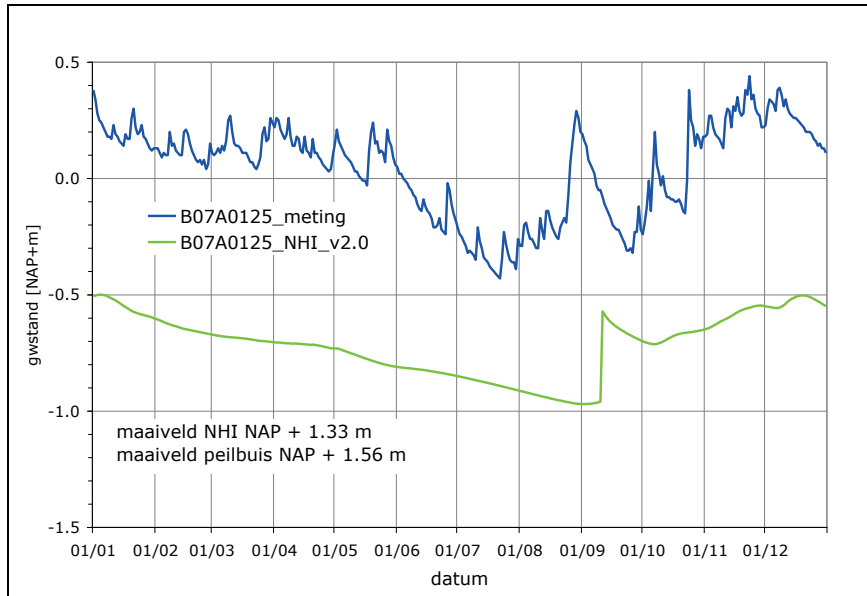
Figuur 3.15 Grondwaterstand peilbuis B03G0080 en de neerslag te Rodeschool, 2006



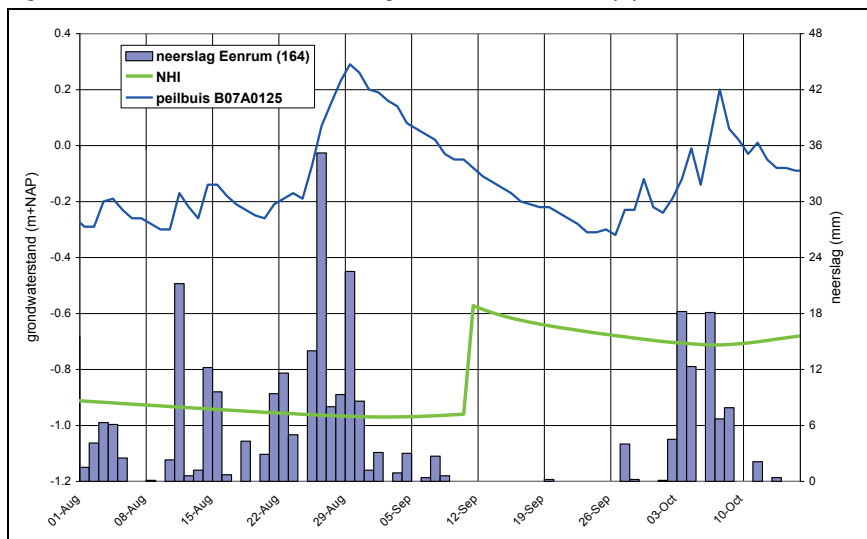
Figuur 3.16 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop peilbuis B03G0080



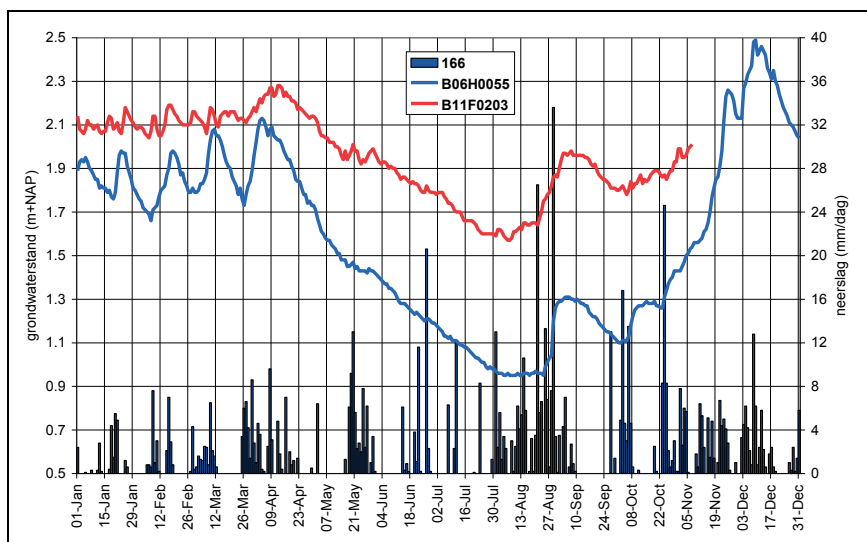
Figuur 3.17 Grondwaterstand peilbuis B07A0125 en de neerslag te Eenrum, 2006



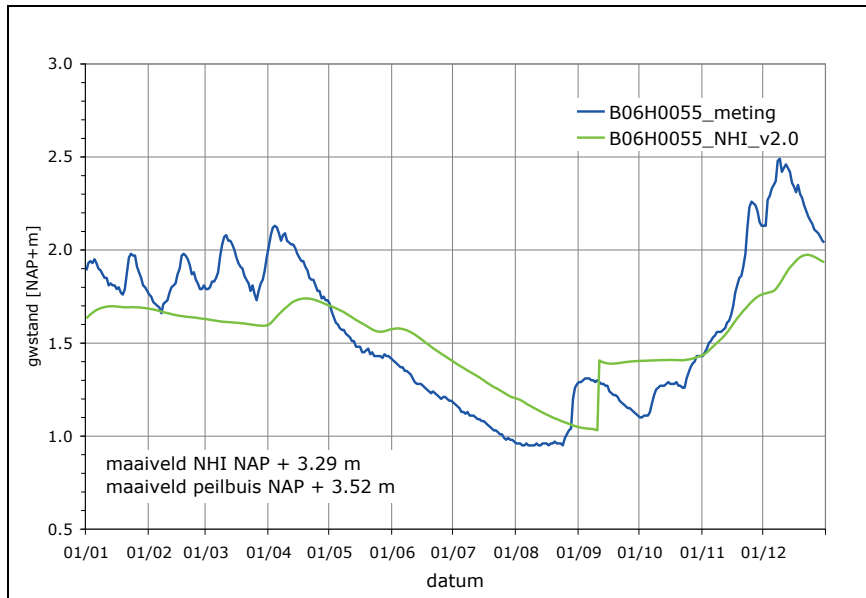
Figuur 3.18 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop peilbuis B07A0125



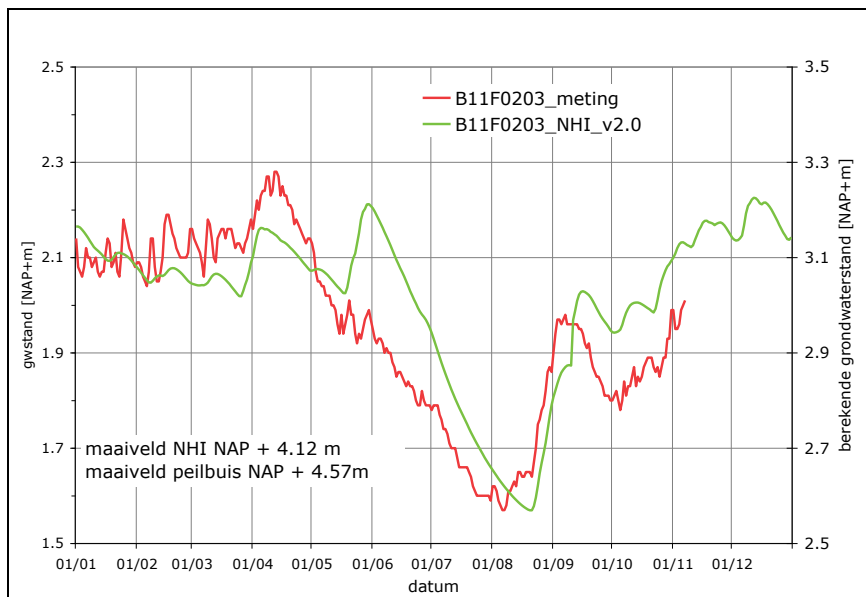
Figuur 3.19 Detail van gemeten en berekend grondwaterstandverloop peilbuis B07A0125



Figuur 3.20 Grondwaterstand peilbuizen B06H0055 en B11F0203 en de neerslag te Marum, 2006



Figuur 3.21 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop peilbuis B06H0055



Figuur 3.22 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop peilbuis B11F0203

3.5 Chlorideconcentraties

Chloride concentraties zijn niet meegenomen in de toetsing, omdat de beschikbare metingen, gezien de meetlocaties, niet representatief worden geacht voor de leidingtrajecten.

4 Hunze en Aa's

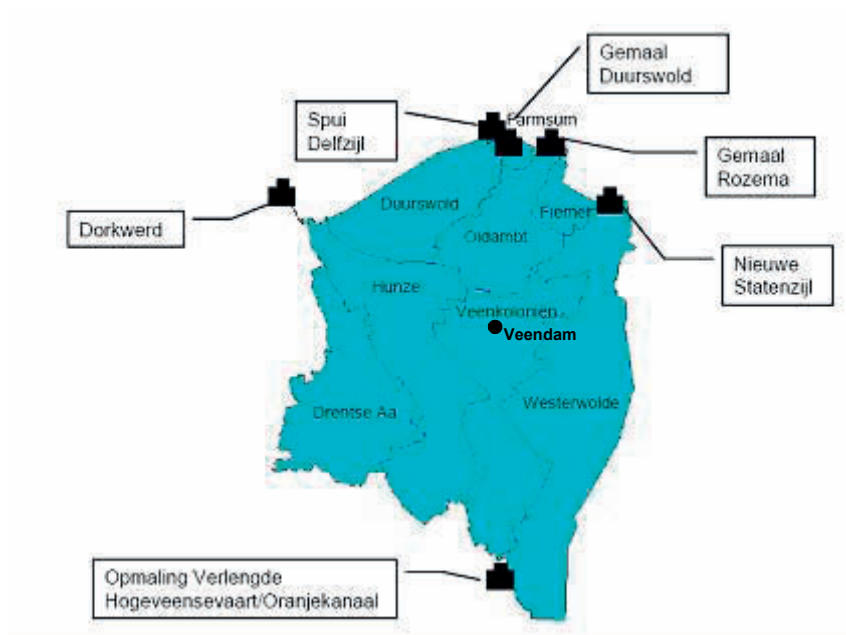
4.1 Gebiedsindeling en kunstwerken

De hydraulische infrastructuur van het Waterschap Hunze en Aa's is in detail beschreven in HKV (2009). De hoofdinfrastructuur wordt gevormd door de Eemsboezem, omvattende het Eemskanaal en het Winschoterdiep ten westen van Zuidbroek, en de Dollardboezem, met daarin het Winschoterdiep overgaand in de Westerwoldse Aa. De Eemsboezem loost bij Delfzijl en de Westerwoldse Aa bij Nieuwe Statenzijl.

Daarnaast omvat het waterschap apart bemalen gebieden die direct op de Dollard lozen, zoals Duurswold via gemaal Duurswold in Farmsum, Oldambt via gemaal Rozema bij Termunterzijl en Fiemel uitmalend bij Punt van Reide. Voor de toegepaste analyses is het niet noodzakelijk hier in detail op in te gaan.

De gebiedsindeling en de locatie van de in- en uitlaatwerken zijn weergegeven in Figuur 4.1. Een overzicht van de inlaat en afvoerkunstwerken met hun capaciteiten is gegeven in Tabel 4.1. In dit hoofdstuk worden de gemeten en berekende afvoeren/inlaten van de volgende gebieden besproken:

- Duurswold
- Oldambt,
- Afvoer Eemskanaal, en
- Aanvoer en afvoer Veendam.



Figuur 4.1 Gebiedsindeling van het waterschap Hunze en Aa's en de inlaat en afvoerkunstwerken

Tabel 4.1 Overzicht van inlaat en afvoerkunstwerken in Hunze en Aa's

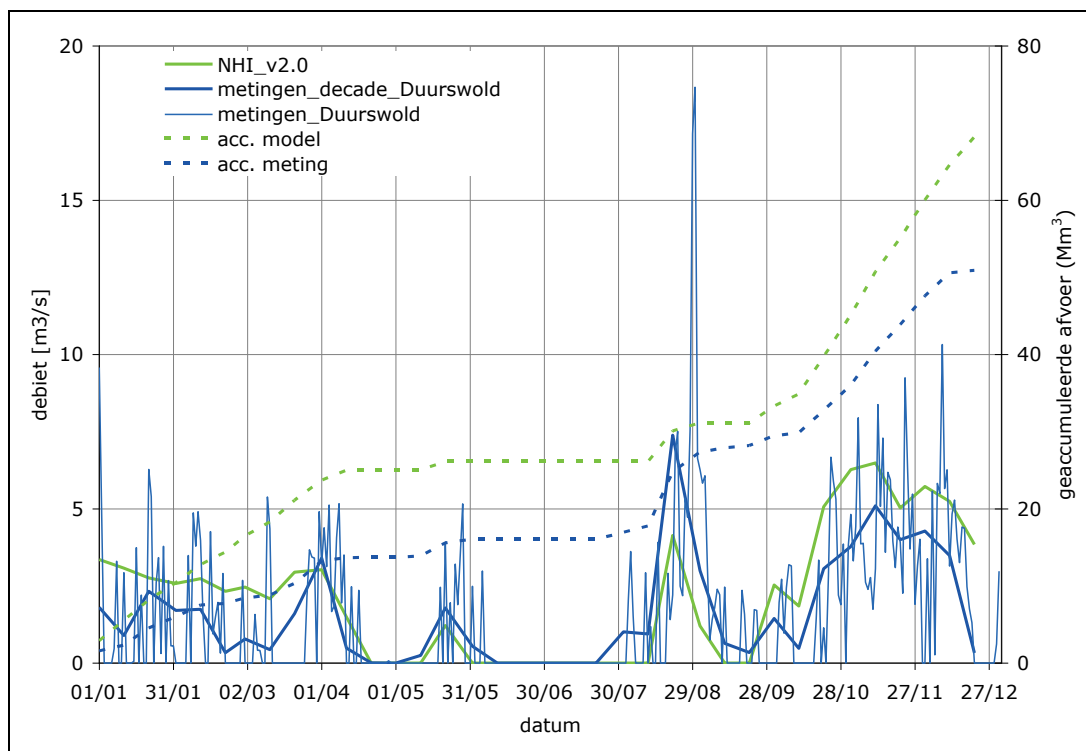
Gebied	Kunstwerk	Locatie	Laat in van / Loost op	Capaciteit (m ³ /s)
Hunze en Aa's				
Inlaat	Ericasluis	Emmen	Verlengde Hoogeveense Vaart naar Veenkolonien	4,5 sc?
	gemaal Dorkwerd	Groningen	Van Starckenborghkanaal naar Dollardboezem	20
Afvoer	De Drie Delfzijen	Delfzijl	Eems	25 sc?
	gemaal Duurswold	Farmsum	Eems	28
	gemaal Rozema	Termunterzijl	Eems	45
	gemaal Fiemel	Punt van Reide	Eems	6,5
	gemaal Nieuwe Statenzijl	Nieuwe Statenzijl	Dollard	100

¹⁾ sc = spuicapaciteit

4.2 Oppervlaktewater

4.2.1 Duurswold

Het stroomgebied Duurswold is een bemalen gebied, met een boezempeil van NAP-1,12 m, die het waterbezwaar via spuien en malen loost op de Dollard in Farmsum. De gemeten en berekende afvoer bij gemaal Duurswold zijn gegeven in Figuur 4.2. Ondanks dat de neerslag in het gebied in het model te laag is (zie hoofdstuk 2) wordt de afvoer op jaarbasis te hoog berekend. Maar niet continu. De figuur geeft aan dat er sprake is van een overschatting in de herfst en wintermaanden en van een onderschatting in het groeiseizoen. De onderschatting in het groeiseizoen, wanneer de afvoer het verschil is van twee bijna even grote getallen neerslag en verdamping, lijkt een gevolg van een te laag aangenomen neerslag. De overschatting van de afvoer in de winter ondanks te laag aangenomen neerslag duidt op onderschatting van de berging in de bodem (hoewel de fluctuatie daarin in peilbeheerste gebieden gering is) en/of overschatting van de kwel. In Oldambt lijkt zich hetzelfde verschijnsel voor te doen, zie volgende subsectie.

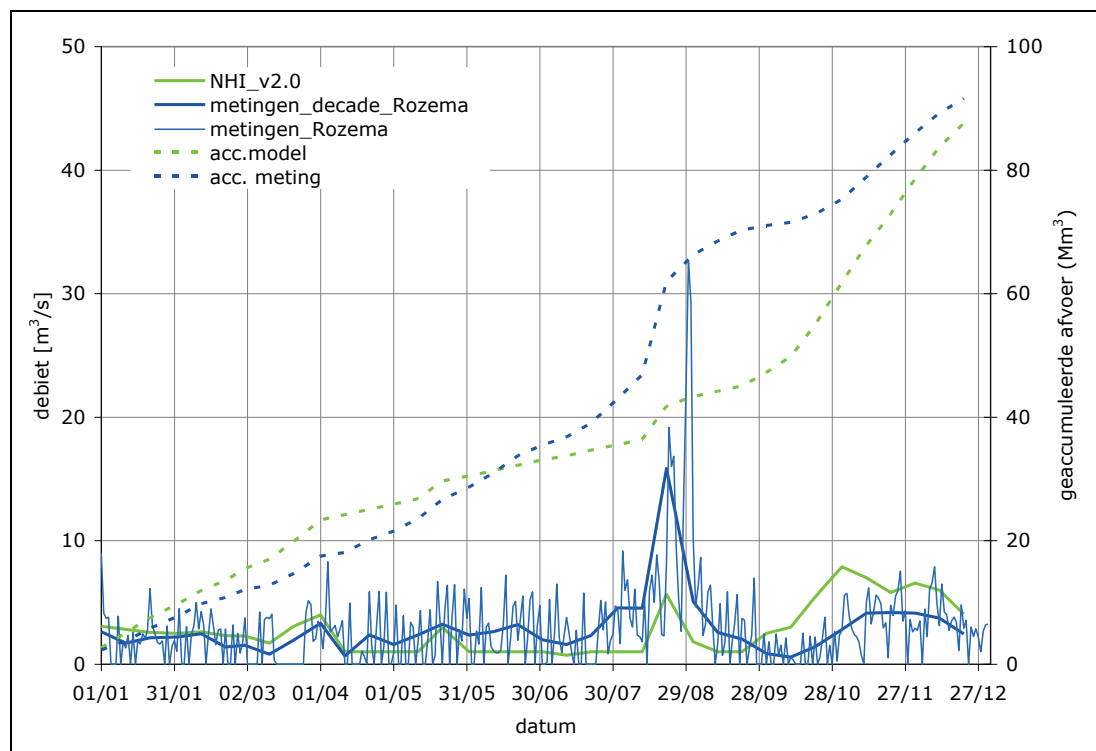


Figuur 4.2 Gemeten en berekende afvoer van gemaal Duurswold

4.2.2 Oldambt

Het stroomgebied van Oldambt is een apart bemalen watersysteem met een streefpeil van NAP-1,36 m, dat loost op de Dollard in Termunterzijl via gemaal Rozema. Dit gemaal heeft in 2006 niet alleen de afvoer van waterbezwaar uit Oldambt verzorgd maar is ook ingezet voor de afvoer van het Eemskanaal, i.v.m. de restauratie van de spuisluis bij Delfzijl van april tot september in dat jaar.

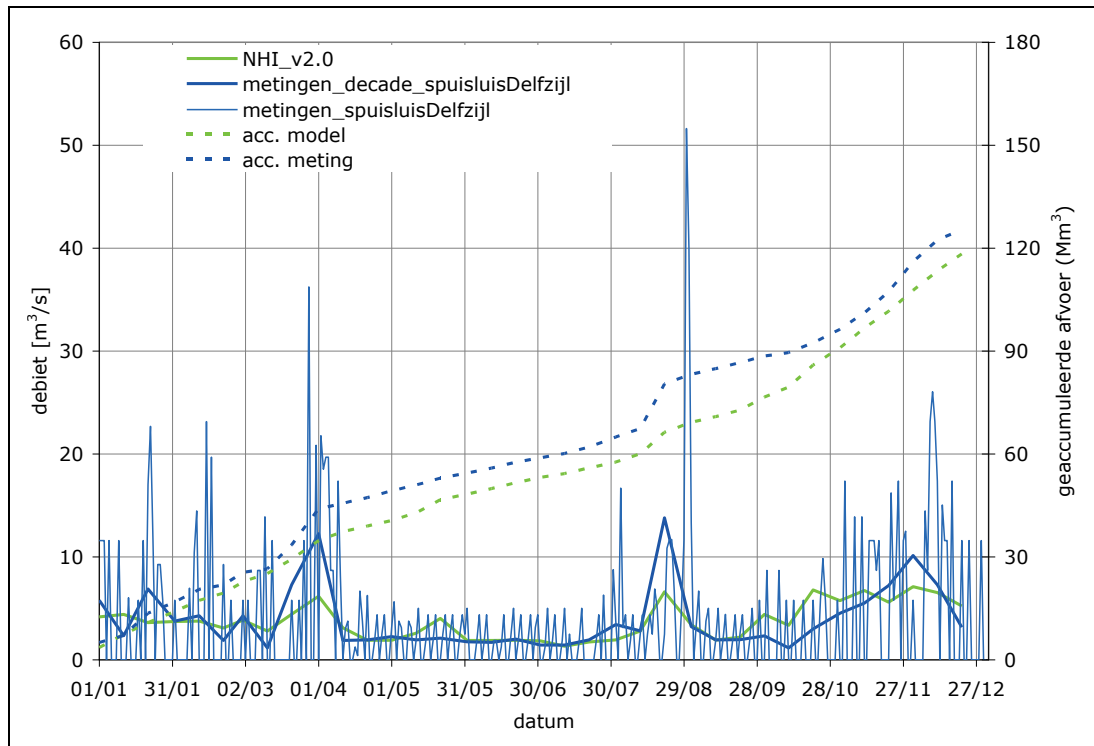
De gemeten en berekende afvoer van Oldambt zijn weergegeven in Figuur 4.3. Het resultaat lijkt sterk op dat van Duurswold, te laag in het groeiseizoen en te hoog in het najaar. Alleen is nu de gemeten afvoer op jaarbasis iets groter dan is berekend. De conclusies zijn echter gelijk: de onderschatting in het groeiseizoen lijkt een gevolg van te weinig neerslag in het model en de overschatting in het najaar van te weinig berging in de bodem en/of overschatte kwel.



Figuur 4.3 Gemeten en berekende afvoer van gemaal Rozema

4.2.3 Eemskanaal

De gemeten en berekende afvoer van het Eemskanaal via de spuisluis bij Delfzijl en via gemaal Rozema bij Termunterzijl van april tot september 2006 toen de spuisluis gerestaureerd werd, zijn weergegeven in Figuur 4.4. De figuur geeft aan dat de pieken in het modelresultaat worden onderschat, te weinig dynamiek, maar dat de berekende jaarbalans weinig afwijkt van het gemeten totaal.



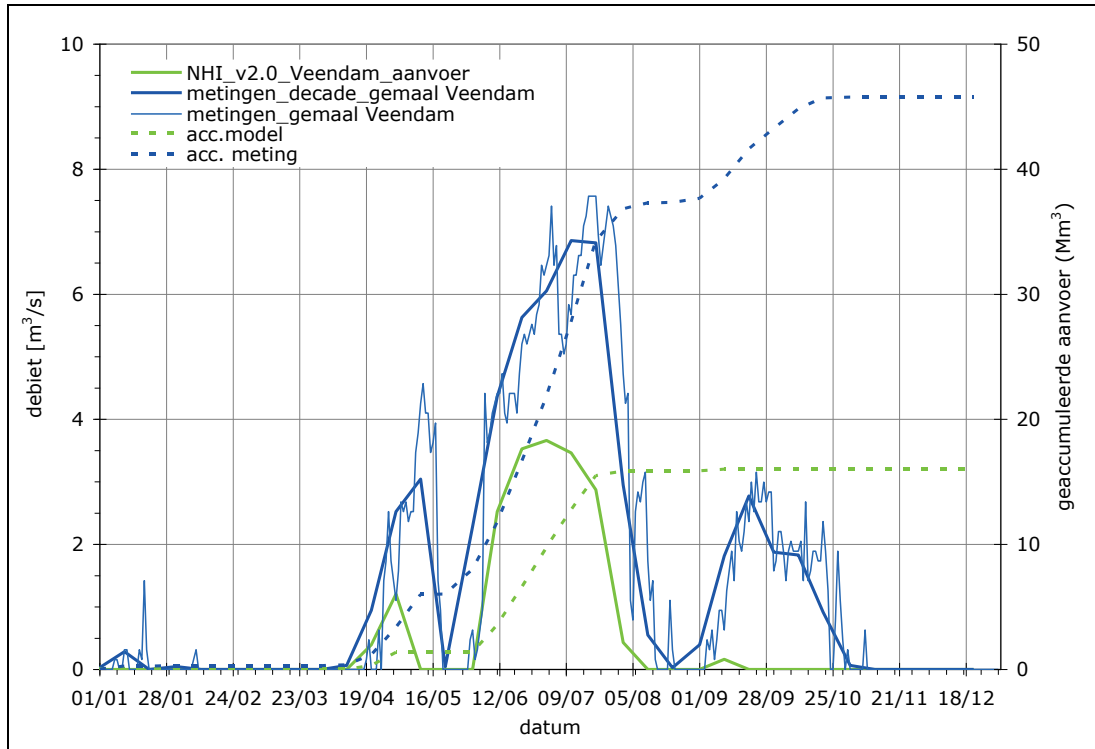
Figuur 4.4 Gemeten en berekende afvoer van de spuisluis Delfzijl

4.2.4 Veendam

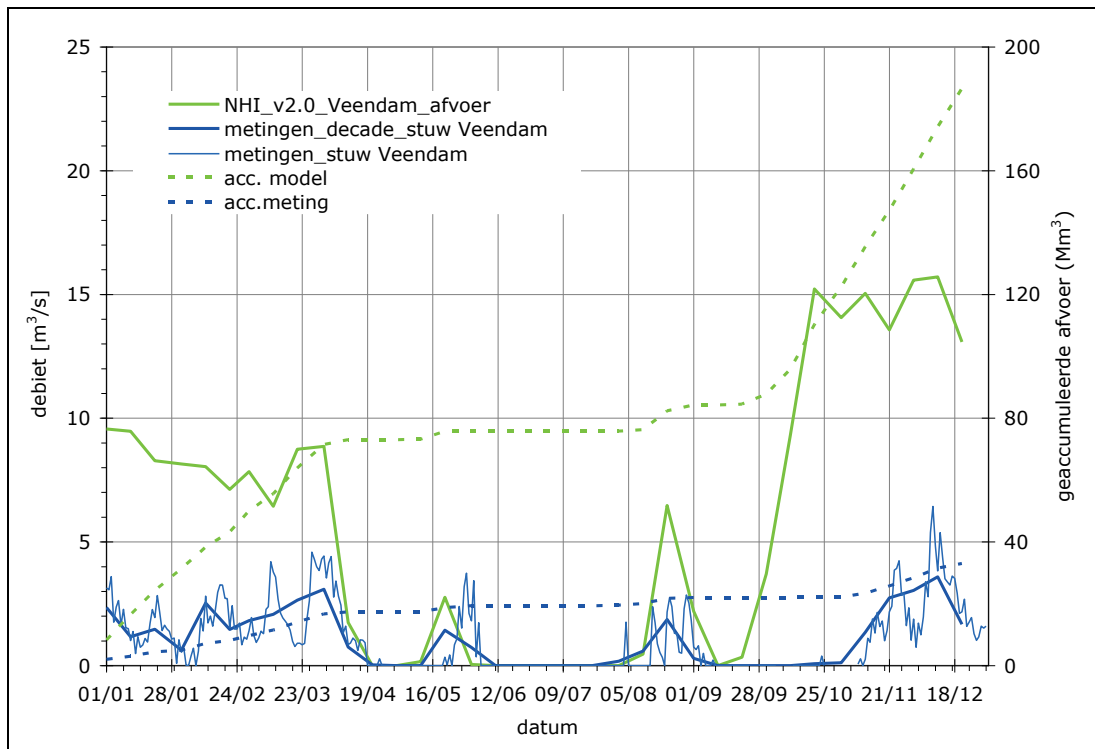
Vanuit de Eemskanaalboezem kan water via Veendam en het Veendam-Musselkanaal worden opgepompt ($7,5 \text{ m}^3/\text{s}$) om een deel van de Hunze en de Groningse Veenkoloniën van water te voorzien. Dit water komt van Dorkwerd. In tijden van waterbezwaar wordt via een stuw bij Veendam water afgevoerd op de Dollardboezem (Winschoterdiep, oostelijk van Zuidbroek). De gemeten en berekende aanvoer en afvoer bij Veendam is weergegeven in Figuur 4.5 en Figuur 4.6. Het model berekent een veel te lage aanvoer en een veel te hoge afvoer. Dit resultaat zal zich herhalen voor de Drentse kanalen.

De te lage aanvoer houdt in dat de watervraag vanuit het bovenliggende gebied in het model kennelijk wordt onderschat. Beperkingen door prioriteitsstellingen lijken niet aan de orde want de doorvoer bij Dorkwerd in 2006 lag beduidend beneden de capaciteit. Een vergelijking met de aanvoer bij Dorkwerd uit metingen en modelresultaten is gegeven in Figuur 4.7 en Figuur 4.8. De figuren geven aan in de praktijk orde 46% van de aanvoer bij Dorkwerd ook bij Veendam passeert. In het model wordt bij Veendam pas water opgepompt wanneer bij Dorkwerd een aanvoer van orde $5\text{-}6 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt overschreden. Een herziening van de verdeelsleutel in het DM is gewenst.

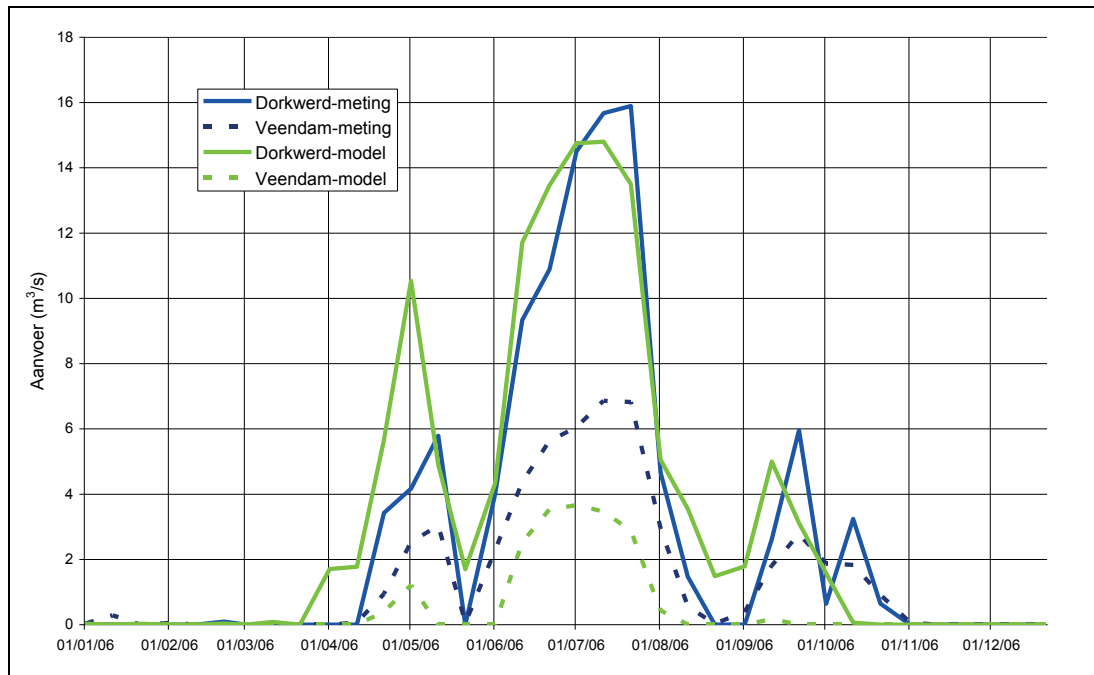
De onderschatting van de watervraag in het bovenstroomse gebied bij een onderschatte neerslag in het model duidt er op dat in het model meer water aanwezig blijft ook in de droge periode. Een mogelijke oorzaak is een onjuiste inschatting van wegzijging van het freatisch grondwater. De wegzijging vanuit het Drents Plateau en de Hondsrug lijkt sterk te worden onderschat in het model. Dit zou ook een verklaring kunnen zijn waarom in het najaar en in de wintermaanden de berekende afvoer de gemeten afvoer ver overschat, Figuur 4.6. Door de onderschatting van de wegzijging is de berging in het model al vroeg vol. De neerslag komt daardoor te snel tot afstroming. Dit heeft in die periode niets te maken met de verdamping, want die is in die maanden nihil.



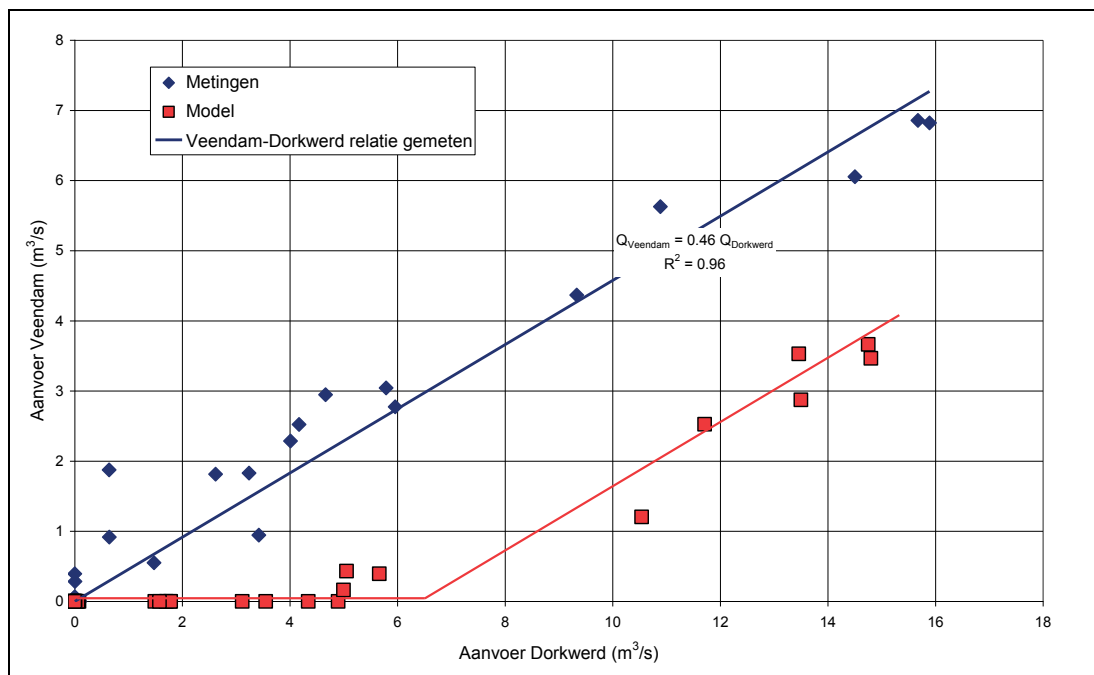
Figuur 4.5 Gemeten en berekende aanvoer van gemaal Veendam



Figuur 4.6 Gemeten en berekende afvoer van stuw Veendam



Figuur 4.7 Gemeten en berekende wateraanvoer bij Dorkwerd en Veendam



Figuur 4.8 Aanvoer te Veendam als functie van de aanvoer bij Dorkwerd

4.2.5 Overzicht

In Tabel 4.2 is een overzicht gegeven van de afvoer en aanvoer zoals is gemeten en berekend voor locaties in het waterschap Hunze en Aa's voor het groeiseizoen april – september en het hele kalenderjaar 2006. De tabel geeft aan dat de afvoer voor het groeiseizoen is onderschat m.u.v. Veendam. Op jaarbasis is de berekende afvoer voor Oldambt en het Eemskanaal ongeveer goed, maar voor Duurswold te hoog en voor Veendam veel te hoog. De berekende aanvoer voor Veendam is met 61% en 65 % overschat voor respectievelijk het groeiseizoen en het kalenderjaar.

Tabel 4.2 Overzicht van gemeten en berekende afvoer en inlaatvolumina Hunze en Aa's

	Locatie	meting Mm ³		model Mm ³		meting-model Mm ³		meting-model %	
		groei	jaar	groei	jaar	groei	jaar	groei	jaar
afvoer	Duurswold	18	51	10	68	7.9	-17.3	44	-34
	Oldambt	56	92	25	88	30.4	4	55	4
	Eemskanaal	53	125	43	118	9.7	7.1	18	6
	Veendam	8	33	21	187	-12.7	-153.6	-159	-465
aanvoer	Veendam	41	46	16	16	25.3	29.8	61	65

4.3 Grondwaterstanden

De kwaliteit van de simulatie van het grondwater in het NHI worden in deze sectie getoetst aan de reproductie van dagelijkse grondwaterstanden gemeten in 4 peilbuizen in het beheersgebied van het waterschap Hunze en Aa's. Een overzicht van de locaties is gegeven in Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Overzicht van locaties van grondwaterpeilbuizen, omgevingscondities en naburig neerslagstation

put	X (m)	Y (m)	mv NHI	mv meting	bodemgesteldheid	neerslagstation
B12D0380	239370	562085	5.05	5.31	hogere zandgronden	Assen
12F-N001	247937	574026	0.85	-	ontgonnen hoogveen	Veendam
13C-R204	273862	556889	5.57	-	ontgonnen hoogveen	Vlagtwedde
B13C0061	262654	553325	7.10	7.84	ontgonnen hoogveen	Nieuw Buinen

B12D0380

Peilbuis B12D0380 bevindt zich in hogere zandgrond met grasland bij Gasteren, ten noordoosten van Assen, nabij de monding van het Gastersche Diep in het Taarlosche Diep. Het gemeten grondwaterstandverloop met de neerslag van Assen is weergegeven in Figuur 4.9. Merk op dat de gegeven maaiveldhoogte van de peilbuis inconsistent is met de gemeten grondwaterstand, tenzij de peilbuis regelmatig wordt overstroomd. Het grondwaterverloop volgt de neerslag vrij snel. Het totale bereik van de grondwaterstand bedraagt 9 dm. De range is mogelijk niet representatief voor de variaties in de rest van het gebied gezien de locatie van de peilbuis nabij de samenvloeiing van twee beken. Een grotere range verder weg van de beekjes is te verwachten. Het berekende grondwaterstandverloop is in Figuur 4.10 vergeleken met de meting. De figuur geeft aan dat het model de dynamiek van het grondwaterstandverloop goed simuleert. Alleen het wegzakken in juni-juli wordt onvoldoende gevolgd en de daaropvolgende stijging in augustus loopt achter. De vroege stijging in augustus in de peilbuis heeft mogelijk meer te maken met de locatie nabij de beekjes dan met een representatieve respons van de bodemvochtcondities in het omliggende gebied op de neerslag. Het onvoldoende wegzakken van de berekende grondwaterstand in juni-juli is consistent met de bevindingen voor het oppervlaktewater. Die resultaten duiden op onvoldoende wegzijging in het model.

12F-N001

Peilbuis 12F-N001 (Tripscompagnie) ligt in grasland op ontgonnen hoogveen direct ten zuiden van Hoogezand. Het grondwater reageert hier heel snel op de neerslag, zie Figuur 4.11, en heeft een jaarlijkse range van 7 dm. Merk op dat de grootste daling hier in september is opgetreden. Figuur 4.12 geeft een vergelijking tussen het berekende en gemeten verloop van de grondwaterstand. De gemiddelde niveaus komen overeen, maar het berekende verloop mist de dynamiek en de range is minder dan de helft van wat is waargenomen, waarbij de grootste bijdrage wordt geleverd door de 9/11 hik. Het

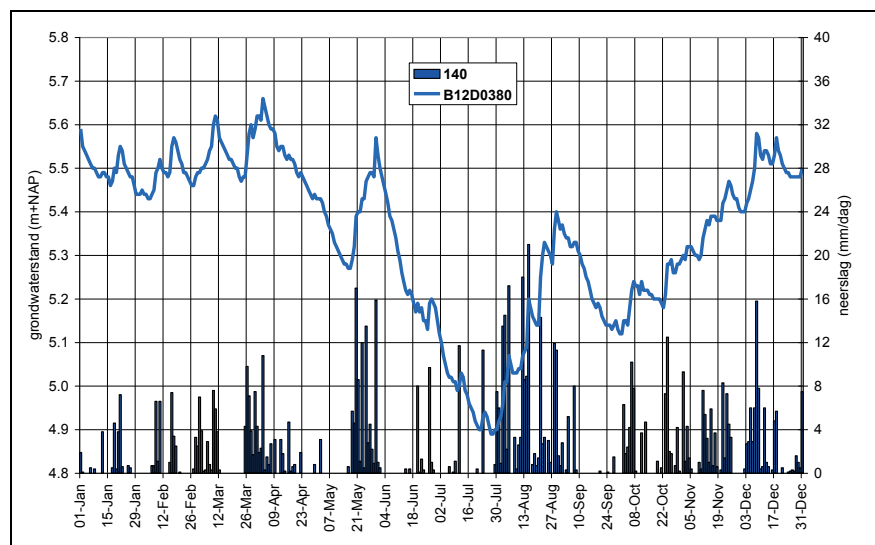
herstel van de grondwaterspiegel in augustus komt te laat en de daling in september wordt volledig gemist.

13C-R204

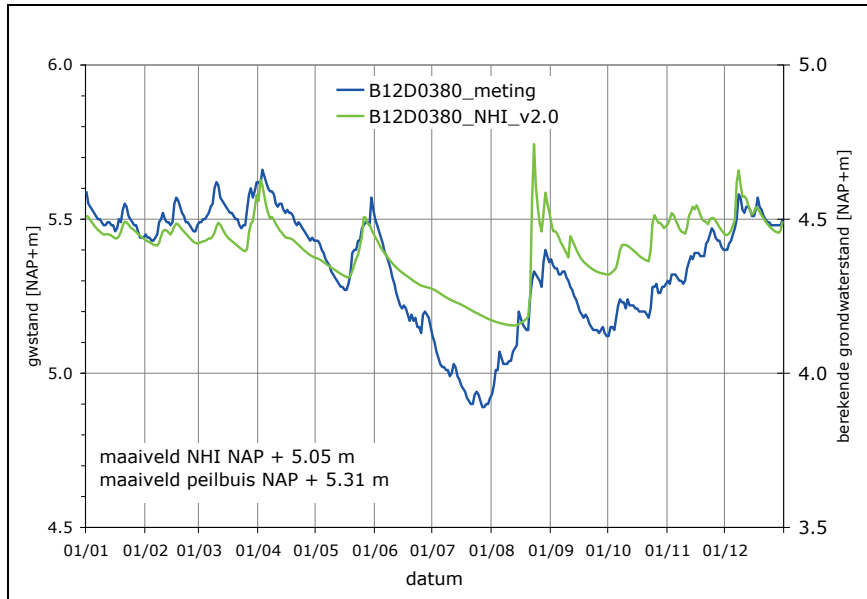
Peilbuis 13C-R204 (Mussel) ligt in akkerland op ontgonnen hoogveen tussen Bourtange en Sellingen, ten zuiden van Vlagtwedde, nabij de Ruiten Aa. Het grondwaterverloop heeft een bereik van orde 6 dm en reageert zeer snel op de neerslag, zie Figuur 4.13. Merk op dat de referentie van de grondwaterstand niet consistent is met de maaiveldhoogte in dit gebied volgens de topografische kaart. Het grondwater in het model reageert duidelijk veel trager op de neerslag, zie Figuur 4.14, bereikt zijn laagste stand een maand te laat en vertoont in september een stijging door de 9/11 hik, daar waar het een daling had moeten geven. Alleen het bereik komt overeen met de meting.

B13C0061

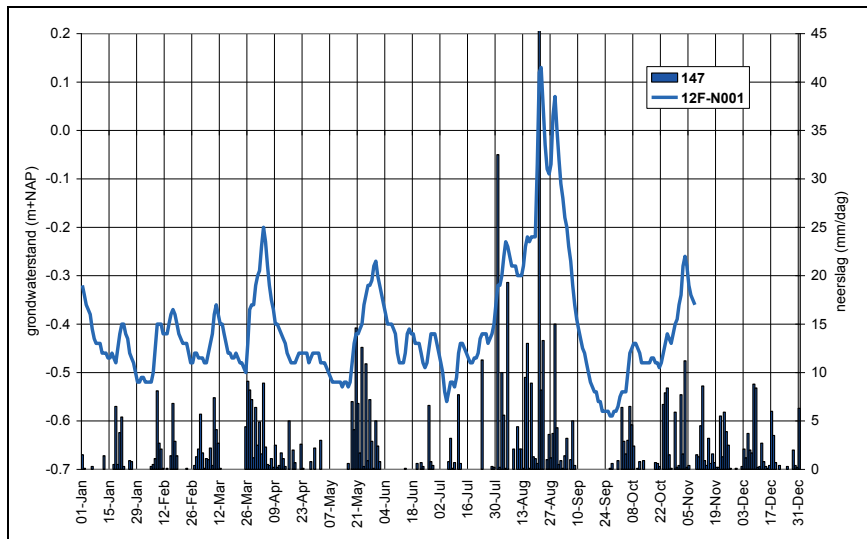
Peilbuis B13C0061 bevindt zich in een akkerland op ontgonnen hoogveen, tussen Stadskanaal en Musselkanaal, dicht bij het Mussel kanaal. De grondwaterstand met de neerslag van het nabijgelegen station Nieuw Buinen is weergegeven in Figuur 4.15. De grondwaterstanden reageren heel snel op de neerslag, en de jaarlijkse range bedraagt hier orde 6 dm. Figuur 4.16 geeft een vergelijking tussen meting en het modelresultaat. De figuur geeft aan dat het berekende grondwaterstandverloop veel trager reageert op de neerslag, weinig dynamiek vertoont, een geringer bereik heeft en vanaf september een onverklaarbaar gedrag vertoont.



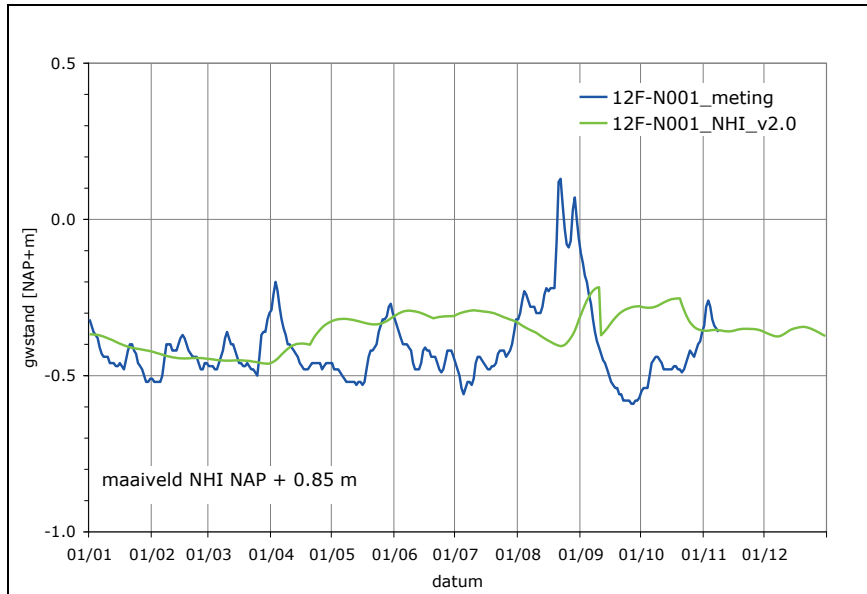
Figuur 4.9 Grondwaterstand peilbuis B12D0380 en de neerslag te Assen, 2006



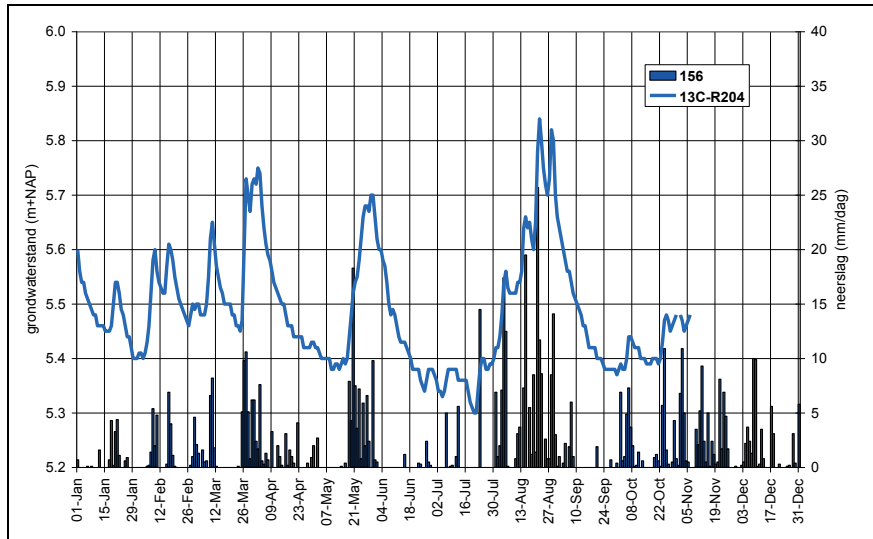
Figuur 4.10 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop peibuis B12D0380



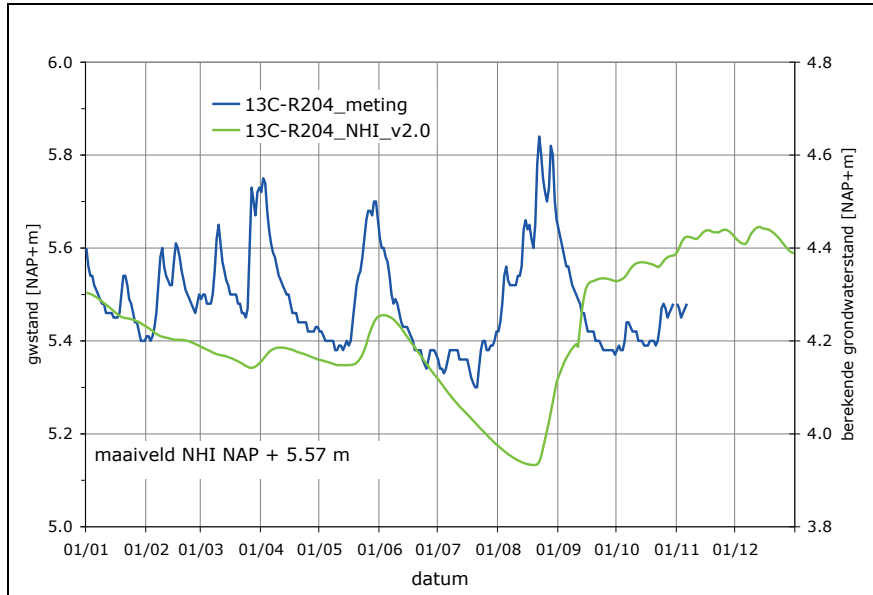
Figuur 4.11 Grondwaterstand peilbuis 12F-N001 en de neerslag te Veendam, 2006



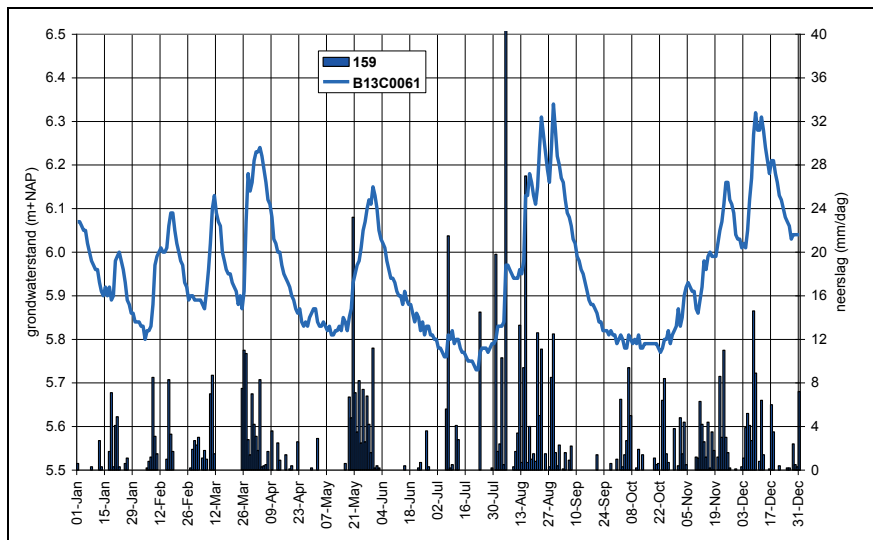
Figuur 4.12 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop peibuis 12F-N001



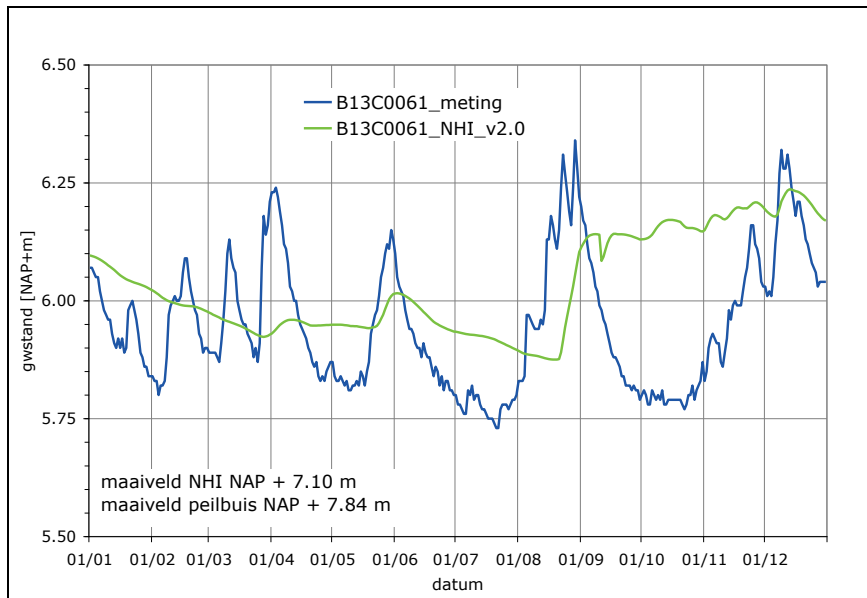
Figuur 4.13 Grondwaterstand peilbuis 13C-R204 en de neerslag te Vlagtwedde, 2006



Figuur 4.14 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop peilbuis 13C-R204



Figuur 4.15 Grondwaterstand peilbuis B13C0061 en de neerslag te Nieuw Buinen, 2006



Figuur 4.16 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop peilbuis B13C0061

In Tabel 4.4 zijn de resultaten van de validatie van het model t.a.v. de reproductie van grondwaterstanden in Groningen en Noord Drenthe samengevat. Alleen voor de hogere zandgronden is er sprake van enig succes. Het resultaat in twee van de drie gevallen is hier acceptabel m.b.t. de dynamiek. De range wordt in 1 geval goed gesimuleerd. Voor de peilbuizen in klei gebieden en op ontgonnen hoogveen is het resultaat slecht, alleen de range wordt enigszins gereproduceerd, hoewel vaak door toedoen van de 9/11 hik, dus gespeend van enige fysische oorzaak

Tabel 4.4 Overzicht van resultaten van simulatie van grondwaterstanden in Groningen en noord-Drenthe

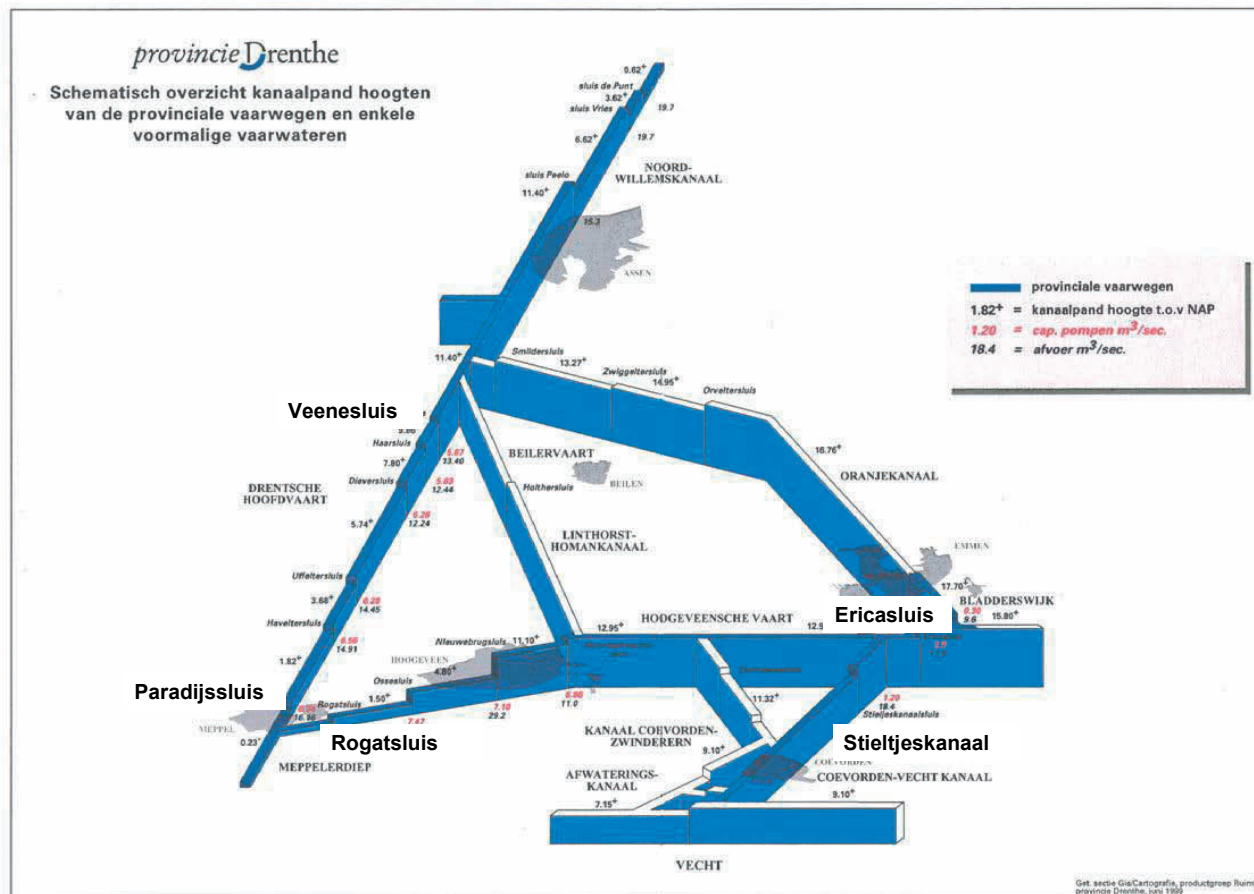
put	mv NHI	bodemgesteldheid	dynamiek		range
			groeiseizoen	okt-mrt	
B03G0080	1.07	klei met akkerbouw	-	-	-
B07A0125	1.33	klei met akkerbouw	-	-	-
B06H0055	3.29	hogere zandgrond	-	-	+/-
B11F0203	4.12	hogere zandgrond	+	+	+
B12D0380	5.05	hogere zandgrond	+	+	+/-
12F-N001	0.85	ontgonnen hoogveen	-	-	-
13C-R204	5.57	ontgonnen hoogveen	-	-	+/-
B13C0061	7.10	ontgonnen hoogveen	-	-	+/-

5 Drentse kanalen

5.1 Hydraulische infrastructuur

De water aan- en afvoer in Drenthe verloopt via een stelsel van kanalen, zie Figuur 5.1. Vanaf Groningen, loopt het Noord-Willemskanaal dat aansluit op de Drentse Hoofdvaart. De Drentse Hoofdvaart komt bij Meppel samen met de oost-westverbinding de Hoogeveense vaart om uit te monden in het Meppelerdiep. Oostelijk van Hoogeveen gaat de Hoogeveense Vaart over in de Verlengde Hoogeveense Vaart. Het Oranjekanaal vormt een verbinding tussen de Verlengde Hoogeveense Vaart bij Emmen en de Drentse Hoofdvaart bij Hoogersmilde. Verbinding tussen de Verlengde Hoogeveense Vaart en de Vecht is er via het Stieltjeskanaal en Kanaal Coevorden – Zwinderen. De geleverde aan- en afvoergegevens t.b.v. de validatie van het NHI betreffen de volgende kunstwerken, zie Figuur 5.1:

- Veenesluis in de Drentse Hoofdvaart



Figuur 5.1 Schematisch overzicht kanaalpannden en streefpeilen van de Drentse kanalen, met locatie van kunstwerken (bron: Provincie Drenthe)

Tabel 5.1 Sluis en pompcapaciteit van sluizen in Drentse kanalen

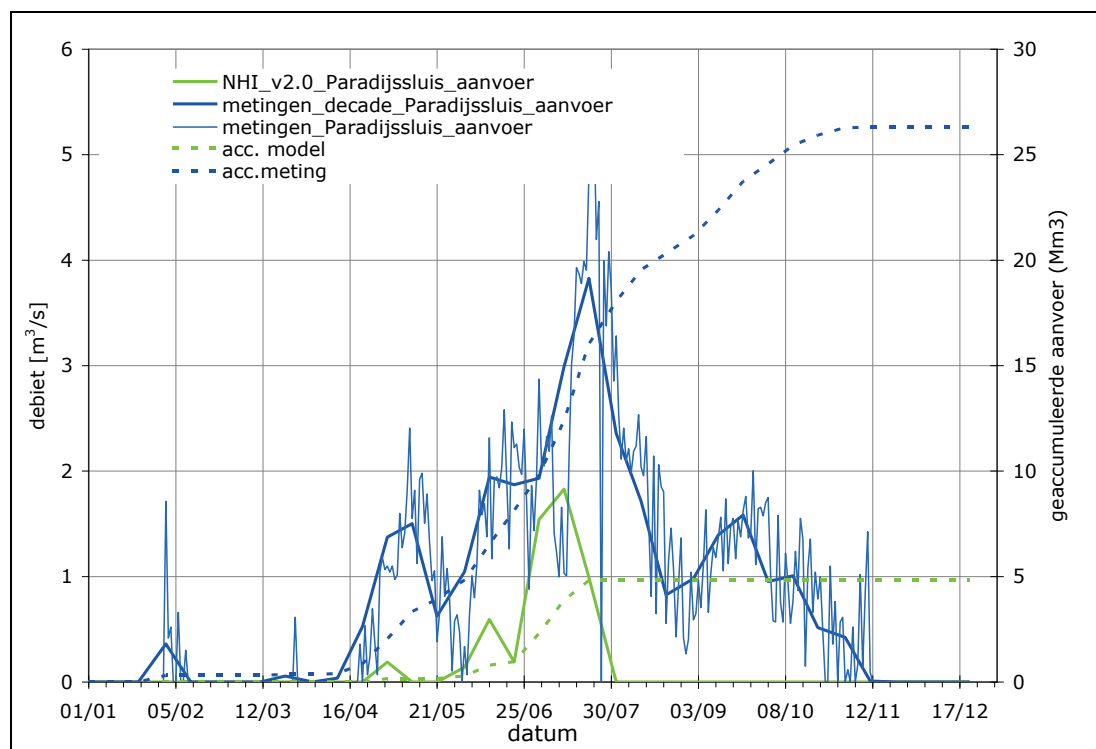
Sluis	Capaciteit (m ³ /s)	
	sluis	pompen
Veenesluis	13,4	5,9
Paradijssluis	16,2	6,7
Rogatsluis	43,3	8,2
Ericasluis	17,0	5,8
Stieltjeskanaalsluis	18,4	1,2

5.2 Oppervlaktewater

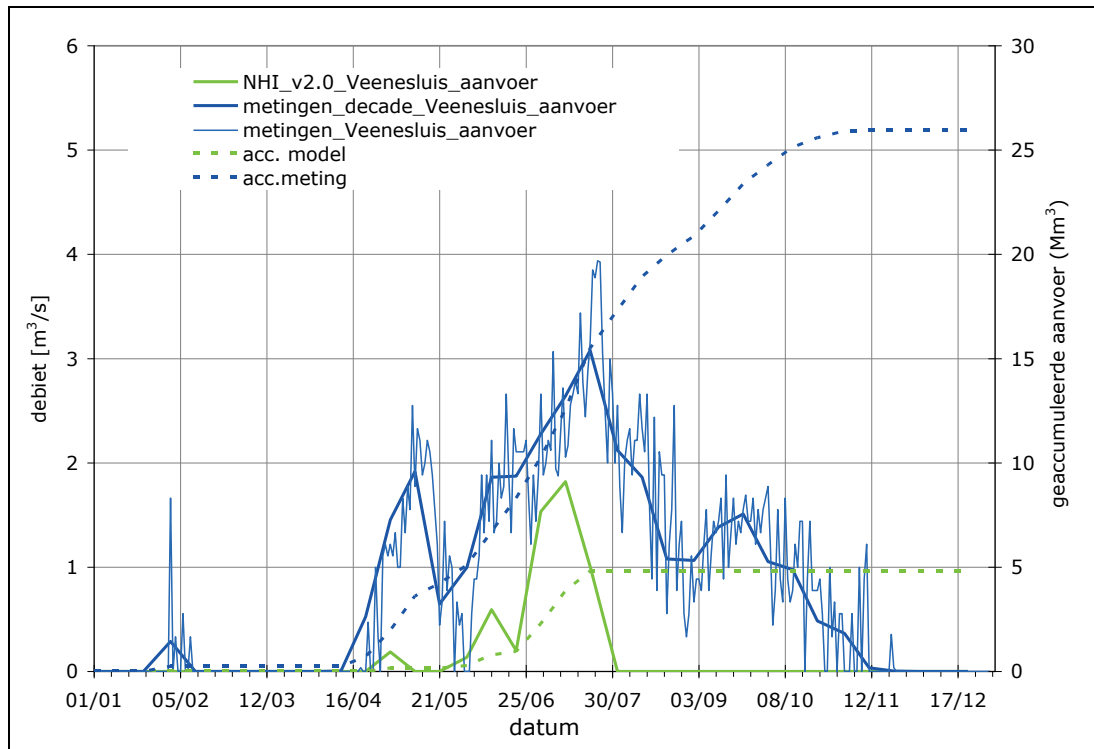
5.2.1 Paradijssluis en Veenesluis in Drentse Hoofdvaart

De aanvoer van water uit het Meppelderdiep naar de Drentse Hoofdvaart, zoals gemeten en berekend voor de Paradijssluis en de Veenesluis, zijn weergegeven in Figuur 5.2 en Figuur 5.3. De gemeten signalen zijn vrijwel identiek qua vorm en jaarvolume. De berekende debieten zijn op 0,01 m³/s na gelijk. Maar de gemeten en berekende signalen verschillen zeer sterk. De duur van de onttrekking is sterk verschillend en de berekende aanvoer is slechts 20% van de gemeten aanvoer. Duidelijk is dat de watervraag in het model de werkelijkheid sterk onderschat.

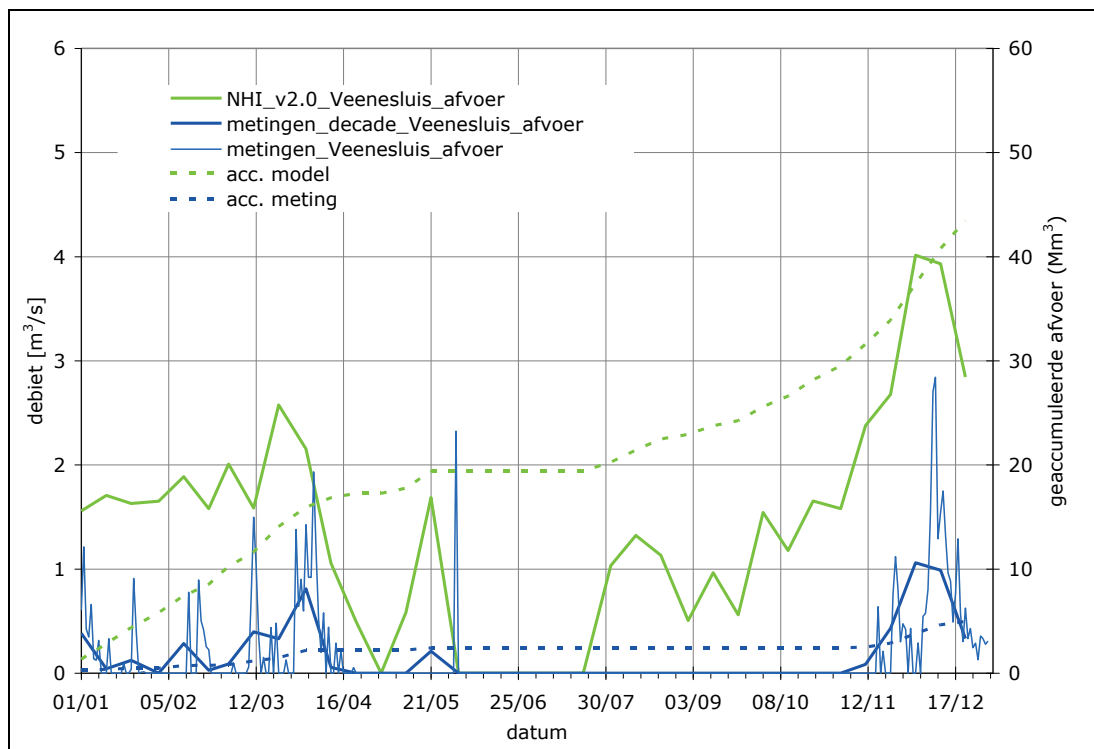
De gemeten en berekende afvoer via de Drentse Hoofdvaart is weergegeven in Figuur 5.4 en Figuur 5.5. Nu zijn de verhoudingen tussen meting en berekening volledig omgekeerd: de berekende jaarafvoer is nu 7 à 8 keer de gemeten afvoer, die in het model al begin augustus begint, tegen eind november in de praktijk. Dit ondanks de neerslagonderschatting in het model. Kennelijk is de bergingscapaciteit van de bodem in het model sterk onderschat, en liggen de grondwaterstanden te hoog mede door onderschatting van wegzijging uit het Drents plateau.



Figuur 5.2 Gemeten en berekende aanvoer Drentse Hoofdvaart, Paradijssluis

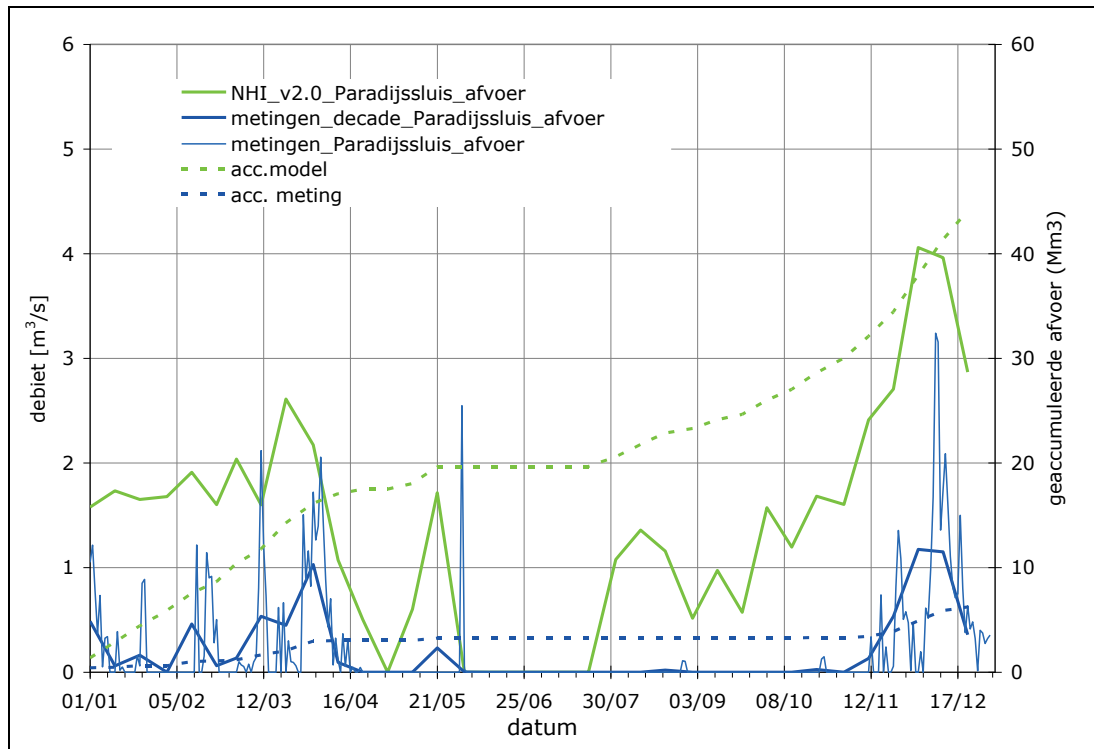


Figuur 5.3 Gemeten en berekende aanvoer Drentse Hoofdvaart, Veenesluis



Figuur 5.4 Gemeten en berekende afvoer Drentse Hoofdvaart, Veenesluis

Merk op dat deze resultaten zeer sterk lijken op de afwijkingen tussen model en meting zoals is vastgesteld voor het Peizerdiep en Veendam eerder. Gezien de grootte van de afwijking is het model in deze vorm ongeschikt om de waterverdeling op regionaal niveau te bepalen. Dit resultaat vraagt om een herijking van het model.

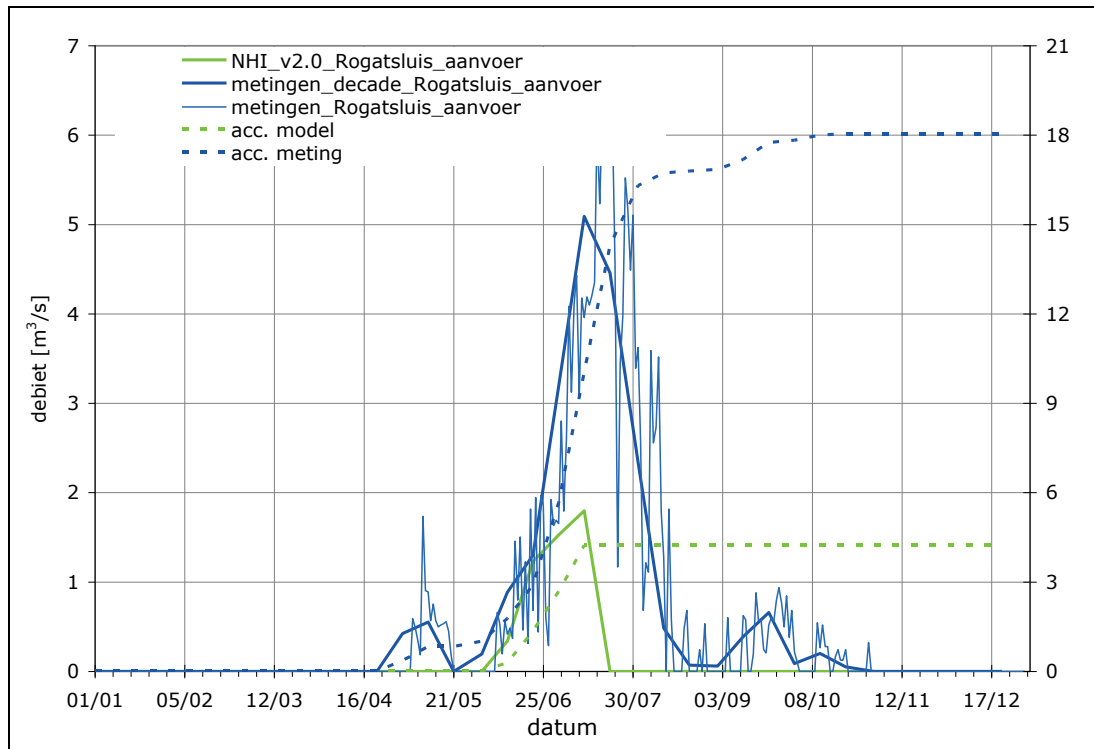


Figuur 5.5 Gemeten en berekende afvoer Drentse Hoofdvaart, Paradijssluis

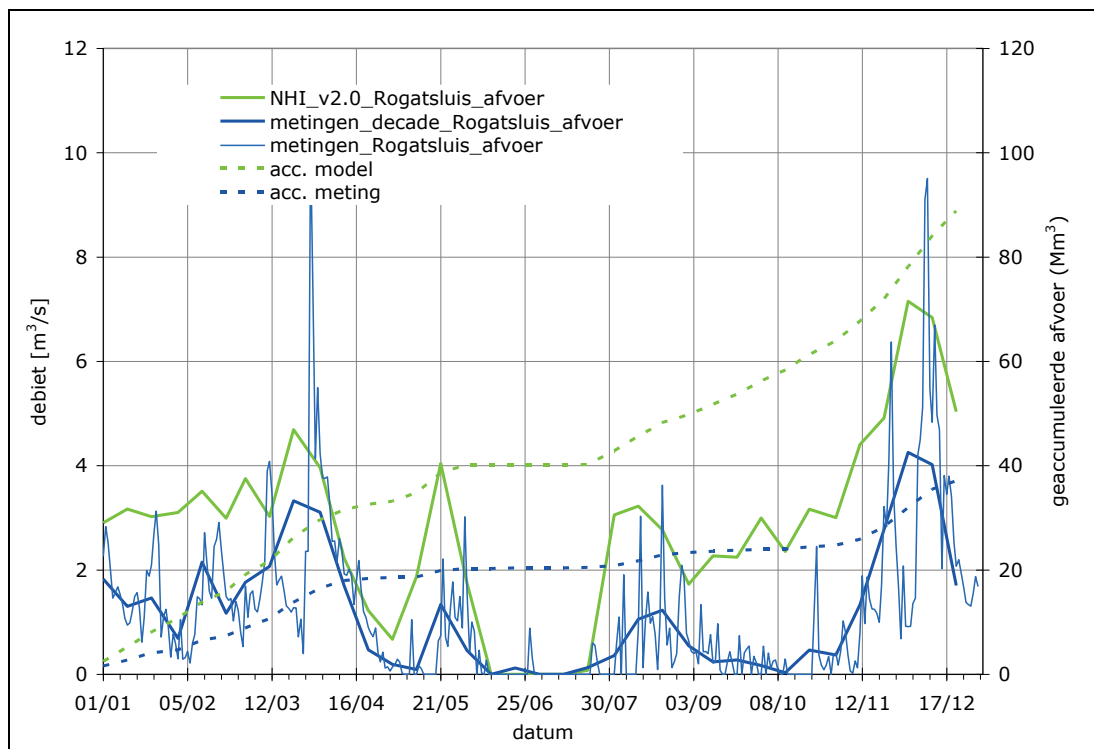
5.2.2 Rogatsluis in de Hoogeveense Vaart

De aanvoer naar en afvoer van water van de Hoogeveense Vaart is weergegeven in Figuur 5.6 en Figuur 5.7. Opvallend in de metingen is dat de aanvoer en afvoer in sommige perioden van het jaar zich ongeveer dagelijks of zelfs binnen de dag afwisselen. Dit duidt meer op peilhandhaving in die perioden dan wateraanvoer voor droogtebestrijding. E.e.a. leidt tot energieverbruik op momenten dat het niet nodig lijkt. Misschien is een sterker filter op de automatische peilregeling een oplossing?

Hetzelfde verschil tussen meting en berekening als is waargenomen voor de Drentse Hoofdvaart doet zich hier ook voor. In het groeiseizoen wordt de wateraanvoer door het model sterk (4 a 5 keer) onderschat en wordt de afvoer in de rest van het jaar ruim 200% overschat. De perioden van aanvoer en afvoer zijn als voor de Drentse Hoofdvaart duidelijk verschillend. Voor mogelijke oorzaken en oplossingen kan dan ook naar de vorige subsectie worden verwezen.



Figuur 5.6 Gemeten en berekende aanvoer Hoogeveense Vaart, Rogatsluis

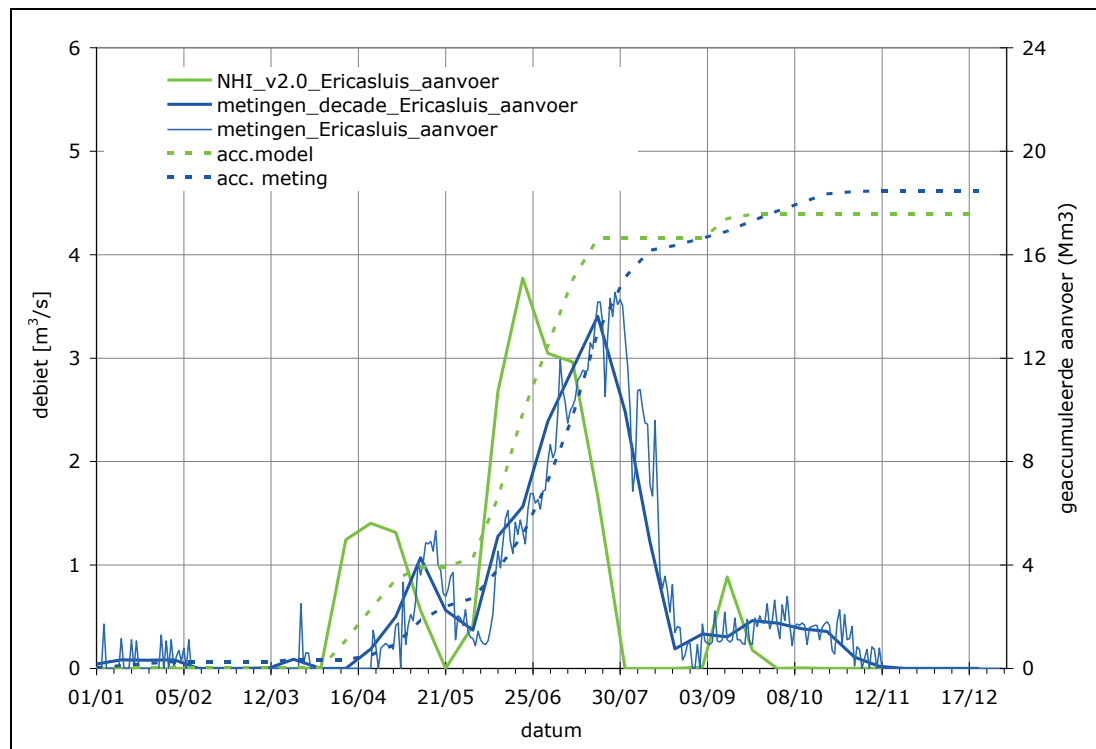


Figuur 5.7 Gemeten en berekende afvoer Hoogeveense Vaart, Rogatsluis

5.2.3 Ericasluis in Verlengde Hoogeveense Vaart

In de beschrijving van het distributiemodel (HKV, 2009) is aangegeven, dat via de Ericasluis district 10 (noordoost Drenthe) wordt gevoed. Dit district omvat de Veenkoloniën ten zuiden van Stadskanaal. De capaciteit van de aanvoer wordt gesteld op $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$, iets minder dan de capaciteit van de pompen in de Ericasluis ($5,8 \text{ m}^3/\text{s}$).

De aanvoer van water in 2006 via de Ericasluis in de Verlengde Hoogeveense Vaart zoals is gemeten en berekend met het NHI is gepresenteerd in Figuur 5.8.

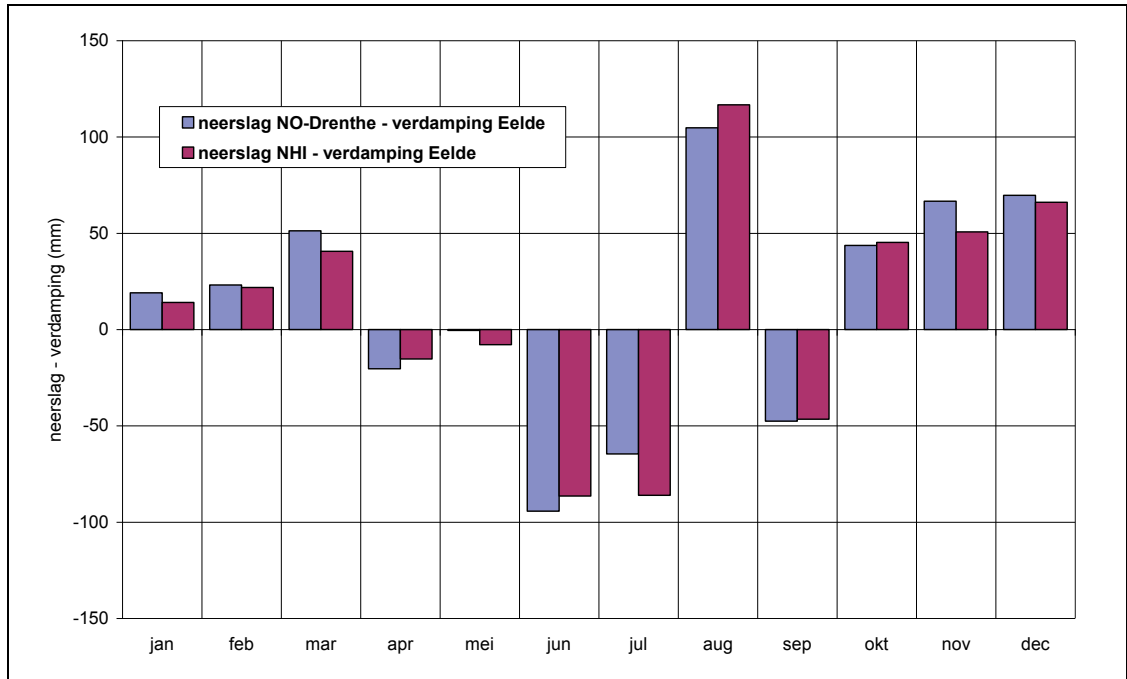


Figuur 5.8 Gemeten en berekende aanvoer Verlengde Hoogeveense Vaart, Ericasluis

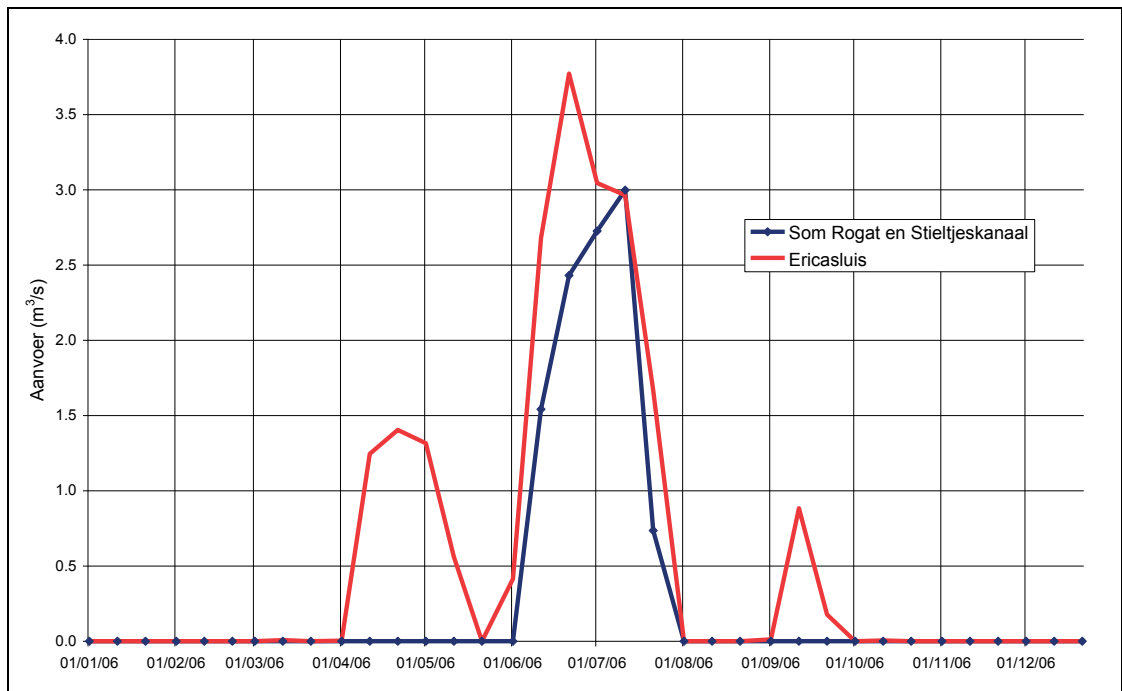
De gemeten en berekende aanvoer op jaarbasis zijn vrijwel gelijk. Echter de watervraag in het model loopt twee decades voor op de werkelijkheid. De watervraag berekend voor de Veenkoloniën klopt dus wel. De berekende aanvoer volgt goed de maandelijkse neerslagtekorten, of deze nu bepaald zijn op basis van de lokale neerslag of zoals ingevoerd in het model, zie Figuur 5.9. De gemeten aanvoer loopt hierop achter. Het verschil in timing heeft mogelijk te maken met problemen met de aanvoer in de praktijk. Mogelijk speelt hier hetzelfde als in 2003 optrad: het moment van de werkelijke peilopzet in de veenkoloniën is bepalend voor de timing van de watervraag.

Niet duidelijk is waar de modelaanvoer in april en september vandaan komt. De berekende som van de aanvoer via de Hoogeveense Vaart en via het Stieltjeskanaal is kleiner dan de aanvoer via de Ericasluis, zie Figuur 5.10. Het Kanaal Coevorden-Zwinderen levert geen bijdrage; het voert alleen maar af van de Verlengde Hoogeveense Vaart via de Zwindersesluis naar Coevorden. Opgepompt drainagewater van gebieden langs de Verlengde Hoogeveense Vaart lijkt ook niet aannemelijk, immers september was en zeer droge maand?

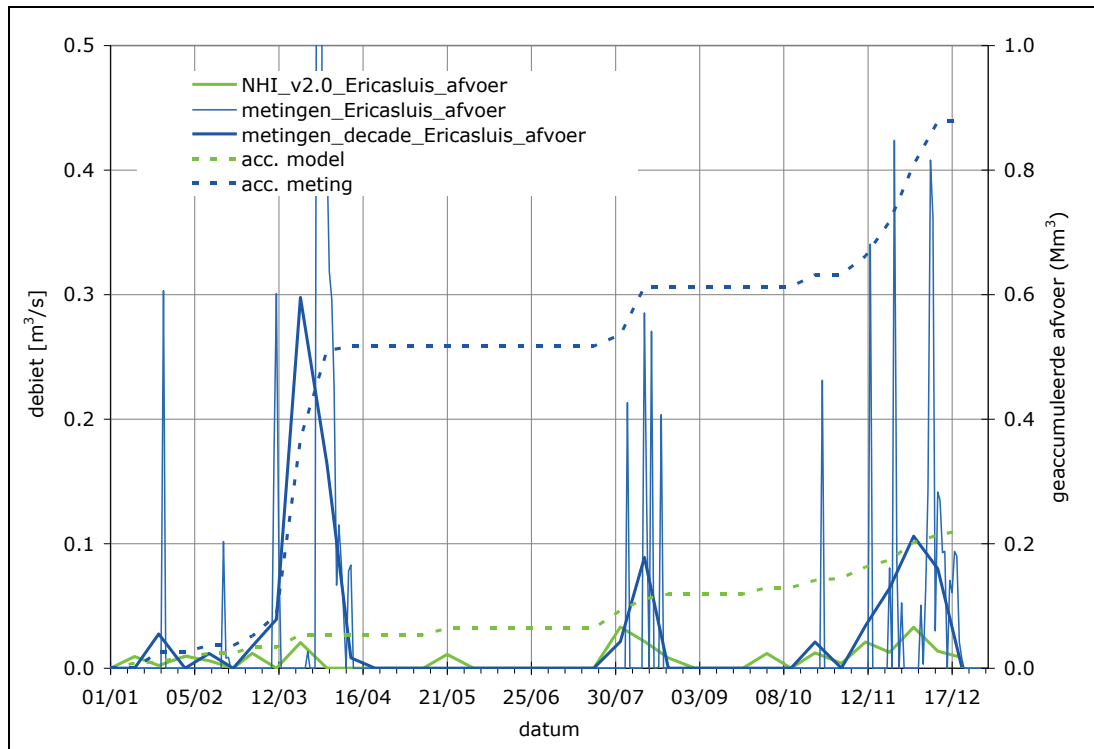
De afvoer van water in 2006 via de Ericasluis in de Verlengde Hoogeveense Vaart zoals is gemeten en berekend met het NHI is in Figuur 5.11 weergegeven. De afvoer via de Ericasluis is te klein om van belang te zijn in de analyses.



Figuur 5.9 Maandcijfers neerslag – verdamping station Eelde, 2006, neerslag NO-Drenthe gebaseerd op stations Nieuw Buinen, Per Apel en Emmen, NHI uit Nieuw Beerta, Eelde en Hoogeveen



Figuur 5.10 Vergelijking tussen berekende aanvoer bij de Ericasluis en de toelevering via de Hoogeveense Vaart en het Stieltjeskanaal

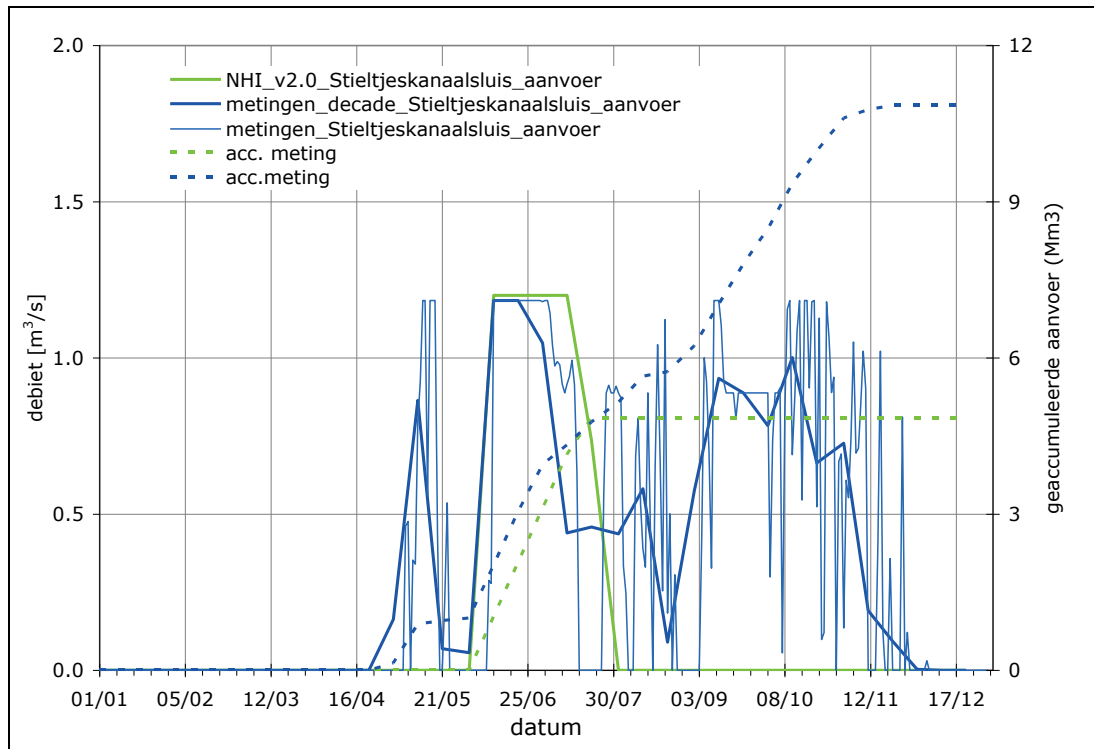


Figuur 5.11 Gemeten en berekende afvoer Verlengde Hoogeveense Vaart, Ericasluis

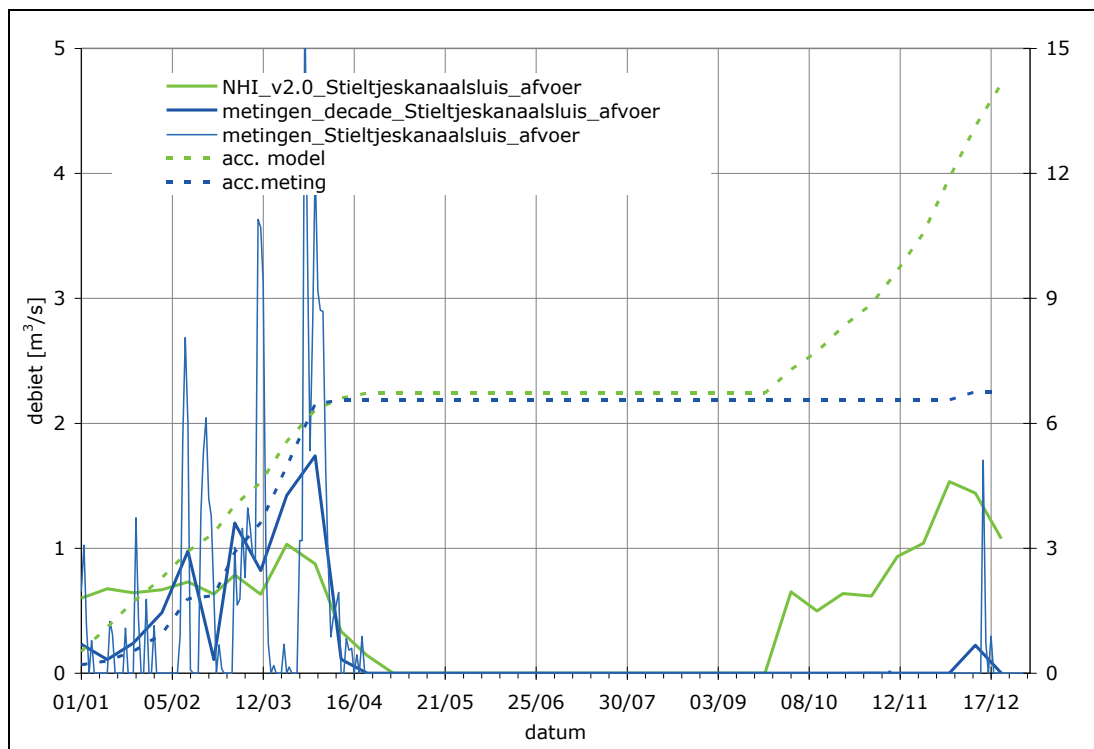
5.2.4 Stieltjeskanaalsluis

De aanvoer en afvoer van water via de Stieltjeskanaalsluis is weergegeven in Figuur 5.12 en Figuur 5.13. De aanvoer over de maanden juni-juli wordt goed gesimuleerd. In de perioden daarvoor (mei) en daarna (augustus - november) heeft in het kanaal wel aanvoer plaats gevonden maar het model berekent hier geen aanvoer. De watervraag is dus onvoldoende geweest.

De gemeten en berekende afvoer via het Stieltjeskanaal verschillen een factor 2. De afvoer wordt in de maanden januari - maart qua volume goed berekend maar het mist de gemeten dynamiek. De afvoer in het najaar begint in het model medio september en loopt door tot het eind van het jaar, terwijl in werkelijkheid er alleen in december kortstondig sprake is geweest van enige afvoer. Het fenomeen komt overeen met wat eerder bij de bespreking van de afvoer via de andere sluisen is gesteld: te weinig berging/wegzijing beschikbaar in het model.



Figuur 5.12 Gemeten en berekende aanvoer Stieltjeskanaal



Figuur 5.13 Gemeten en berekende afvoer Stieltjeskanaal

5.2.5 Overzicht

In Tabel 5.2 is een overzicht gegeven van de afvoer en aanvoer zoals is gemeten en berekend voor de Drentse kanalen voor het groeiseizoen april – september en het hele kalenderjaar 2006. De waterafvoer van de Drentse Hoofdvaart en de Hoogeveense Vaart wordt door het model zeer sterk overschat terwijl voor de aanvoer van water het

omgekeerde geldt. Op jaarbasis is dit voor het Stieltjeskanaal ook zo. Alleen de Ericasluis wijkt hiervan af. De aanvoer van water via deze sluis naar de Veenkoloniën is qua volume voor groeiseizoen en kalenderjaar goed, alleen de timing van de aanvoer wijkt af van de meting, waarbij het modelresultaat beter lijkt aan te sluiten bij het opgetreden neerslagtekort dan de meting.

Tabel 5.2 Gemeten en berekende afvoer en aanvoervolumina Drentse kanalen

	Locatie	meting Mm ³		model Mm ³		meting-model Mm ³		meting-model %	
		groei	jaar	groei	jaar	groei	jaar	groei	jaar
afvoer	Veenesluis	0.9	5.0	10.2	43.5	-9.3	-38.5	-1033	-770
	Paradijssluis	1.2	6.2	10.4	44.1	-9.2	-37.9	-767	-611
	Rogatsluis	10.0	37.1	27.5	88.8	-17.5	-51.7	-175	-139
	Ericasluis	0.2	0.9	0.1	0.2	0.1	0.7	50	78
	Stieltjeskanaal	1.6	6.8	1.2	14.2	0.4	-7.4	25	-109
aanvoer	Veenesluis	23.1	26.9	4.8	4.8	18.3	22.1	79	82
	Paradijssluis	23.4	26.3	4.8	4.8	18.6	21.5	79	82
	Rogatsluis	17.8	18.1	4.2	4.2	13.6	13.9	76	77
	Ericasluis	17.0	18.5	17.5	17.6	-0.5	0.9	-3	5
	Stieltjeskanaal	7.8	10.9	4.8	4.8	3.0	6.1	38	56

5.3 Grondwaterstanden

De locaties van de peilbuizen in Drenthe waarvoor grondwaterbestanden van enige omvang zijn ontvangen zijn weergegeven in Tabel 5.3. Het betreft hier een aantal buizen op hogere zandgronden, terwijl één locatie in ontgonnen hoogveengebied ligt. De frequentie van de waarnemingen is zo laag dat de dynamiek van het grondwatergedrag niet beoordeeld kan worden.

Tabel 5.3 Overzicht van locaties van grondwaterpeilbuizen en omgevingscondities

put	X (m)	Y (m)	mv NHI	mv meting	bodemgesteldheid
RM 999-126	239.372	522.089	10.27	10.11	ontgonnen hoogveen
B17H0197	258.620	533.440	23.58	23.87	hogere zandgronden
GWM153	221.362	545.861	11.03		hogere zandgronden
GWM110	226.330	524.284	9.90	10.00	hogere zandgronden
GWM108	224.394	523.871	5.80	5.74	hogere zandgronden
DGM14	226.217	528.071	10.09		hogere zandgronden

RM.999-126

Peilbuis RM.999-126 bevindt zich ten westen van Coevorden in een ontgonnen hoogveengebied tussen Elim/Nieuwlande en Steenwijksmoer. Het gemeten grondwaterstandverloop is in Figuur 5.14 vergeleken met de neerslag van Steenwijksmoer. De figuur geeft aan dat de waarnemingsfrequentie volstrekt onvoldoende is om het verloop van het grondwater goed te volgen. De verwachte stijging in augustus wordt volledig gemist in de registratie. Wel is uit de metingen uit de eerste helft van het jaar af te leiden dat de grondwaterspiegel de neerslag snel volgt, zoals verwacht mag worden in een gebied met dicht leidingennetwerk.

In Figuur 5.14 zijn ook de berekende grondwaterstanden weergegeven. Uit de figuur blijkt dat het model steeds te traag reageert op de neerslag, vooral in augustus. In september wordt het beeld volledig verstoord door de 9/11 hik. In december reageert het model wel adequaat op de neerslag.

B17H0197

Peilbuis B17H0197 bevindt zich in hogere zandgrond, volgens de coördinaten in de woonwijk Angelslo van Emmen, dicht bij de Emmerdennen, de zuidelijke begrenzing van de Hondsrug. Het gemeten grondwaterverloop met de neerslag van station Emmen zijn weergegeven in Figuur 5.15. De grondwaterspiegel zakt in de loop van het jaar langzaam met enkele dm. Er is nauwelijks enige respons in de meting zichtbaar op de neerslag m.u.v. eind maart. Mogelijk speelt hier de locatie in stedelijk gebied met stedelijke drainage een rol. In de figuur zijn ook de berekende grondwaterstanden weergegeven. Een continue lineaire zakking zonder enige reactie op neerslag is zichtbaar in het NHI-resultaat, Het resultaat ziet er fysisch weinig realistisch uit ondanks de overeenkomst met de meting. Een plotselinge daling treedt op 11 september op, de 9/11 hik, zoals elders in de resultaten van het NHI.

GWM153

Peilbuis GWM153 ligt in hoge zandgrond met akkerbouw aan de rand van Boswachterij Smilde, zuidelijk van Hoogersmilde, nabij de Drentse Hoofdvaart. Het gemeten grondwaterstandverloop is in Figuur 5.16 vergeleken met de neerslag van het nabij gelegen station Dwingeloo. De figuur geeft aan dat een aantal opnames juist tijdens extreme neerslaggebeurtenissen is genomen. Een reactie in de grondwaterstand is niet zichtbaar. De meting laat vanaf eind maart een continue daling zien tot in november. De voortgaande daling na september lijkt op basis van de gevallen neerslag zeer onwaarschijnlijk. De meting wordt daarom zeker voor het najaar als niet betrouwbaar aangemerkt. In dezelfde figuur is ook een vergelijking gemaakt tussen de meting en de berekende grondwaterstand. De berekening laat wel een realistisch herstel zien van de grondwaterstand in het najaar. Ook hier is weer de 9/11 hik aanwezig.

GWM110

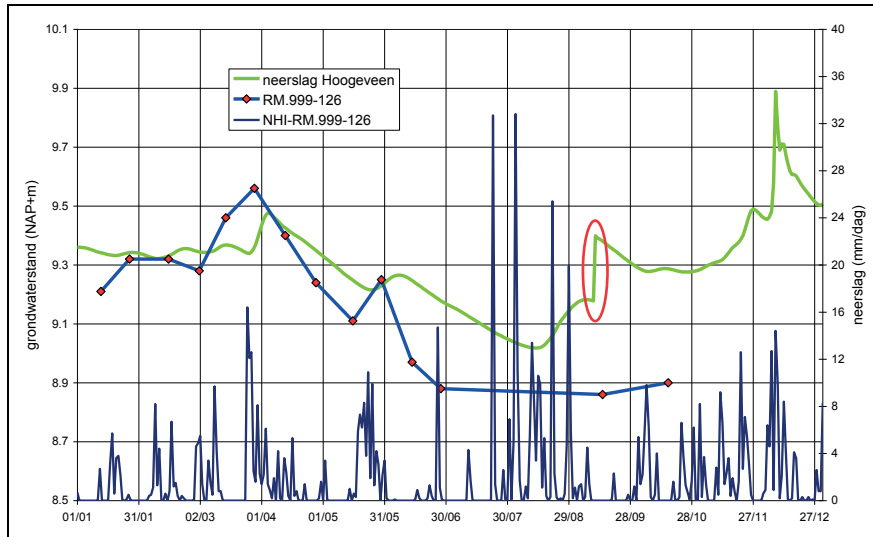
Peilbuis GWM110 ligt in hoge zandgronden tussen Hoogeveen en Zuidwolde, ten zuiden van de A28. De gemeten en berekende grondwaterstand zijn met de neerslag zoals gemeten in Hoogeveen weergegeven in Figuur 5.17. De berekende grondwaterstand volgt de trend van de meting en de neerslag goed. Op basis van de beschikbare metingen kan niet worden beoordeeld of de dynamiek door het model voldoende wordt weergegeven.

GWM108

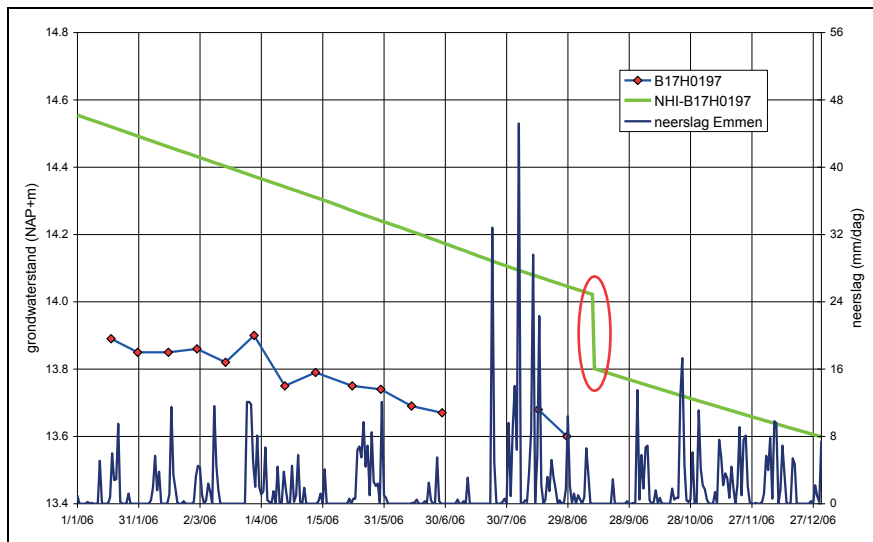
Peilbuis GWM108 ligt 2 km westelijk van GWM110. De gemeten en berekende grondwaterstanden samen met de neerslag van Hoogeveen zijn weergegeven in Figuur 5.18. De metingen zijn zo beperkt dat hier alleen een globaal gemiddeld grondwaterverloop in het jaar mee kan worden bepaald. De berekende grondwaterstand volgt de gemeten trend en laat een zeer directe respons op de neerslag zien. Het resultaat ziet er realistisch uit. Opvallend is dat nu de dynamiek in het resultaat veel groter is dan in het 2 km meer oostwaarts gelegen punt GWM110, vergelijk met Figuur 5.17. De topografische kaart laat in de omgeving GWM108 een dicht stelsel van sloten zien, dat rond peilbuis GWM110 niet aanwezig is.

GWM14

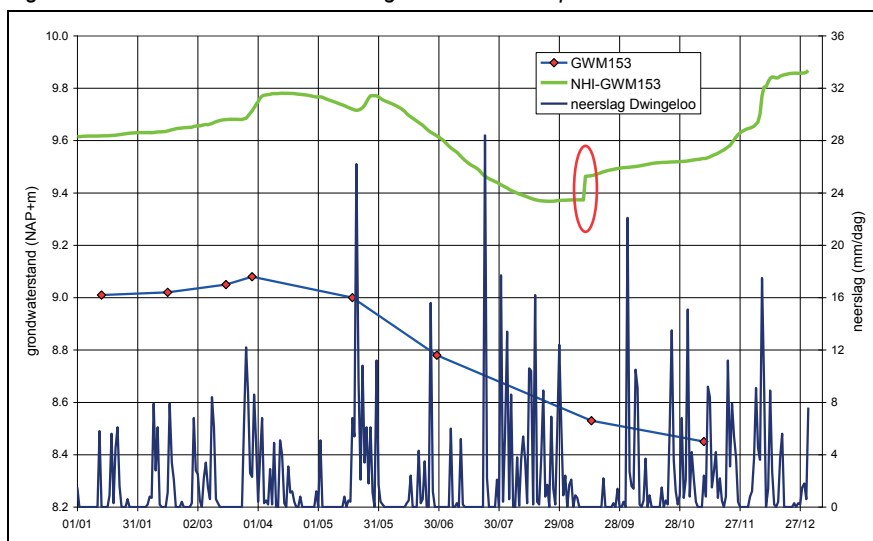
Peilbuis GWM14 ligt 4 km ten noorden van peilbuis GWM110, oostelijk van Hoogeveen, bij Fluitenberg. De gemeten en berekende grondwaterstanden zijn samen met de neerslag van Hoogeveen getoond in Figuur 5.19. De metingen laten een grotere range zien dan is berekend: 1 m gemeten tegen 0.6 m berekend. Ook de reactie op de neerslag lijkt te traag. De dynamiek lijkt onvoldoende.



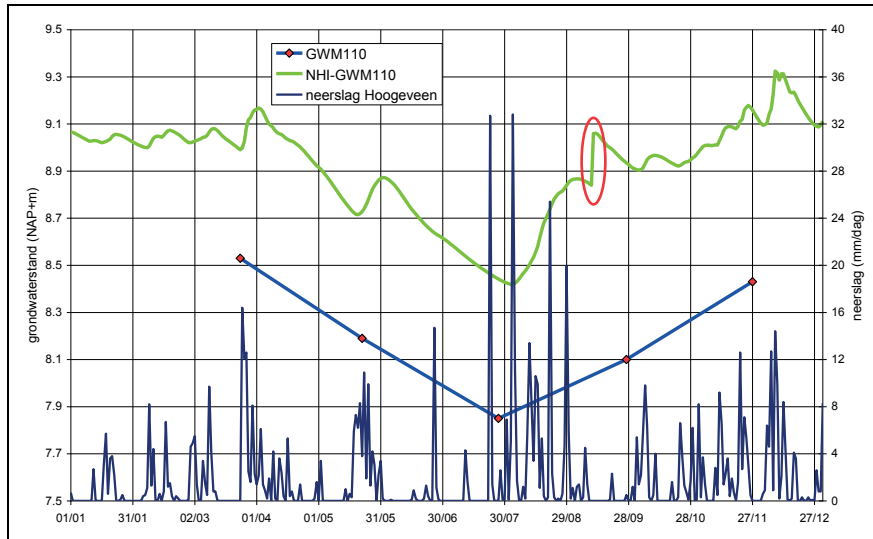
Figuur 5.14 Gemeten en berekende grondwaterstand peilbuis RM.99-126 en neerslag Steenwijksmoer



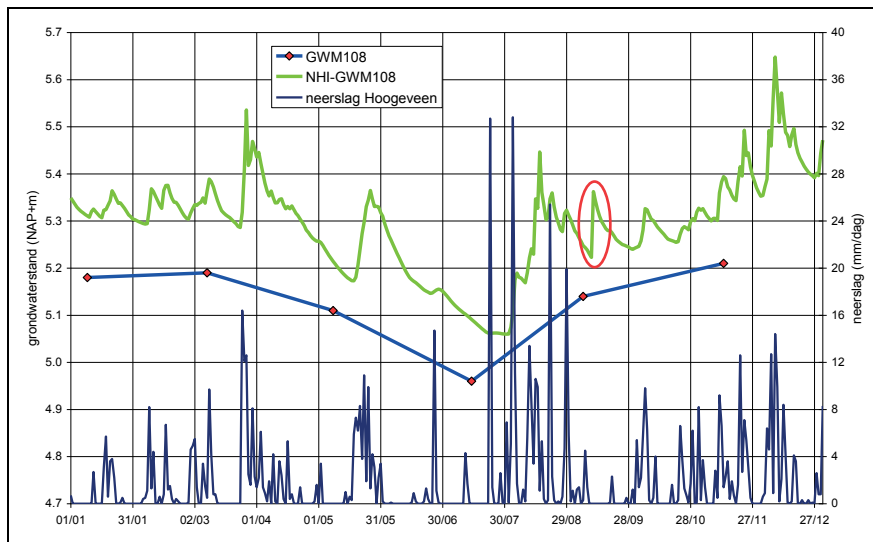
Figuur 5.15 Gemeten en berekend grondwaterstand peilbuis B17H0197 en de neerslag van Emmen



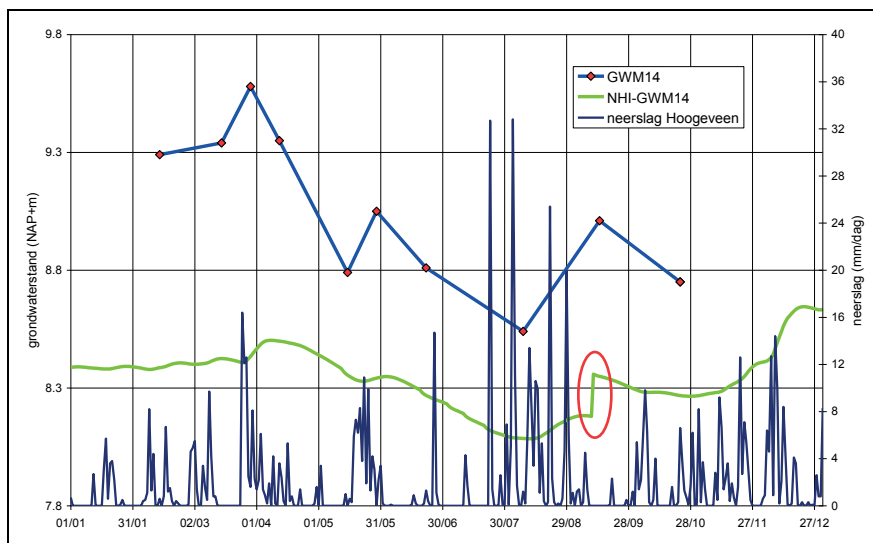
Figuur 5.16 Gemeten en berekende grondwaterstand peilbuis GWM153 en de neerslag van Dwingeloo



Figuur 5.17 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop peilbuis GWM110 met neerslag Hoogeveen



Figuur 5.18 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop peilbuis GWM108 en neerslag Hoogeveen



Figuur 5.19 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop peilbuis GWM14 en neerslag Hoogeveen

Een overzicht van het modelresultaat voor de peilbuizen in de provincie Drenthe is gegeven in Tabel 5.4. Het modelresultaat voor ontgonnen hoogveen is onvoldoende. In de gevallen van de hogere zandgronden zou de range voor de meeste locaties in orde kunnen zijn maar is de meetfrequentie te laag om dit, evenals de dynamiek, te kunnen beoordelen. Voor een zinnige analyse van het modelresultaat zijn bestanden van dagelijkse grondwaterstanden nodig.

Tabel 5.4 Overzicht van modelresultaat van grondwaterstanden in Drenthe

put	mv NHI	bodemgesteldheid	dynamiek		range
			groeiseizoen	okt-mrt	
RM 999-126	10.27	ontgonnen hoogveen	-	+/-	-
B17H0197	23.58	hogere zandgronden	?	?	?
GWM153	11.03	hogere zandgronden	?	?	?
GWM110	9.90	hogere zandgronden	?	?	?
GWM108	5.80	hogere zandgronden	+	+	?
DGM14	10.09	hogere zandgronden	-	-	-

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Op basis van de analyses uit de hoofdstukken 2 t/m 5 kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

Neerslag

- 1 De jaarsom van de neerslag in 2006 ligt rond de normaal, echter de maand-sommen wijken fors af van de normalen. Vooral de maanden juni, juli en september waren aanzienlijk droger dan normaal, en augustus en oktober veel natter.
- 2 De variatie in de neerslag naar plaats in Noord Nederland is aanzienlijk, en deze variatie verandert van maand tot maand. Deze verandering wordt niet meegenomen in de vertaling van puntwaarnemingen naar roostercel in het NHI, die gebaseerd is op de verdeling volgens de jaarnormalen. Dit leidt tot een onzuivere vertaling van puntneerslag naar de neerslag op de roosterzellen .
- 3 De neerslag in 2006 is in de randvoorwaarde van het NHI sterk onderschat, op locaties zelfs tot 200 mm. Dit beïnvloedt de berekening van de watervraag in de districten.
- 4 Op de neerslagcijfers wordt geen correctie toegepast voor wind. Vooral bij lagere intensiteiten leidt dit tot een onderschatting van de neerslag. Op jaarbasis zijn correcties van orde 4% tot ruim 7% nodig, afhankelijk van het type regenmeter, om de onzuiverheid te elimineren.

Verdamping

- 5 De variatie in de referentieverdamping naar plaats in Noord Nederland is zeer beperkt en is een orde kleiner dan de ruimtelijke variatie in de neerslag.
- 6 De berekende actuele verdamping voor Friesland komt goed overeen met de verdamping die volgt uit de waterbalans gebaseerd op metingen van de netto afvoer en een geschatte netto kwel.
- 7 In het groeiseizoen van 2006 was de temporele variatie van de gemeten verdamping in Lutjewad groter dan die van de berekende actuele verdamping.

Water aanvoer en doorvoer

- 8 De inlaat van water naar de Friese boezem en de doorvoer naar Groningen is voor 2006 door het model overschat. Dit duidt op een overschatting van de watervraag in de districten. De onderschatting van de neerslag in Noord Nederland zal hier mede debet aan zijn.
- 9 De gemeten doorvoer bij Gaarkeuken volgens het Wetterskip Fryslân en Waterschap Noorderzijlvest verschillen sterk: Op jaarbasis is de schatting van Noorderzijlvest 36% lager dan die van Fryslân. Beide metingen zijn inconsistent met de doorvoer bij Dorkwerd. Dit vraagt om een herijking van de sluisen en pompen. Een mogelijke reden van de inconsistentie tussen Gaarkeuken en Dorkwerd is kwel naar het Van Starckenborghkanaal.
- 10 Het model berekent een veel lagere doorvoer van water bij Veendam vanuit Dorkwerd dan is opgetreden. In het model is pas sprake van doorvoer bij Veendam als de aanvoer bij Dorkwerd een drempelwaarde van 5-6 m³/s heeft overschreden. In werkelijkheid was de doorvoer bij Veendam in 2006 steeds orde 46% van de aanvoer bij Dorkwerd, zonder drempelwaarde.

- 11 Ook voor de Drentse kanalen berekent het model een veel lagere aanvoer van water dan is gemeten en ook is de periode waarover water is aangevoerd veel korter.
- 12 De aanvoer van water naar district 10 (Veengebied ten zuiden van Stadskanaal) via de Ericasluis is qua vorm en volume op jaarbasis correct. De aanvoer loopt echter enige decades voor op de gemeten aanvoer, vermoedelijk door vertraging in het moment van de werkelijke peilopzet in de veenkoloniën.

Afvoer

- 13 Voor Friesland zijn voor de individuele afvoerlocaties de verschillen tussen meting en model groot, maar het totale resultaat geeft een aanmerkelijk beter beeld. De grote locale afwijkingen zijn een direct gevolg van de in het distributiemodel aangenomen verdeling tussen de afvoertakken. Voor de overall balans maakt dat niet uit, maar voor waterbalansen van kleinere eenheden zoals het Lauwersmeer geeft dit problemen. Er zal meer fysica in de verdeelsleutels moeten worden aangebracht om dit te verbeteren.
- 14 Voor de in Noorderzijlvest onderscheiden gebieden wordt door het model de afvoer te laag berekend, met uitzondering van het Peizerdiep. Voor het groeiseizoen zijn de verschillen procentueel groter dan op jaarbasis.
- 15 In het model voert het district Lauwersmeer direct af op de Waddenzee, terwijl zij in werkelijkheid loost op het Lauwersmeer. Dit leidt tot een onjuiste waterbalans voor het Lauwersmeer.
- 16 De gemeten afvoer via de Cleveringsluizen is niet in balans met de gemeten en geschatte toevoer op het Lauwersmeer. De vrije lozing mist in de toevoer.
- 17 De berekende afvoer van het Peizerdiep is aanmerkelijk groter dan is gemeten. Op basis van een analyse van de componenten van de waterbalans kan de gemeten lage afvoer alleen verklaard worden als sprake is van wegzijging uit het gebied. Het lijkt erop dat deze wegzijging door het model wordt onderschat.
- 18 Voor de geanalyseerde afvoerlocaties in het waterschap Hunze en Aa's is in het model de afvoer voor het groeiseizoen te laag berekend, met uitzondering van Veendam. Op jaarbasis is de berekende afvoer voor Oldambt en het Eemskanaal ongeveer goed, maar voor Duurswold te hoog en voor Veendam veel te hoog.
- 19 De waterafvoer van de Drentse Hoofdvaart en de Hoogeveense Vaart wordt in het groeiseizoen en op jaarbasis door het model zeer sterk overschat. Op jaarbasis is dit voor het Stieltjeskanaal ook zo.
- 20 De te laag berekende aanvoer en doorvoer naar Drenthe duidt op een onderschatting van de watervraag van het Drents plateau en in samenhang met de overschatting van de afvoer duidt dit op een onderschatting van de wegzijging vanuit de hoger gelegen gebieden.

Grondwater

- 21 De dynamiek van het berekende grondwaterstandverloop in klei en ontgonnen hoogveengebieden is veel geringer dan is gemeten, vooral in het groeiseizoen. Op de (hogere) zandgronden wordt de dynamiek meestal beter gesimuleerd.
- 22 De jaarlijkse range van de grondwaterstanden wordt door het model sterk onderschat. Alleen voor enkele peilbuizen op zandgrond en één veengrondlocatie bij Lemmer is het bereik goed gesimuleerd.
- 23 De maaiveldhoogte van een aantal peilbuizen is inconsistent met de waargenomen grondwaterstanden t.o.v. NAP. Dit belemmert een betrouwbare vergelijking tussen waargenomen en berekende grondwaterstand t.o.v. het maaiveld die nodig is voor een goede inschatting van de bergingsmogelijkheid in de bodem.

- 24 Het model vertoont een sterke discontinuïteit in de grondwaterstanden van 10 op 11 september, in het rapport aangeduid als de 9/11 hik. Deze discontinuïteit verstoort een goede beoordeling van de NHI-grondwaterresultaten.
- 25 De opnamefrequentie van grondwaterstanden in Drenthe is te gering voor een goed inzicht in de dynamiek en range van het grondwaterverloop. Alleen dag- of uurwaarnemingen zijn geschikt.

Eindconclusie

- 26 De grootte van de afwijkingen tussen de gemeten en de berekende aanvoeren, doorvoeren, afvoeren en grondwaterstanden zijn aanzienlijk. Het model is daarom in deze vorm ongeschikt om de waterverdeling op regionaal niveau te bepalen. Aanpassing en ijking van het model is daarom noodzakelijk.

6.2 Aanbevelingen

De conclusies leiden tot de volgende aanbevelingen.

- Allereerst is het nodig dat de discontinuïteit in de berekende grondwaterstand wordt geëlimineerd. Nu is onduidelijk wat de consequenties zijn van de verstoring op de interactie tussen het oppervlaktewater en het grondwater.
- Vervolgens wordt dringend aanbevolen om bij het aanmaken van de neerslagrandvoorwaarde naast de bestaande meteorologische stations ook gebruik te maken van de dagcijfers van de 325 extra neerslagstations. Hierdoor vervalt de correctieprocedure voor vertaling van de puntneerslag naar de neerslag per roostercel. Deze actie kan direct gebeuren en hoeft niet te wachten op de KNMI exercitie van combinatie van puntneerslag met radarmetingen.
- Vervolgens wordt aanbevolen de neerslag te corrigeren voor wind, een correctie afhankelijk van windsnelheid en regenintensiteit. In Appendix B zijn de correctieformules gegeven.
- De verdeling van de afvoer over de takken van het distributiemodel, met name voor de Friese boezem, verdient heroverweging, die, indien mogelijk, moet leiden tot een verdeling op een meer fysische grondslag.
- Het district Lauwersmeer dient af te voeren op het Lauwersmeer om een realistische waterbalans van het Lauwersmeer te verkrijgen.
- Een echte ijking van het model is noodzakelijk waarbij ook aandacht gegeven moet worden aan de wegzijging van water uit het Drents plateau.
- Onderzoek naar het verbruik van het te veel aangevoerde water bij Gaarkeuken, in relatie met de te kleine doorvoer bij Veendam.
- Onderzoek naar de aanvoer van water bij Erica, anders dan via de Rogatsluis en de Stieltjeskanaalsluis. Waar komt dit water vandaan?
- Analyse van de geschatte en berekende inlaat voor het Bildt/Roptazijl: de capaciteit volgens de documentatie is veel groter dan de berekende aanvoer doet vermoeden.
- Voor inzicht in de grootte van de verdamping is het zinvol de bijdrage van de afzonderlijke componenten in kaart te brengen, potentieel en actueel.
- Het verdient aanbeveling de gegevens van de sluis bij Gaarkeuken en het gemaal bij Dorkwerd nader te analyseren en indien nodig te herijken om tot consistente metingen van de aanvoer via het Van Starckenborghkanaal en de doorvoer naar het Eemskanaal te komen. Andere sluizen verdienen ook een nadere analyse en indien nodig een herijking, zoals de Cleveringsluizen en de sluizen en gemalen die afwateren op het Lauwersmeer.

- Ten behoeve van de ijking van het NHI is belangrijk dat van meerdere deelgebieden waterbalansen gemaakt kunnen worden. Dit vereist naast de meting van de afvoer ook meting van de aanvoer, de actuele verdamping en de grondwaterstanden op dagbasis.
- Het verdient aanbeveling om het monitoren van de grondwaterstand in peilbuizen met drukopnemers drastisch uit te breiden, om beter zicht te krijgen op het gedrag van het freatisch grondwater in diverse bodemsoorten. De huidige opnamefrequentie is in een deel van het beschouwde gebied aantoonbaar veel te laag.
- Tevens is van belang de maaiveldhoogte van de peilbuizen te controleren.

7 Literatuur

ANWB (2010)

Topografische Atlas Nederland, 1:50 000.
3^{de} editie, 1^e druk. ISBN 978 901803 0704

Elbers, J.A., E.J. Moors en C.M.J. Jacobs (2009)

Gemeten actuele verdamping voor 12 locaties in Nederland
Wageningen, Alterra, Alterra rapport 1920, ISSN 1566-7197

HKV (2009)

Distributiemodel, deel A
Friesland en Noord-Holland
PR1640.10, april 2009

HKV (2009)

Distributiemodel, deel C
(Noord) Oost en Zuid Nederland
PR1640.10, april 2009

HKV (2010)

Regionale Droogtestudie Noord-Nederland, Fase 1.
Deerapport Validatie NHI – versie 2.0
PR1709.10, mei 2010

Jager, A.W. de (1965)

Hoge afvoeren van enige Nederlandse stroomgebieden.
Proefschrift. Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen 658,
Landbouwniversiteit Wageningen, Pudoc.

KNMI (2007)

Jaaroverzicht neerslag en verdamping in Nederland 2006
(<http://www.knmi.nl/klimatologie/monv>)

KNMI (2010)

Dagneerslagsommen, districten 1 t/m 15, 325 stations
Dagwaarden meteorologische variabelen, 25 stations

NHI (2008)

Nationaal Hydrologisch Instrumentarium – NHI
Modelrapportage, Hoofdrapport, december 2010

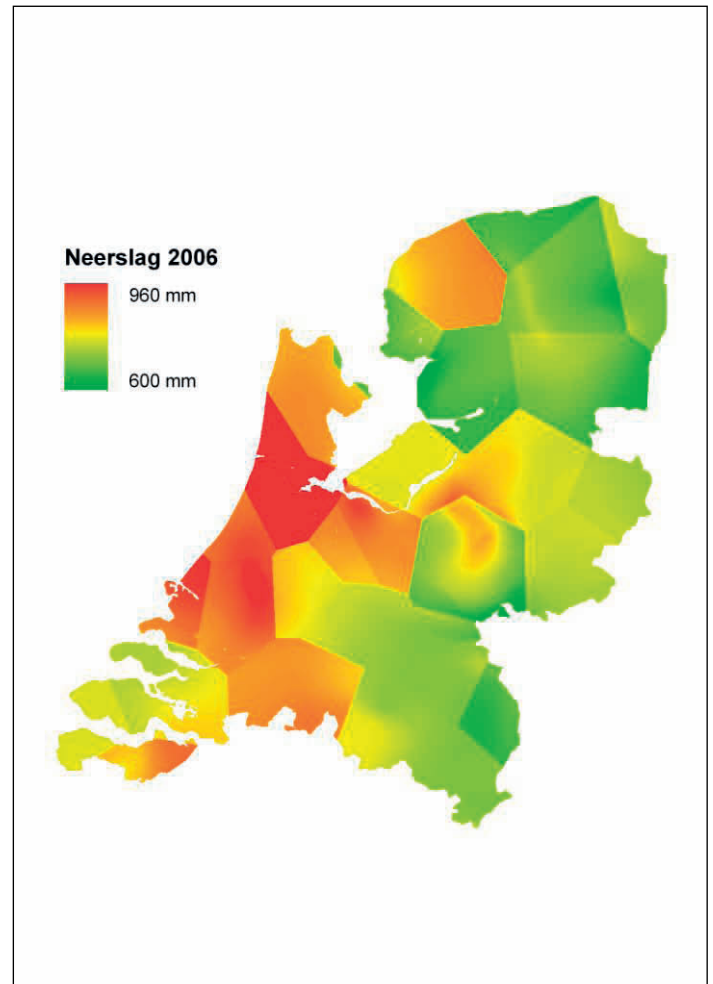
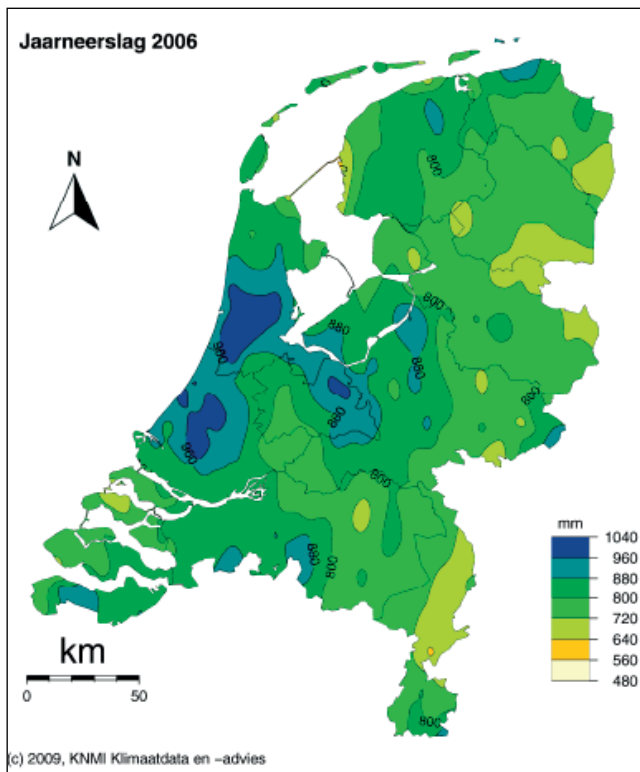
NHI (2008)

Nationaal Hydrologisch Instrumentarium – NHI
Modelrapportage, Deelrapport Neerslag en Verdamping, december 2010

Walsum, P.E.V. van, A.A. Veldhuizen en P. Groenendijk (2010)

SIMGRO 7.1.0 manual, Theory and model implementation.
Alterra-report 913.1, Alterra, Green World Research, Wageningen

A Neerslag 2006, gemeten en volgens NHI



Figuur A.1 Neerslag in Nederland zoals gebaseerd op alle neerslagstations van het KNMI en zoals berekend als invoer voor het NHI

B Windcorrectie neerslagmetingen

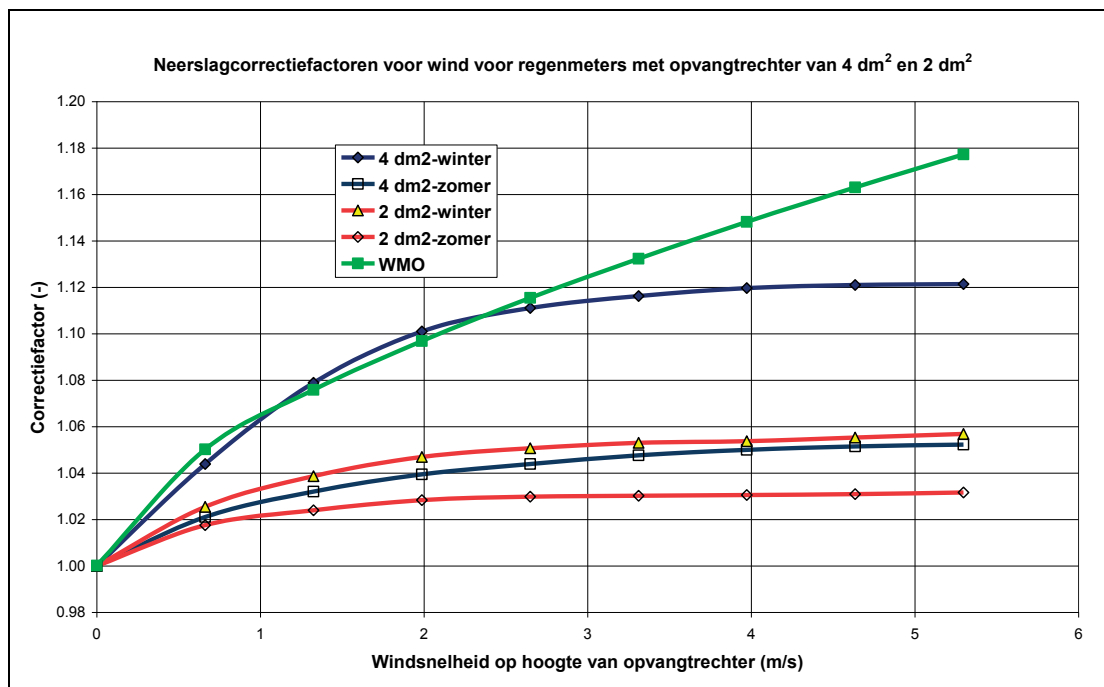
Bij metingen met regenmeters worden fouten geïntroduceerd van verschillende aard en grootte. De belangrijkste onzuiverheid wordt geïntroduceerd door windinvloeden (Sevruk, 1982,1989). De regenmeter verstoort het windveld zodanig dat niet alle regen in het ongestoorde windveld boven de opvangtrechter wordt opgevangen. Het valtraject van de regendruppel wordt juist boven de opvangtrechter door de licht opwaartse luchtbeweging aan de loefzijde van de regenmeter afgebogen naar de lijzijde, waardoor een klein deel niet in de regenmeter belandt en de vangst wordt onderschat. De grootte van de afwijking is een functie van:

- het type regenmeter,
- de neerslagintensiteit,
- de druppelgrootteverdeling, en
- de windsnelheid ter hoogte van de opvangtrechter.

Het type regenmeter bepaalt de verstoring van het windveld boven de opvangtrechter. Førland et al. (1996) en Michelson (2004) hebben een experimentele correctiefactor voor regenmetingen opgesteld als functie van het type regenmeter, de regenintensiteit en de windsnelheid. Hun metingen geven aan dat de correctiefactor toeneemt met de windsnelheid, maar sterk afneemt met de regenintensiteit. Dit wordt bevestigd door experimenten en turbulentiemodelstudies van Nespor (1996), Nespor en Sevruk (1999) en Chvila et. al. (2005), die voorts het effect van de druppelgrootteverdeling op de windcorrectiefactor hebben bepaald. Genoemde studies geven aan dat voor zeer hoge neerslagintensiteiten (b.v. de jaarmaxima) het windeffect gering is en de noodzaak voor correctie van extremen nauwelijks aanwezig is. Dit geldt echter niet voor lagere neerslagintensiteiten, waarvoor het windeffect veel groter is. De WMO (zie Dingman, 2002) geeft voor dagwaarden van regengegevens, d.w.z. voor alle intensiteiten, gemeten met een standaard US 8 inch regenmeter (3.24 dm^2) zonder windscherm, een correctiefactor die alleen een functie is van de windsnelheid ter hoogte van de opvangtrechter, zie Figuur B.1 en Tabel B.1. De figuur geeft aan dat bij een windsnelheid boven de regenmeter van 2 m/s (= 4.5 m/s op de standaard windmeterhoogte van 10 m) al een correctie van 10% op de meting zou moeten worden toegepast. De WMO windcorrectie is afgeleid van experimenten op 10 neerslagstations in Alaska gedurende twee jaar, waar naast neerslag in vloeibare vorm, met name gekeken is naar effecten op neerslag in vaste en gemixte vorm (Yang et. al., 1998).

Voor Nederlandse omstandigheden kan gebruik worden gemaakt van de studie van Warmerdam (1981), gepubliceerd in H2O, Volume 14. Hij heeft op basis van neerslagmetingen in de periode 1972-1976 in het Hupselse Beekgebied met 4 dm^2 en 2 dm^2 regenmeters op 40 cm boven het maaiveld en grondregenmeters met dezelfde opvangtrechteropeningen analyses gemaakt van het verschil in vangsten. Zijn resultaten tonen aan dat het windeffect in het winterseizoen groter is dan in de zomer en dat voorts het windeffect voor de 4 dm^2 regenmeter groter is dan voor de 2 dm^2 . Het verschil in effect tussen zomer en winterneerslag heeft te maken met de druppelgrootte, die in de convectieve zomerbuien groter is dan in de winterse buien. Het verschil tussen de 4 dm^2 en de 2 dm^2 regenmeters moet worden gezocht in de sterkte van de verstoring van het windveld boven de regenmeters. De resultaten van het Hupselse Beek onderzoek naar de effecten van wind op de neerslagmetingen zijn kwalitatief volledig in overeenstemming met de hierboven genoemde studies en experimenten. De correctiefactoren die volgen uit de analyses van Warmerdam zijn in Tabel B.1

weergegeven in formulevorm voor de 4 dm² en de 2 dm² regenmeters voor zomer en wintercondities. Hierbij is de windsnelheid van 1,50 m hoogte, die in de studie van Warmerdam is aangenomen, getransformeerd naar 0,40 m hoogte met behulp van een logaritmisch windsnelheidsprofiel. Een vergelijking met de WMO relatie is gegeven in Figuur B.1. De figuur geeft aan dat de WMO-correctie tot een windsnelheid van 3 m/s vrijwel identiek is aan de correctie voor de 4 dm² regenmeter in de winter volgens Warmerdam. Voor hogere windsnelheden is de WMO-correctie groter.



Figuur B.1 Windcorrectie op neerslagmetingen

Tabel B.1 Modellen voor windcorrectie op neerslagmetingen

Opvangtrechter opening (dm ²)	seizoen	Logistic model: $y=a/(1+b*\exp(-c.u))$	
		Coefficients:	
4	winter	a =	1.124952
		b =	0.127001
		c =	0.828217
4	zomer	a =	1.053107
		b =	0.052465
		c =	0.713720
2	winter	a =	1.056159
		b =	0.055947
		c =	0.918248
2	zomer	a =	1.031080
		b =	0.030940
		c =	1.210239
WMO		Exponentieel model: $y=100\exp(a + b.u^c)$	
		Coefficients:	
		a =	-4.605
		b =	0.062
	c =	0.580	

y = correctiefactor op neerslagmeting

u = windsnelheid op hoogte van opvangtrechter (m/s)

De resultaten met de verschillende correctieprocedures voor station Leeuwarden voor 2006 zijn weergegeven in Tabel B.2. De WMO procedure leidt op jaarbasis tot een correctie van 11%, de jaarsommen gemeten met de 4 dm² regenmeter moeten met ruim 7% verhoogd worden en de jaarsommen met de 2 dm² regenmeter met 4%. Hierbij zijn de zomercondities toegepast van april t/m september. Merk op dat op de meteorologische stations van het KNMI gemeten wordt met 4 dm² regenmeters en op de KNMI neerslagstations met 2 dm² regenmeters. Gesteld dat de 4 dm² regenmeters die in het onderzoek van Warmerdam zijn gebruikt dezelfde zijn als nu nog op de meteorologische stations worden toegepast, dan kan 3,5% van het verschil tussen de in het NHI gebruikte neerslag (gebaseerd op de op meteorologische stations) en de neerslag volgens alle neerslagstations worden toegeschreven aan meetonzuiverheid door de waarnemingen niet te corrigeren voor windeffecten.

Voor zuivere waterbalansanalyses zijn correcties voor wind noodzakelijk. Hierbij kan de potentiële windsnelheid op 10 m hoogte, die beschikbaar is voor de meteorologische stations, met een logaritmisch windsnelheidsprofiel naar de hoogte van de opvangtrechter worden vertaald (voor een grasoppervlak $u_{\text{regenmeter}} = 0.45 u_{10}$). Wegens de niet-lineaire correctiefactor - windsnelheidsrelatie dient deze correctie op dagbasis te worden uitgevoerd.

Tabel B.2 Windcorrectie op neerslagmetingen te Leeuwarden in 2006

Jaar	Meting (mm)	WMO (mm)	4 dm ² (mm)	2 dm ² (mm)
2006	808	895	868	839
meetcorrectie		1,109	1,074	1,039

Literatuur

Chvila, B, B. Sevruc en M. Ondras (2005)

The wind-induced loss of thunderstorm precipitation measurements.
Atmospheric Research 77 pg 29-38, Elsevier B.V.

Dingman, L. (2002)

Physical Hydrology. second edition
Prentice Hall, New Jersey, USA

Førland, E.J., P. Allerup, B. Dahlström, E. Elomaa, T. Jóhanson, H. Madsen, J. Perälä, P. Rissanen, H. Vedin en F. Vejen (1996)

Manual for operational correction of Nordic precipitation data.
Report Nr. 24/96 DNMI, Oslo Norway.

Michelson, D.B. (2004)

Systematic correction of precipitation gauge observations using analyzed meteorological variables.

Journal of Hydrology 290 pg 161-177.

Nespor, V. en B. Sevruc (1999)

Estimation of Wind-Induced Error of Rainfall Gauge Measurements Using a Numerical Simulation.

Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, Volume 16 pg 450-464.

Nespor, V. (1996)

Investigation of wind-induced error of precipitation measurements using a three-dimensional numerical simulation.

Zürcher Geographische Schriften 63, 117 pp. ETH Zürich, Switzerland.

Sevruk, B. (1982)

Methods of correction for systematic error in point precipitation measurement for operational use.

Operational Hydrology Report, Vol 21, WMO-No 589, 91 pp.

Sevruk, B. (1989)

Wind-induced measurement error for high-intensity rains.

In: Sevruk, B. (ed). Precipitation Measurement. Proc. International Workshop on Precipitation Measurement, St Moritz, Switzerland, WMO Instrum. Obs. Methods Rep., vol 48. WMO Geneva, pp 199-204. WMO/TD-No 328.

Warmerdam, P. (1981)

De invloed van de wind op regenwaarnemingen; een vergelijkend regenmeteronderzoek.

H2O, Volume 14

Yang, D., B.E. Goodison, J.R. Metcalfe, P. Louie, G. Leavesley, D. Emerson, C.L.

Hanson, V.S. Gobulev, E. Elomaa, T. Gunther, T. Pangburn, E. Kang en J. Milkovic (1999)

Quantification of precipitation measurement discontinuity induced by wind shields on national gauges.

Water Resources Research, Vol 35. No 2, pp. 491-508, February 1999.