

stowa

BIJLAGE J

VALIDATIE NHI

WATERSCHAP

ZUIDERZEELAND



RAPPORT

2011
w02

BIJLAGE J

VALIDATIE NHI WATERSCHAP ZUIDERZEELAND

RAPPORT

2011
W02



Validatie NHI voor Zuiderzeeland

Jaren 2003 en 2006

HJM Ogink

Opdrachtgever:
Stowa

Validatie NHI voor Zuiderzeeland

Jaren 2003 en 2006

HJM Ogink

Rapport

december 2010

Inhoud

1	Inleiding.....	4
1.1	Aanleiding validatie NHI	4
1.2	Aanpak.....	5
2	Neerslag en verdamping	6
2.1	Neerslag in 2003 en 2006 vergeleken met de normalen	6
2.2	Berekeningsprocedure model neerslag.....	10
2.3	Gemeten en model neerslag in 2003	11
2.4	Gemeten en model neerslag 2006	13
2.5	Windcorrectie op neerslagmetingen.....	14
2.6	Verdampingsberekening in NHI.....	15
2.7	Referentie verdamping	16
2.8	Actuele verdamping	21
3	Oppervlaktewater	23
3.1	Hydraulische infrastructuur.....	23
3.2	Aanvoer en afvoer van en naar de Noordoostpolder	26
3.3	Aanvoer en afvoer van en naar ZO Flevoland	29
4	Grondwaterstanden	33
4.1	Inleiding.....	33
4.2	Noordoostpolder	33
4.3	ZO Flevoland	39
4.4	Samenvatting.....	52
5	Chlorideconcentraties	54
5.1	Beschikbare gegevens	54
5.2	Berekende chlorideconcentraties	54
5.3	Vergelijking van gemeten en berekende chlorideconcentraties in de districten.....	56
6	Conclusies en aanbevelingen.....	59
6.1	Conclusies	59
6.2	Aanbevelingen	61

7	Literatuur.....	62
	Appendices	
A	Windcorrectie neerslagmetingen	63

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

Het waterschap Zuiderzeeland omvat de Noordoostpolder en Zuidelijk en Oostelijk Flevoland. In het NHI wordt Zuiderzeeland gerepresenteerd door de districten 14 (Noordoostpolder) en 30 (Zuidelijk en Oostelijk Flevoland). De validatie van het NHI voor het beheersgebied is uitgevoerd op de reproductie van de variabelen zoals hiervoor is aangegeven. Met betrekking tot het oppervlaktewater zijn de simulaties voor de aan- en afvoer per polder vergeleken met de beschikbare metingen. Van in totaal 34 locaties zijn grondwaterstandgegevens ontvangen met een bemonsteringsinterval van 1 en 6 uur. De peilbuislocaties bleken sterk geclusterd te zijn en een selectie van de metingen is gemaakt voor een vergelijking met de resultaten van het NHI. Zoutbelastingen spelen een rol in het waterbeheer van Zuiderzeeland. Het lag in de bedoeling de gemeten en berekende zoutconcentraties in de districten en in de aangrenzende meren te vergelijken. Het is echter nog niet mogelijk gebleken de zoutconcentraties in de districten aan de NHI-uitvoer te onttrekken.

Leeswijzer

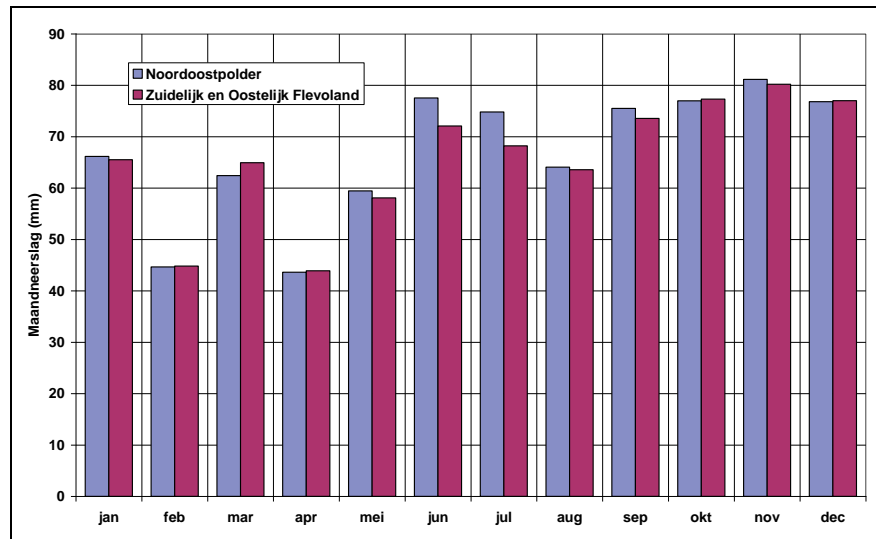
In hoofdstuk 2 wordt aandacht gegeven aan de neerslag en verdampingskarakteristieken van de geselecteerde jaren 2003 en 2006 in relatie met de normalen. Dit om na te gaan hoe representatief de gekozen jaren zijn voor extreme situaties. Daarna wordt een vergelijking gemaakt met de beste schattingen voor de neerslag op basis van alle KNMI neerslagstations en de selectie die ten grondslag heeft gelegen aan de neerslag die in het NHI is aangenomen. Vervolgens wordt de NHI validatie voor het oppervlaktewater besproken in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 zijn de grondwaterstandreeksen vergeleken met de dagelijkse grondwaterstanden zoals die door het NHI zijn berekend. In hoofdstuk 5 zijn de conclusies samengevat en worden aanbevelingen voor verbeteringen gegeven.

2 Neerslag en verdamping

2.1 Neerslag in 2003 en 2006 vergeleken met de normalen

De gemiddelde jaarlijkse neerslag in de Noordoostpolder bedraagt 803 mm, waarvan 49% (395 mm) in het groeiseizoen valt, zie Tabel 2.1. De neerslagnormalen voor ZO Flevoland voor het jaar en het groeiseizoen liggen met 789 mm en 379 mm (= 48% van de jaarsom) iets lager. De droogste maanden zijn gemiddeld genomen februari en april, terwijl de herfstmaanden het natst zijn met de hoogste waarde voor november, zie Figuur 2.1 en Tabel 2.2.

De ruimtelijke verdeling van de gemiddelde jaarlijkse neerslagsom is weergegeven in Figuur 2.2. De hoogste gemiddelde jaarsommen treden op in het noordoosten van het beheersgebied en de laagste in het zuiden, maar de verschillen zijn niet groter dan 50 tot 75 mm.



Figuur 2.1 Maandneerslagnormalen voor Zuiderzeeland

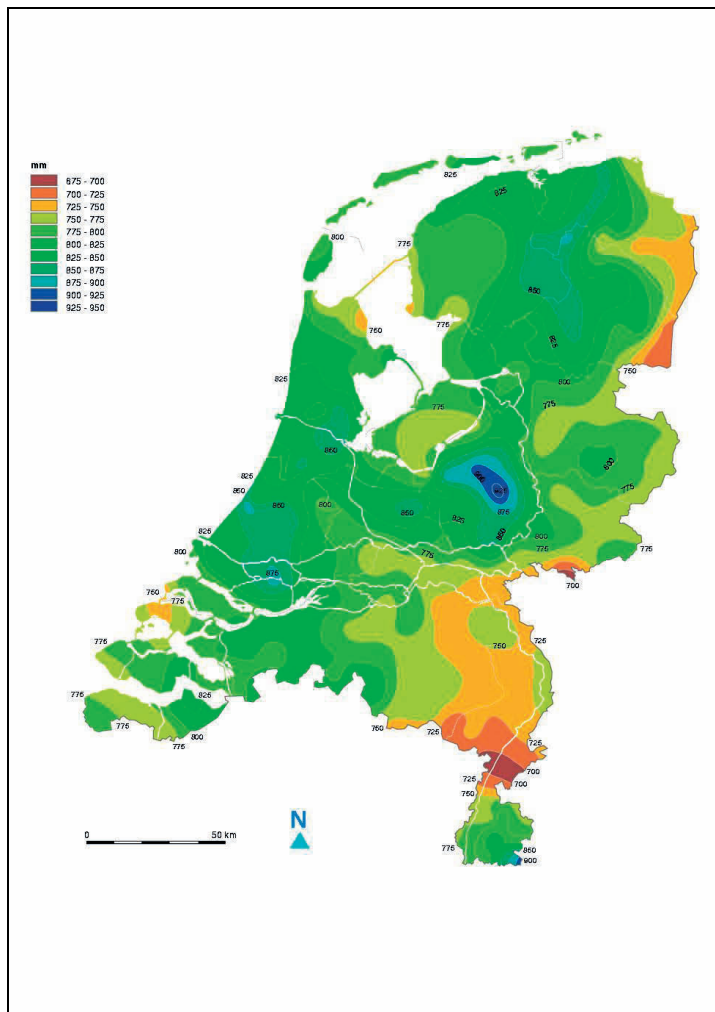
Tabel 2.1 Neerslag karakteristieken van Zuiderzeeland

Regio/ waterschap	Neerslag in mm						Verschil met normaal in %			
	Normaal		2003		2006		2003		2006	
	Jaar	Groei	Jaar	Groei	Jaar	Groei	Jaar	Groei	Jaar	Groei
Noordoostpolder	803	395	725	372	768	414	-10	-6	-4	5
ZO Flevoland	789	379	648	303	860	455	-18	-20	9	20

Tabel 2.2 Maandneerslag in Zuiderzeeland als percentage van de jaarsom

	jan	feb	mar	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Noordoostpolder												
norm	8.2	5.6	7.8	5.4	7.4	9.7	9.3	8.0	9.4	9.6	10.1	9.6
2003	11.4	3.0	3.0	5.1	14.2	10.3	13.8	1.9	6.1	8.9	8.2	14.0
2006	2.3	5.9	8.3	4.9	8.7	4.8	7.9	26.1	1.5	11.6	8.9	9.2
Zuidelijk en Oostelijk Flevoland												
norm	8.3	5.7	8.2	5.6	7.4	9.1	8.6	8.1	9.3	9.8	10.2	9.8
2003	13.9	3.1	3.3	6.2	15.8	4.8	9.9	1.9	8.1	9.7	8.0	15.3
2006	2.1	6.0	10.0	5.3	9.2	2.8	6.5	27.9	1.2	9.4	9.8	9.8

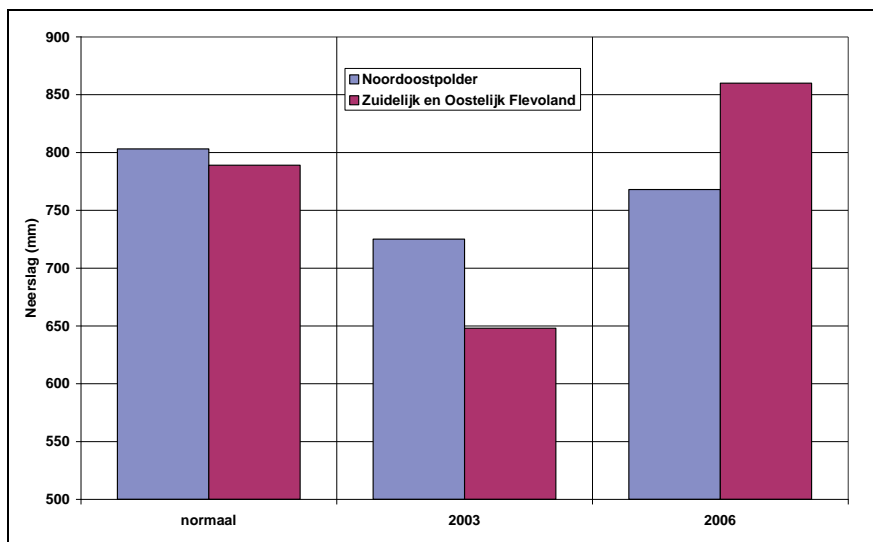
Legenda: geel: < 7 %; wit: 7-10%; blauw > 10%



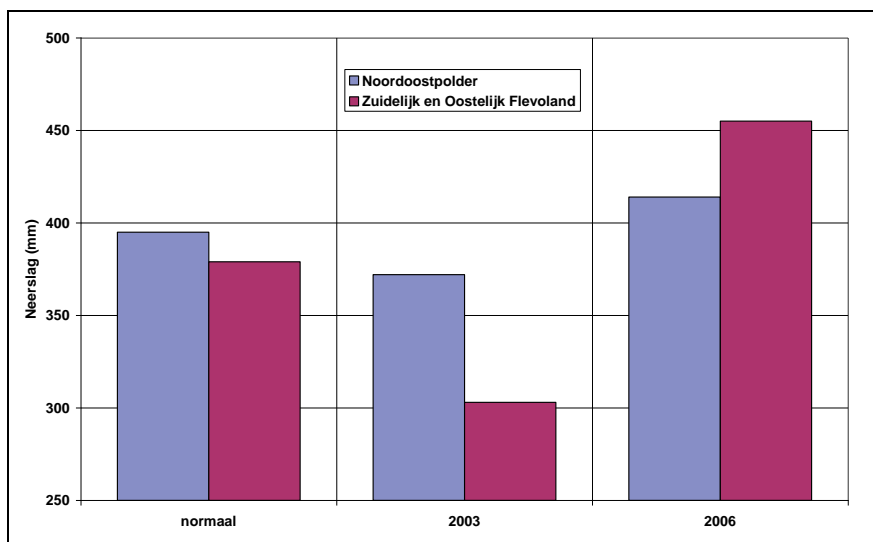
Figuur 2.2 Gemiddelde jaanneerslag periode 1971-2000 (bron: KNMI)

In 2003 was de neerslag op jaar- en seizoenbasis in de Noordoostpolder, maar vooral in Zuidelijk en Oostelijk Flevoland lager dan normaal (zie Tabel 2.1, Figuur 2.3 en Figuur 2.4). In het groeiseizoen was in dat jaar in ZO Flevoland de neerslag zelfs 20% minder dan gemiddeld. De verschillen met de normalen varieerden in 2003 van maand tot maand, zie Figuur 2.5. De ruimtelijke verdeling van de jaarsom is weergegeven in Figuur 2.6. De figuur geeft aan dat de plaatselijke verschillen groot zijn geweest: bijna 800 mm in Kuinre en nog geen 600 mm in Lelystad

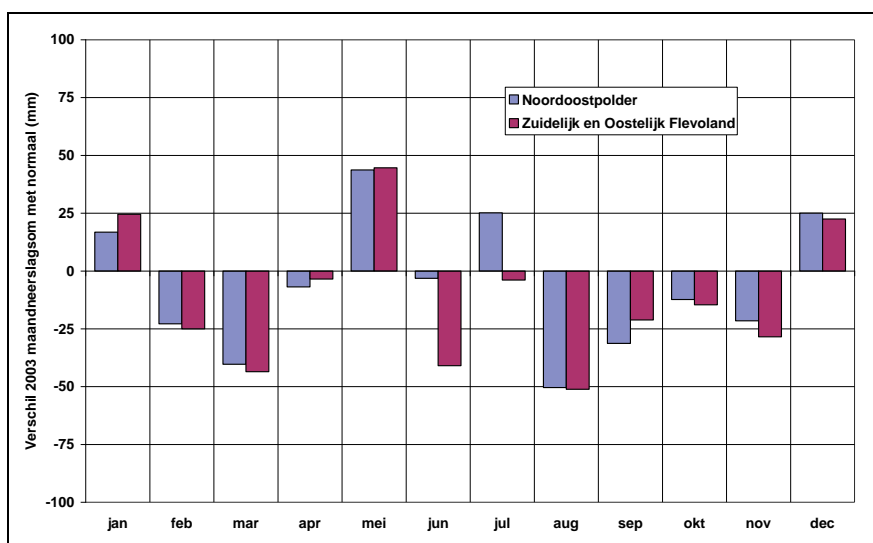
De jaar- en seizoensneerslagsom voor de Noordoostpolder lag in 2006 dicht bij de normaal, (4% lager op jaarbasis maar 5% hoger in het groeiseizoen, zie Tabel 2.1 en Figuur 2.3). De maanden juni en september waren evenwel aanzienlijk droger dan normaal (zie Figuur 2.8), maar dit werd goeddeels gecompenseerd door de zeer hoge neerslagsom voor de maand augustus. In ZO Flevoland was 2006 natter dan normaal, 9% op jaarbasis en zelfs 20% in het groeiseizoen. De maanden juni en september waren ook hier veel droger dan normaal en was augustus extreem nat. De geconstateerde afwijkingen van de normalen hebben er toe geleid dat het potentiële neerslagtekort eind juli aanzienlijk groter is geweest dan gemiddeld, zowel in de Noordoostpolder als in ZO Flevoland. De ruimtelijke verdeling van de neerslag in 2006 is weergegeven in Figuur 2.7. Vergeleken met 2003 is de neerslagtrend nu omgekeerd met de hoogste waarden van orde 900 mm in het zuidwesten van ZO Flevoland en de laagste van minder dan 700 mm in het oosten van de Noordoostpolder.



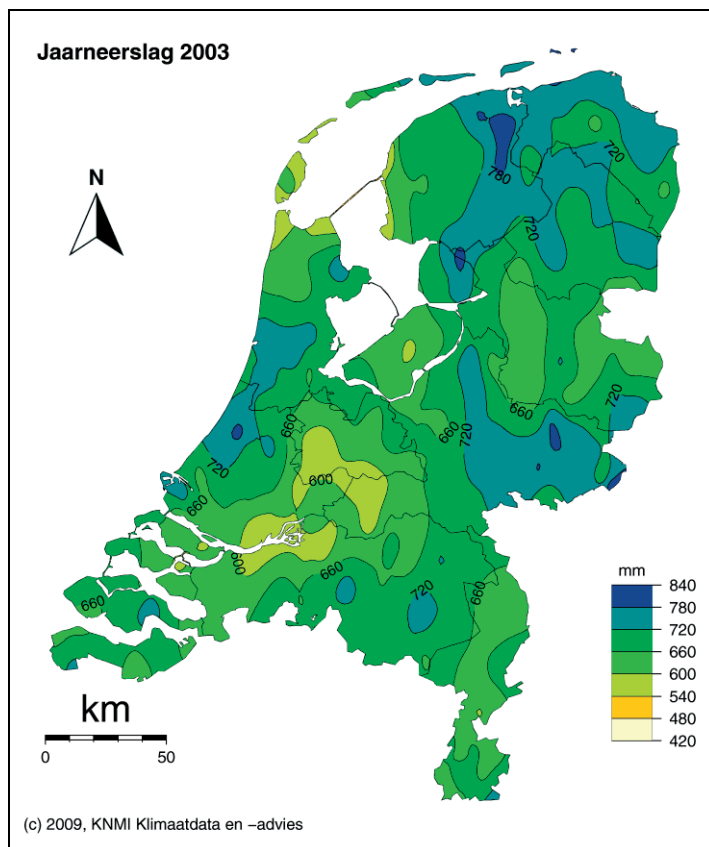
Figuur 2.3 Jaarneerslagsommen in 2003 en 2006 met de normalen voor Zuiderzeeland



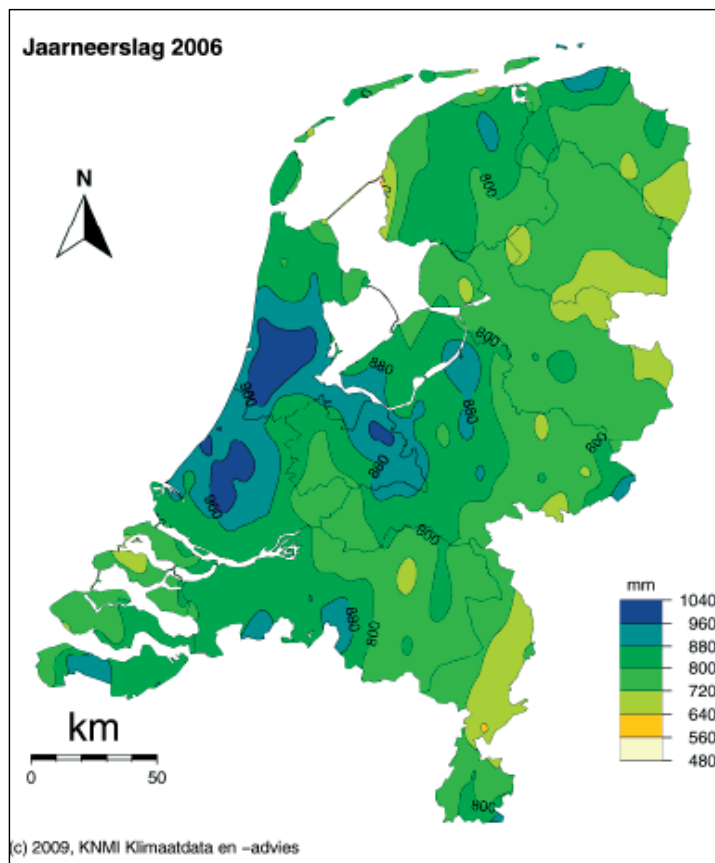
Figuur 2.4 Seizoenneerslagsommen in 2003 en 2006 met de normalen voor Zuiderzeeland



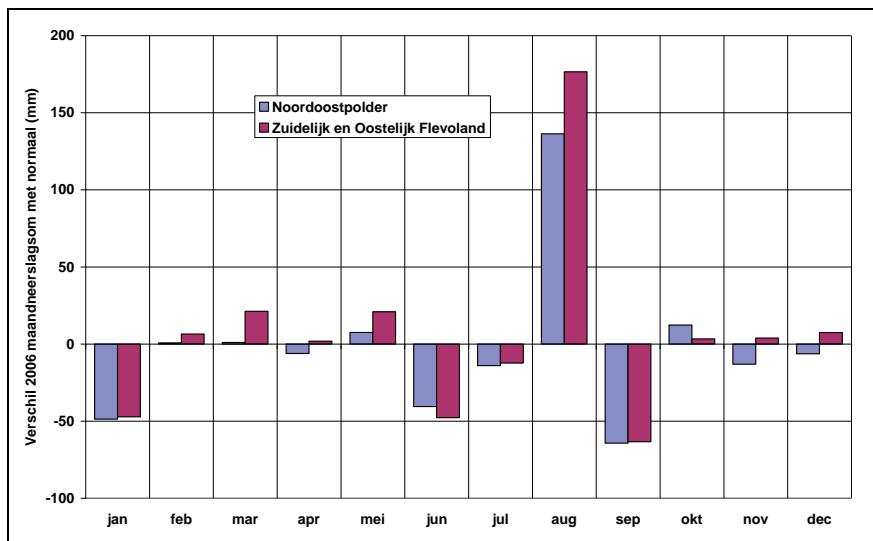
Figuur 2.5 Verschil maandneerslagsommen in 2003 met normalen voor Noordoostpolder en ZO Flevoland



Figuur 2.6 Jaarneerslag in 2003 gebaseerd op KNMI-neerslagstations (bron: KNMI)



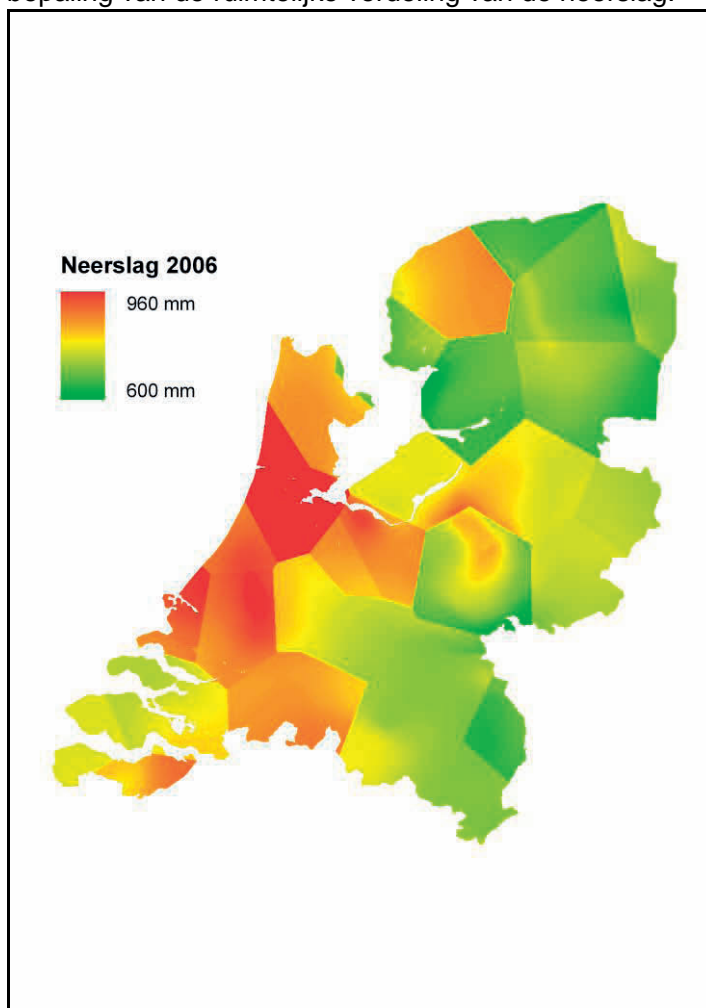
Figuur 2.7 Jaarneerslag in 2006 gebaseerd op KNMI-neerslagstations (bron: KNMI)



Figuur 2.8 Verschil maandneerslagsommen in 2006 met normalen voor Noordoostpolder en ZO Flevoland

2.2 Berekeningsprocedure model neerslag

Figuur 2.9 geeft het principe van de methode weer die in het NHI gebruikt wordt voor de bepaling van de ruimtelijke verdeling van de neerslag.



Figuur 2.9 Thiessennetwerk modelneerslagbepaling

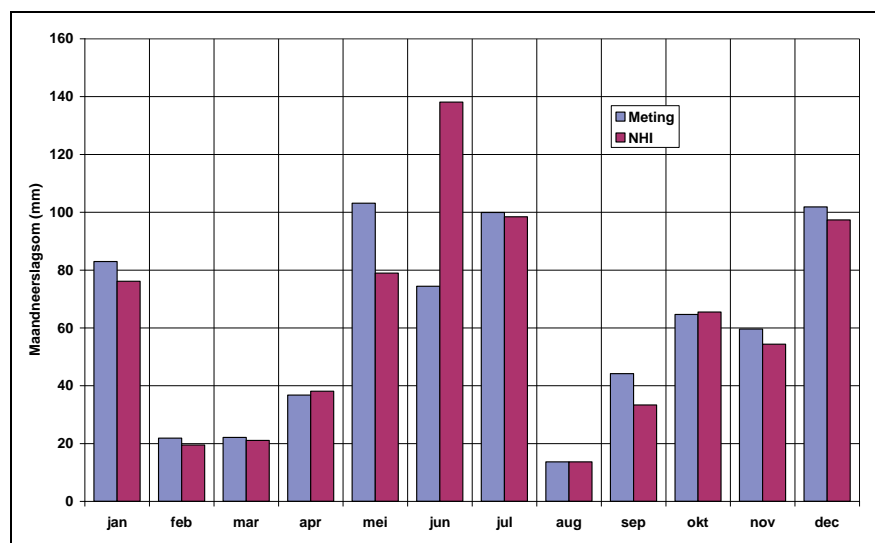
De verdeling is gebaseerd op de gemeten neerslag bij de hoofdstations, die met een Thiessennetwerk wordt toegekend aan de rekencellen. Vervolgens wordt per rekencel gecorrigeerd voor de ruimtelijke verdeling volgens de *jaarnormalen* van het neerslagnetwerk (zie Deelrapport Neerslag en Verdamping, NHI, 2008). De figuur geeft aan dat de neerslag voor Zuiderzeeland vrijwel geheel wordt bepaald door de waarden gemeten op de meteorologische stations Marknesse en Lelystad. 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. Tabel 2.2 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.

2.3 Gemeten en model neerslag in 2003

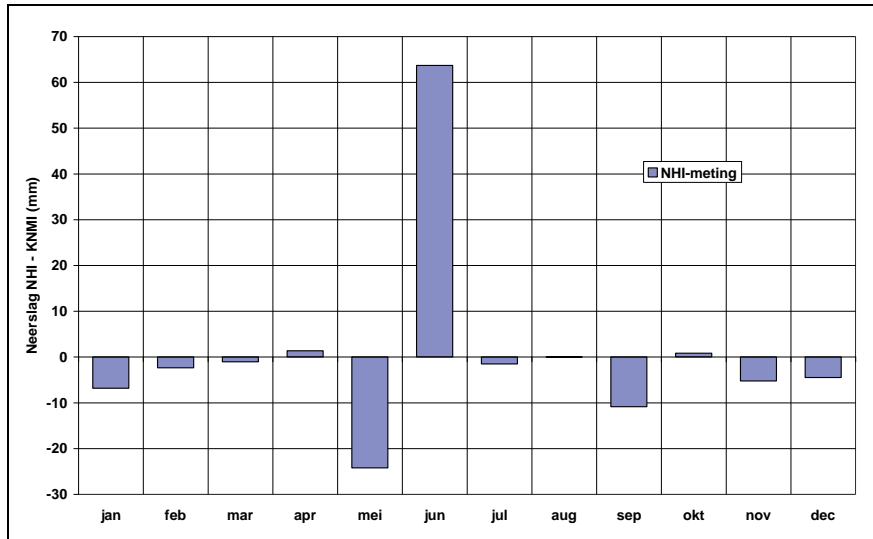
De neerslag voor de Noordoostpolder in het NHI wordt bepaald door de waarden van het meteorologische station Marknesse. Deze keuze leidt tot een overschatting van de neerslag van 8% op jaarbasis en van 1% voor het groeiseizoen, zie ook Tabel 2.3. De verschillen op maandbasis zijn weergegeven in Figuur 2.10 en Figuur 2.11. De grootste verschillen treden op voor de maanden mei en juli. In het NHI is de neerslag in ZO Flevoland op jaarbasis vrijwel gelijk aan de meting en wordt voor het groeiseizoen met 4% onderschat. De verschillen op maandbasis zijn weergegeven in Figuur 2.12 en Figuur 2.13. Ook hier zijn de verschillen voor mei en juni het grootst.

Tabel 2.3 Vergelijking tussen gemeten en model neerslag in groeiseizoen en jaar 2003 en 2006 voor Oost Nederland

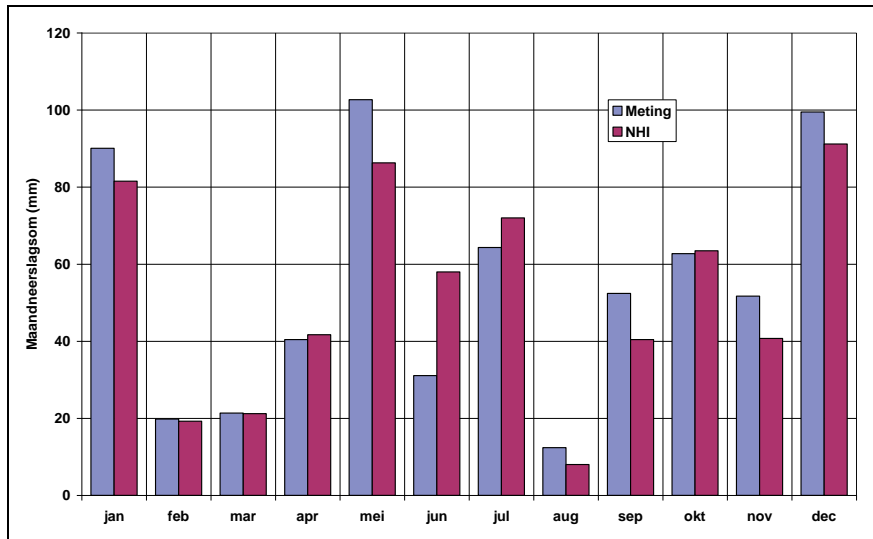
Jaar	Neerslag gemeten (mm)		Neerslag model (mm)		Verschil model – meting (mm)	
	Groeiseizoen	Jaar	Groeiseizoen	Jaar	Groeiseizoen	Jaar
Noordoostpolder						
2003	372.1	725.0	400.5	734.3	28.4 (8%)	9.3 (1%)
2006	413.6	767.8	328.5	651.5	-85.2 (-20%)	-116.3 (-15%)
ZO Flevoland						
2003	303.3	648.5	306.4	623.8	3.1 (1%)	-24.7 (-4%)
2006	455.3	860.1	423.8	761.5	-31.5 (-7%)	-98.6 (-11%)



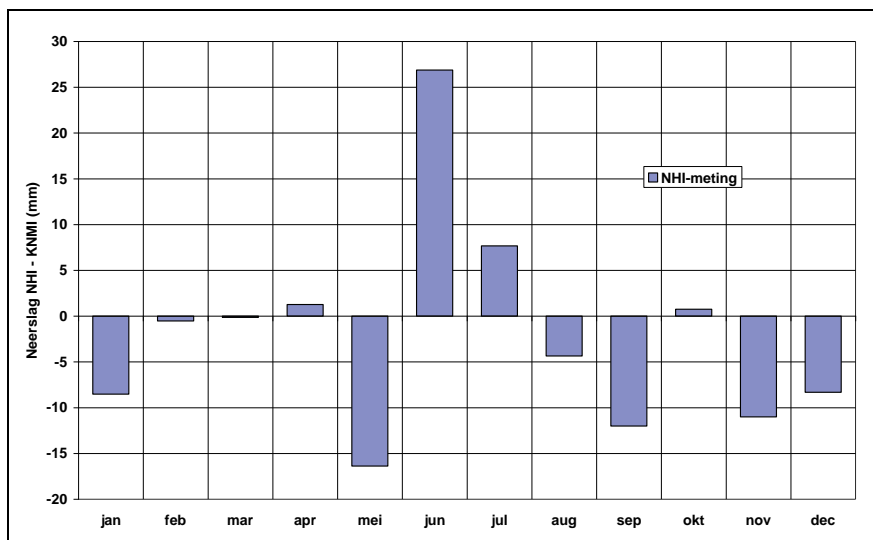
Figuur 2.10 Maandneerslagsommen in 2003 voor de Noordoostpolder, meting en model



Figuur 2.11 Verschil maandneerslagsommen model - meting in 2003 voor de Noordoostpolder



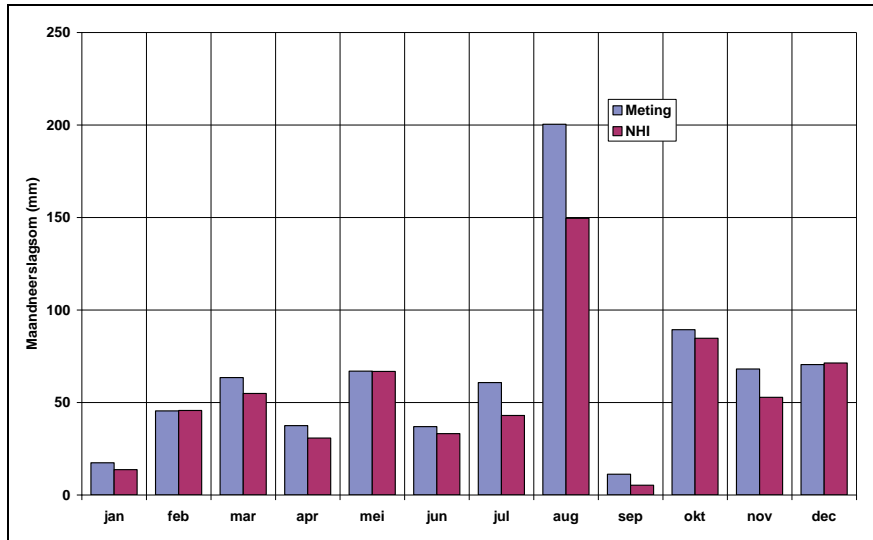
Figuur 2.12 Maandneerslagsommen in 2003 voor ZO Flevoland, meting en model



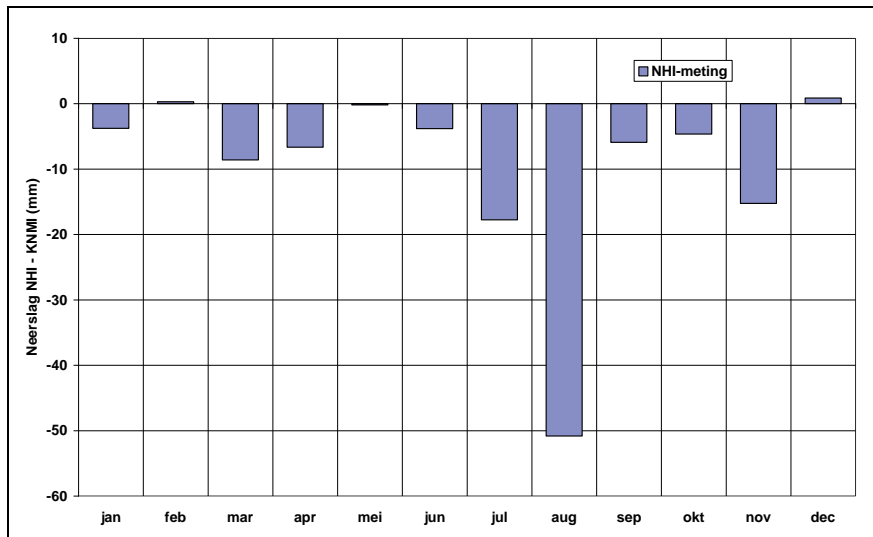
Figuur 2.13 Verschil maandneerslagsommen model - meting in 2003 voor ZO Flevoland

2.4 Gemeten en model neerslag 2006

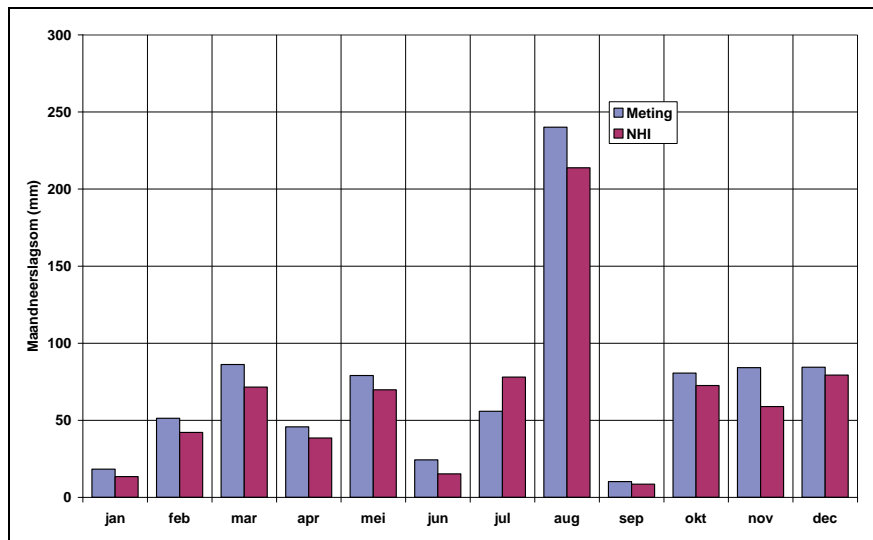
Voor de Noordoostpolder zijn de verschillen tussen de gemeten neerslag op basis van de KNMI neerslagstations en de NHI-neerslag voor 2006 erg groot; het model onderschat de neerslag met 20% voor het groeiseizoen en 15% voor de jaarsom, zie Tabel 2.3. De verschillen op maandbasis zijn weergegeven in Figuur 2.14 en Figuur 2.15. Voor ZO Flevoland zijn de verschillen tussen de NHI neerslag en de gemeten neerslag met 7 en 11% op seizoen en jaarbasis iets minder groot, zie Tabel 2.3, Figuur 2.16 en Figuur 2.17. De NHI waarden zullen hier evenals voor de Noordoostpolder aanleiding geven tot een ruime overschatting van het potentiële neerslagtekort voor 2006 en daarmee tot een forse overschatting van de watervraag.



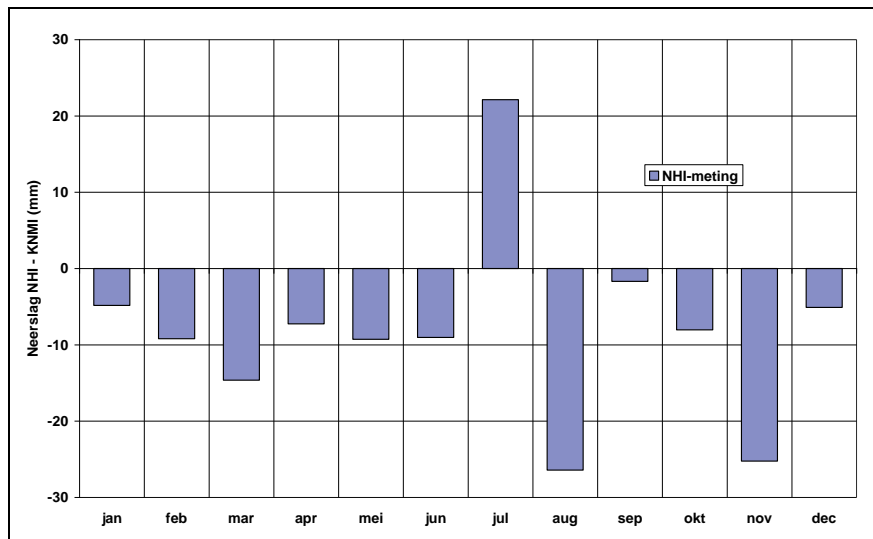
Figuur 2.14 Maandneerslagsommen in 2006 voor de Noordoostpolder, meting en model



Figuur 2.15 Verschil maandneerslagsommen model - meting in 2006 voor de Noordoostpolder



Figuur 2.16 Maandneerslagsommen in 2006 voor ZO Flevoland, meting en model



Figuur 2.17 Verschil maandneerslagsommen model - meting in 2006 voor ZO Flevoland

2.5 Windcorrectie op neerslagmetingen

Merk op dat nabij van de locaties van de meteorologische stations waar met een 4 dm² regenmeter wordt gemeten ook neerslagstations met een standaard 2 dm² regenmeter aanwezig zijn. Volgens Tabel 2.4 zijn de jaarsommen op de neerslagstations met uitzondering van Lelystad in 2003 zo'n 2 tot 4% hoger dan op de meteorologische stations. Dit verschil kan verklaard worden door meetonzuiverheden t.g.v. windeffecten. De gepresenteerde neerslaggegevens zijn niet gecorrigeerd voor wind. Hierdoor is de neerslag onderschat, op de meteorologische stations met 7% op jaarbasis en op de neerslagstations met orde 4%, zoals in Appendix A is uitgewerkt. De orde van grootte van het verschil correspondeert met het verschil tussen de in Tabel 2.4 gesignaleerde verschillen (KNMI meteo- en neerslagstations op ongeveer dezelfde locaties) en de verschillen tussen de NHI neerslag (gebaseerd op de meteorologische stations) en de beste schatting op basis van de neerslagstations. Aan de onzuiverheid in de neerslaggegevens dient men in het vervolg van de modelontwikkeling aandacht te geven.

Tabel 2.4 Vergelijking jaarsommen gemeten op meteo- en neerslagstations in 2003 en 2006

Jaar	Type station Meteo-st/N-st	Lelystad 269/369	Marknesse 273/317	Gemiddeld verschil
2003	Meteo-station	619	754	
	Neerslagstation	594	772	
	Verschil (%)	-4.2	2.4	-0.9
2006	Meteo-station	765	669	
	Neerslagstation	801	689	
	Verschil (%)	4.5	3.0	3.8

2.6 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 gewassenmerken 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_{p0} = verdamping van een droog gewasoppervlak (dry canopy)
- E_{p0} = verdamping van een natte kale grond (wet, bare soil)
- E_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 rekentijdstep wordt eerst de verdamping van interceptiewater berekend, E_i . Deze is een functie van de gewasbedekkingsgraad van de bodem, 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 tijdstep 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_{p0} 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_{p0} , gecorrigeerd voor de duur dat interceptieverdamping actief is en verminderd met de potentiële bodemverdamping E_p . De actuele transpiratie T_a wordt

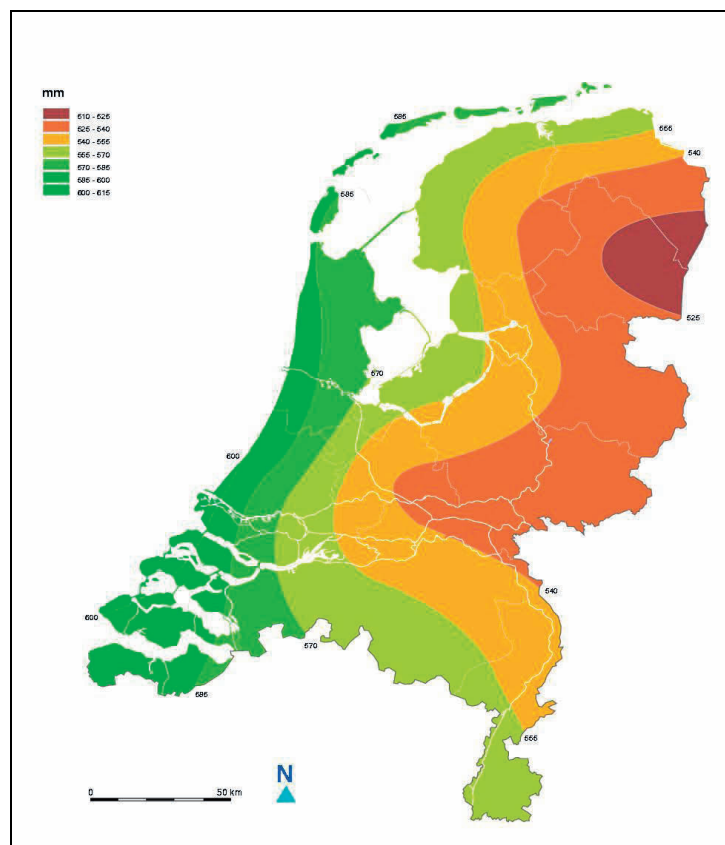
berekend uit de potentiële transpiratie gecorrigeerd met een bodemvochtcorrectiefactor volgens het concept van Feddes: potentieel binnen grenzen en daarbuiten lineair afnemend.

De verdamping van water uit plassen E_{pond} is potentieel E_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.

2.7 Referentie verdamping

De ruimtelijke verdeling van de gemiddelde jaarlijkse referentieverdamping volgens Makkink is weergegeven in Figuur 2.18. De lijnen van gelijke referentieverdamping lopen parallel aan de kust afnemend in oostelijke richting. Voor Zuiderzeeland bedroeg de gemiddelde referentieverdamping in de periode 1991-2009 ongeveer 580 mm op jaarbasis en voor het groeiseizoen april - september lagen de waarden op 477 mm. De tijdreeksen van de referentieverdamping geven echter aan dat de waarden zijn toegenomen. De jaar- en seizoenswaarden liggen nu op respectievelijk orde 600 en 500 mm, zie Figuur 2.19. De verdamping is gemiddeld genomen maximaal in de maanden juni en juli met een referentieverdamping van 3,0 - 3,5 mm/dag, zie Figuur 2.20.

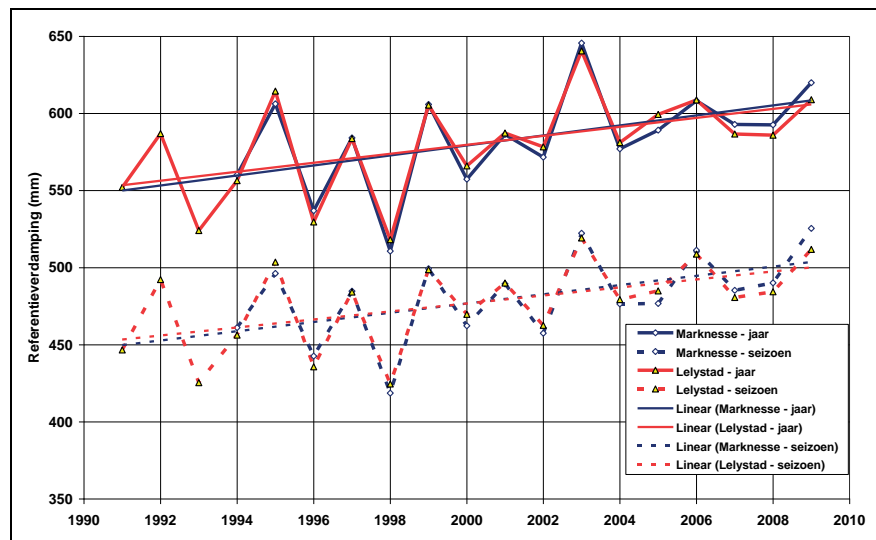


Figuur 2.18 Gemiddelde jaarlijkse verdamping, periode 1971-2000 (bron; KNMI)

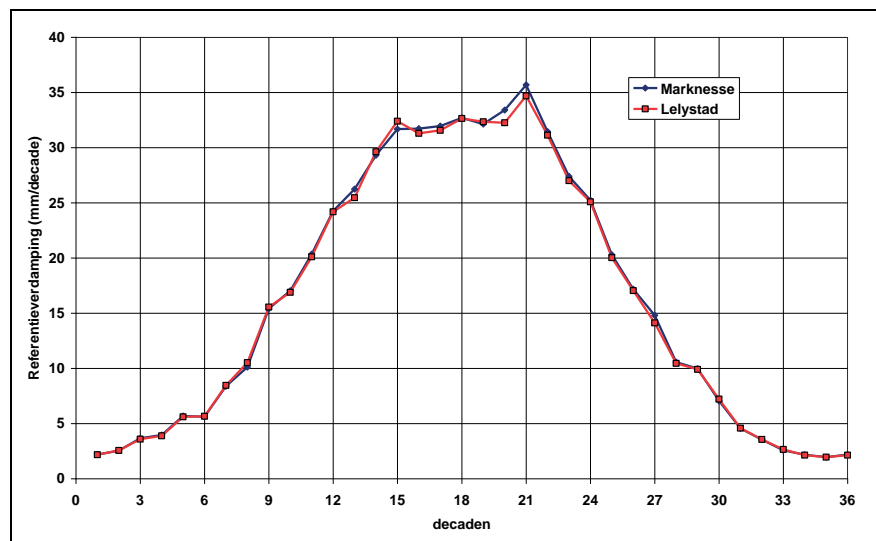
In individuele jaren kan de verdamping echter aanzienlijk afwijken van de normalen. Zowel in 2003 als in 2006 was de referentieverdamping hoger dan gemiddeld, zoals is aangegeven in Figuur 2.21 en Tabel 2.5, deels als gevolg van de eerder genoemde trend in de referentieverdamping. Aangetoond kan worden dat, hoewel de decadewaarden van jaar tot jaar sterk kunnen verschillen, de onderlinge verschillen tussen de stations echter heel klein is, zodat de ruimtelijke variatie gering is, in tegenstelling tot de neerslag.

Tabel 2.5 Referentieverdamping op jaar- en seizoenbasis, neerslag en potentiële neerslagtekort voor Zuiderzeeland voor een normaal jaar en in 2003 en 2006 (waarden in mm)

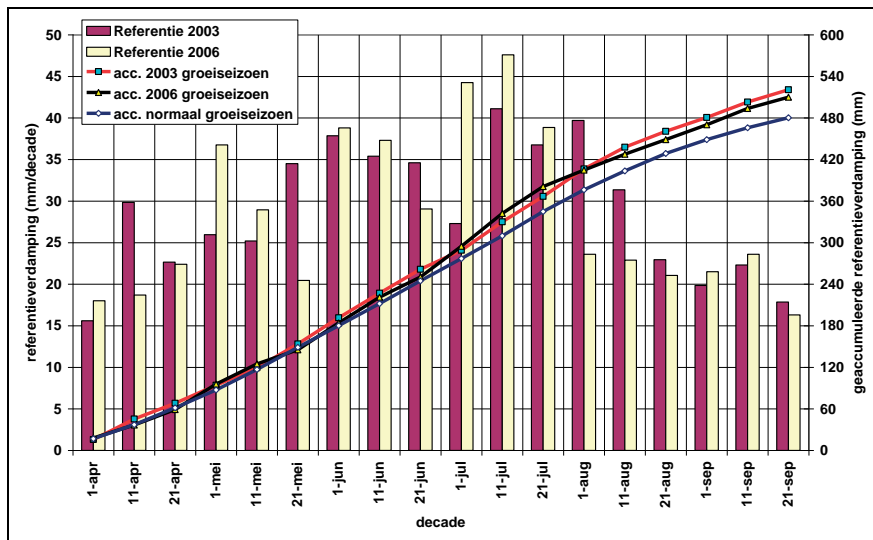
Neerslag en E_{ref}	Noordoostpolder			ZO Flevoland		
	normaal	2003	2006	normaal	2003	2006
jaarsom E_{ref}	579	646	608	580	641	609
groeiseizoen E_{ref}	477	522	511	477	519	509
groeiseizoen neerslag	395	372	414	379	303	455
Potentieel tekort seizoen	82	150	97	98	216	54



Figuur 2.19 Verdampingsnormalen (periode 1991-2009) jaar en groeiseizoen van KNMI-stations in Oost Nederland



Figuur 2.20 Decadeverdampingsnormalen van KNMI-stations in Zuiderzeeland



Figuur 2.21 Referentieverdamping 2003 en 2006 met normalen voor Zuiderzeeland

Noordoostpolder

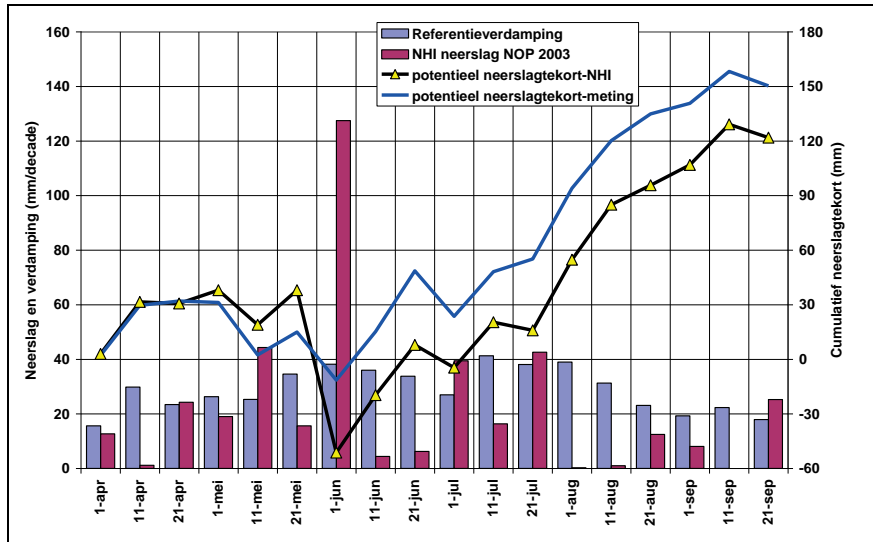
Omdat in 2003 de neerslag lager was dan gemiddeld, was het potentiële neerslagtekort in het groeiseizoen aanzienlijk hoger dan normaal. In het model minder hoog dan in werkelijkheid, door de overschatting van de neerslag in het model, vergelijk Tabel 2.5 met Figuur 2.22.

Voor 2006 was het tekort voor het totale groeiseizoen minder dan in 2003, maar het tekort was eind juli veel groter dan normaal en zelfs groter dan het maximale tekort in relatief droge jaar 2003. In het model is het potentiële tekort groter dan is opgetreden door de onderschatting van de neerslag in het model. Omdat het tekort in 2006 zich midden in het groeiseizoen heeft voorgedaan zijn de gevolgen voor het gewas bij onvoldoende wateraanvoer ernstiger geweest. Figuur 2.23 geeft aan dat de hoge neerslag in augustus 2006 het tekort deels heeft weggewerkt.

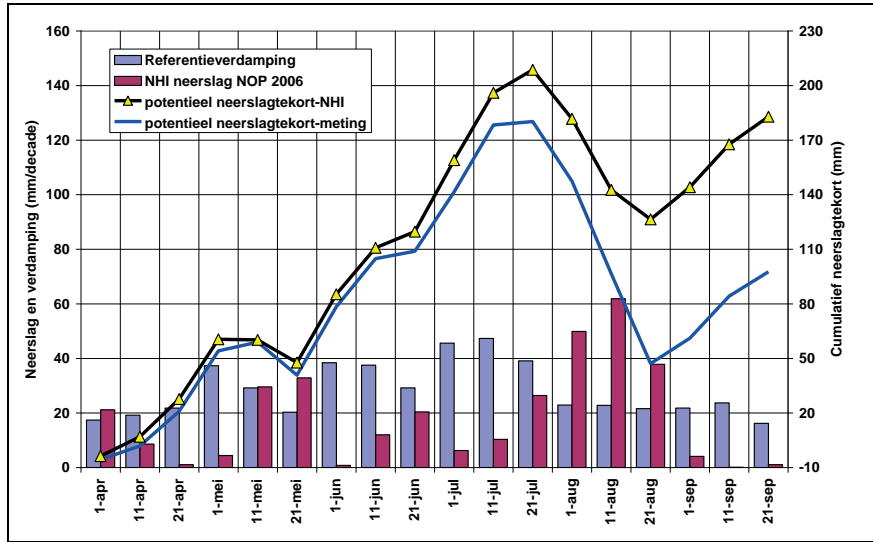
Potentiële neerslagtekorten per maand voor geselecteerde overschrijdingsfrequenties zijn weergegeven in Figuur 2.24. De figuur geeft aan dat in een gemiddeld jaar het maximale potentiële neerslagtekort optreedt aan het einde van het groeiseizoen. Voor drogere seizoenen verschuift dat maximum naar juli, midden in het groeiseizoen, zodat de schade aan de gewassen bij onvoldoende waterbeschikbaarheid groter is. Voorts wordt opgemerkt dat de frequentielijnen zijn gemaakt op basis van de beschikbare gegevens voor de periode 1991-2009 zonder correctie voor de in Figuur 2.19 getoonde opwaartse trend in de referentieverdamping op jaarbasis en voor het groeiseizoen. Zoals in Figuur 2.25 is aangegeven vertoont de jaarneerslagsom weliswaar ook een opwaartse trend, maar de neerslagsom van het groeiseizoen niet. De herfst en de wintermaanden zijn dus natter geworden in de laatste 60 jaar maar niet het voorjaar en de zomermaanden. Per saldo betekent deze ontwikkeling, dat het potentiële neerslagtekort in de Noordoostpolder is toegenomen met ongeveer 50 mm in bijna 20 jaar.

ZO Flevoland

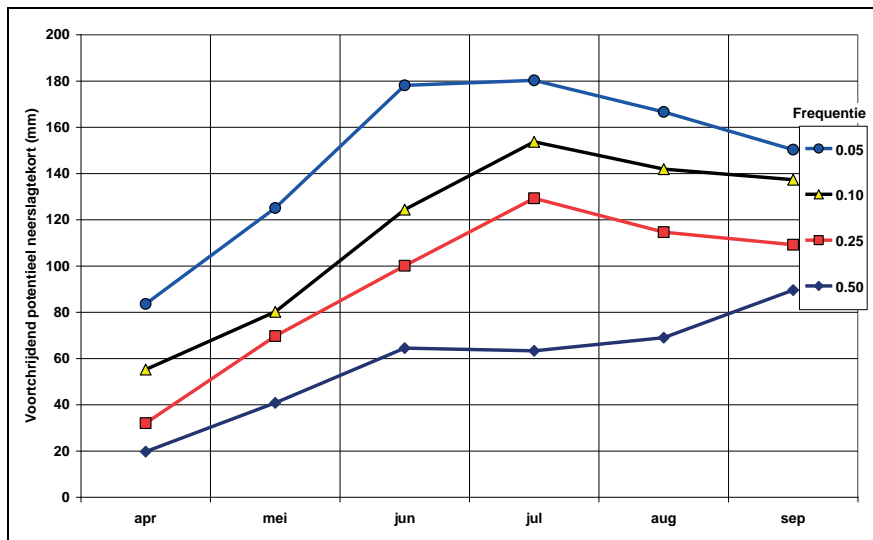
De potentiële neerslagtekorten voor ZO Flevoland in 2003 en 2006 zijn weergegeven in Figuur 2.26 en Figuur 2.27. De ontwikkelingen van de tekorten in de tijd zijn zoals is opgetreden in de Noordoostpolder, alleen waren in ZO Flevoland de tekorten in 2003 groter en in 2006 kleiner dan in de Noordoostpolder, volledig bepaald door de verschillen in neerslag.



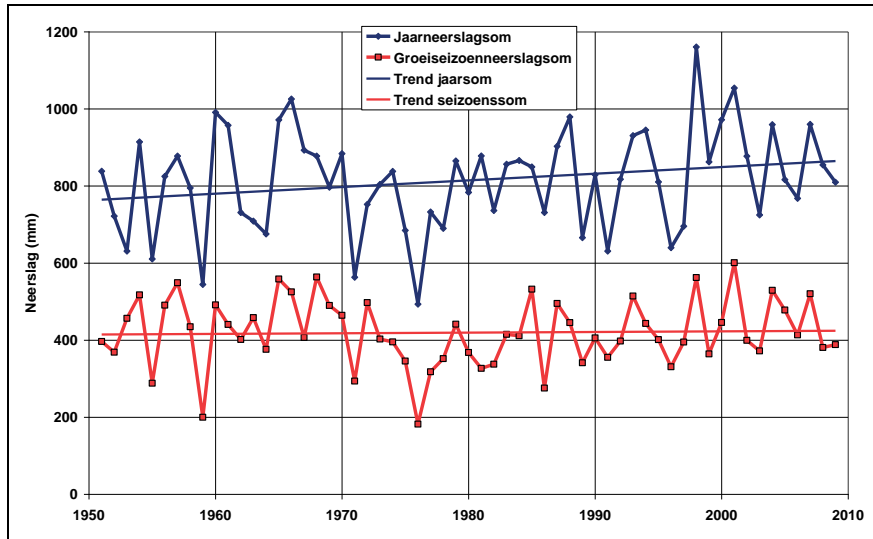
Figuur 2.22 Voortschrijdend potentieel neerslagtekort in 2003 in de Noordoostpolder (neerslag uit NHI)



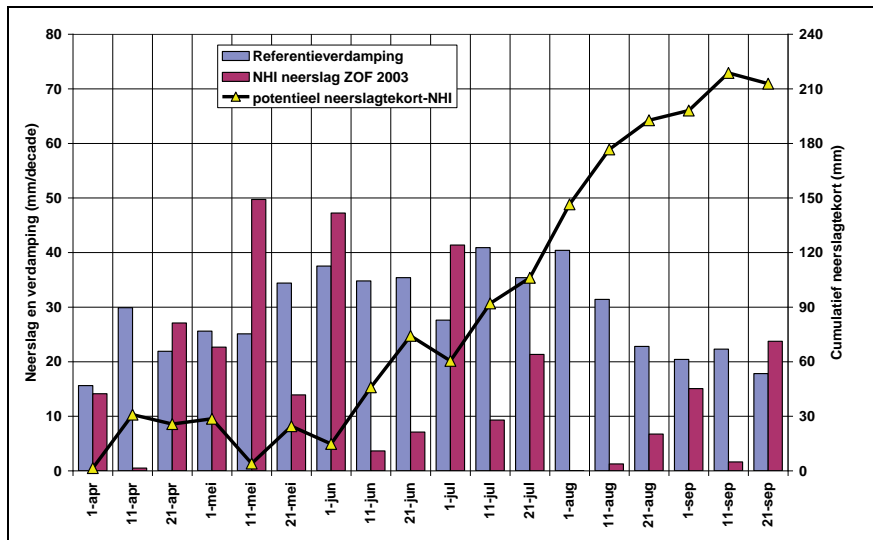
Figuur 2.23 Voortschrijdend potentieel neerslagtekort in 2006 in de Noordoostpolder (neerslag uit NHI)



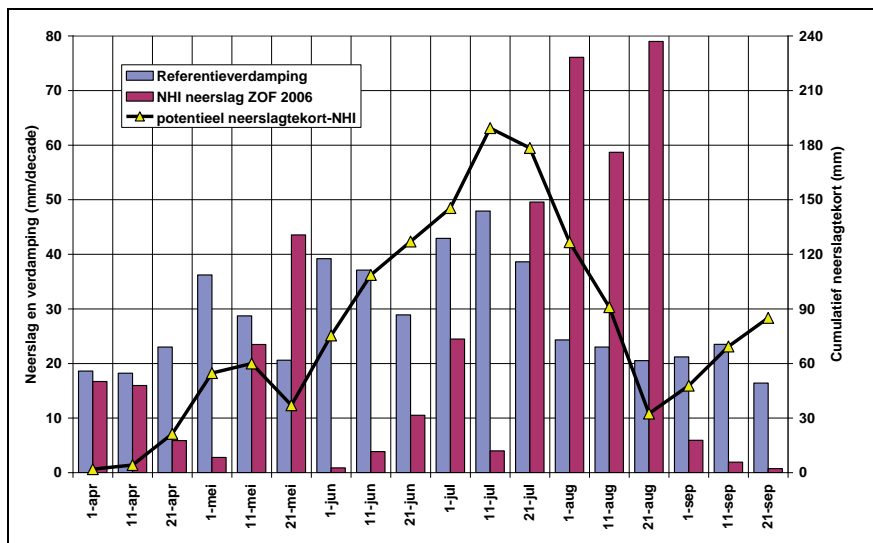
Figuur 2.24 Potentieel neerslagtekort per maand in de Noordoostpolder voor geselecteerde overschrijdingsfrequenties



Figuur 2.25 Jaar- en seizoenneerslagsom voor de Noordoostpolder met trendlijnen



Figuur 2.26 Voortschrijdend potentieel neerslagtekort in 2003 in ZO Flevoland (neerslag uit NHI)

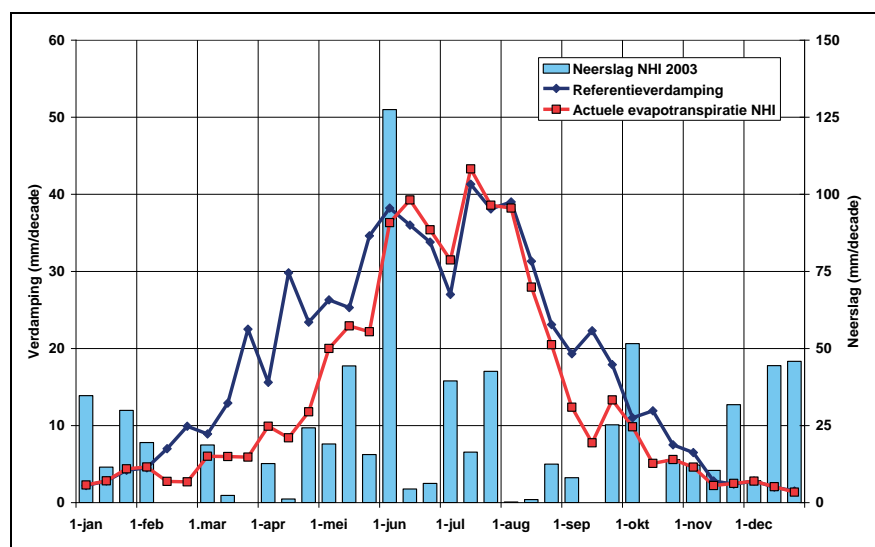


Figuur 2.27 Voortschrijdend potentieel neerslagtekort in 2006 in ZO Flevoland (neerslag uit NHI)

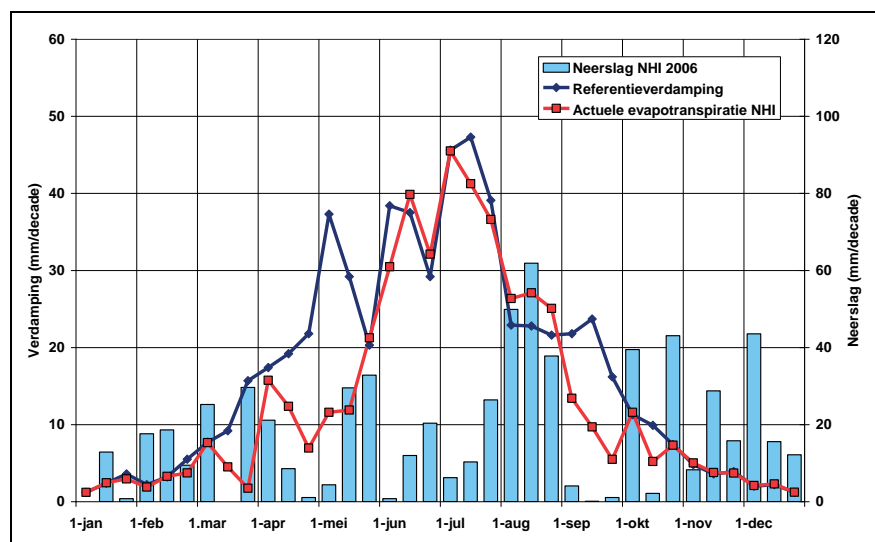
2.8 Actuele verdamping

De referentieverdamping en de berekende actuele verdamping (evapotranspiratie) voor Zuiderzeeland in 2003 zijn weergegeven in Tabel 2.6, Figuur 2.28 en Figuur 2.30. De tabel en figuren geven aan dat de berekende actuele evapotranspiratie in de Noordoostpolder en in ZO Flevoland respectievelijk 16 tot 20% lager zijn geweest dan de referentieverdamping. In 2006 zijn de verschillen in beide polders 19%, dus van dezelfde orde van grootte als in 2003. Merk op dat de verschillen tussen de referentieverdamping en de actuele evapotranspiratie het grootst zijn in de eerste maanden van het groeiseizoen en in september, typisch een gevolg van de gebezigde gewasfactoren in relatie met de stand van het gewas.

In Zuiderzeeland is in 2003 en 2006 volgens het overzicht van Alterra (2009) geen verdamping gemeten. Dit rapport geeft aan dat in 1996 in het Fleditebos, westelijk van Zeewolde, een jaar lang met de eddycorrelatiemethode actuele verdamping is gemeten in het populierenbos op kleigrond.



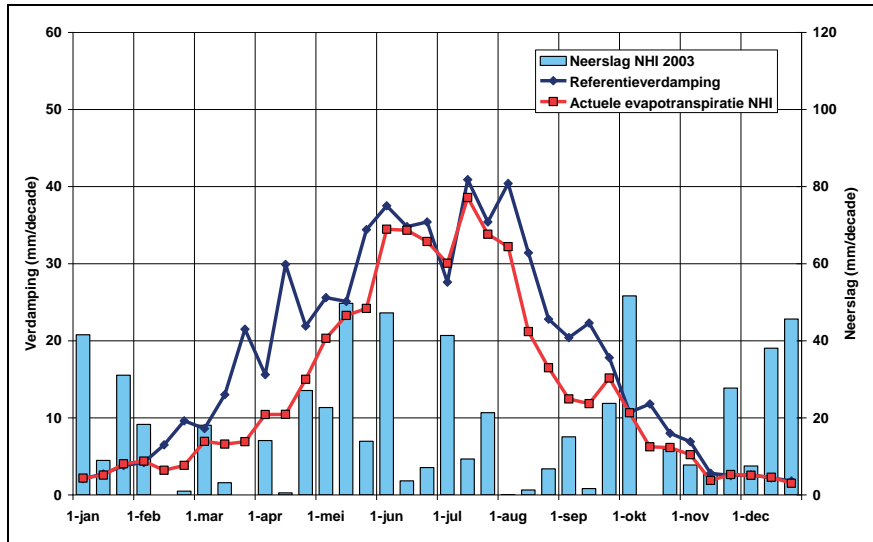
Figuur 2.28 Referentieverdamping Noordoostpolder en berekende actuele verdamping, 2003



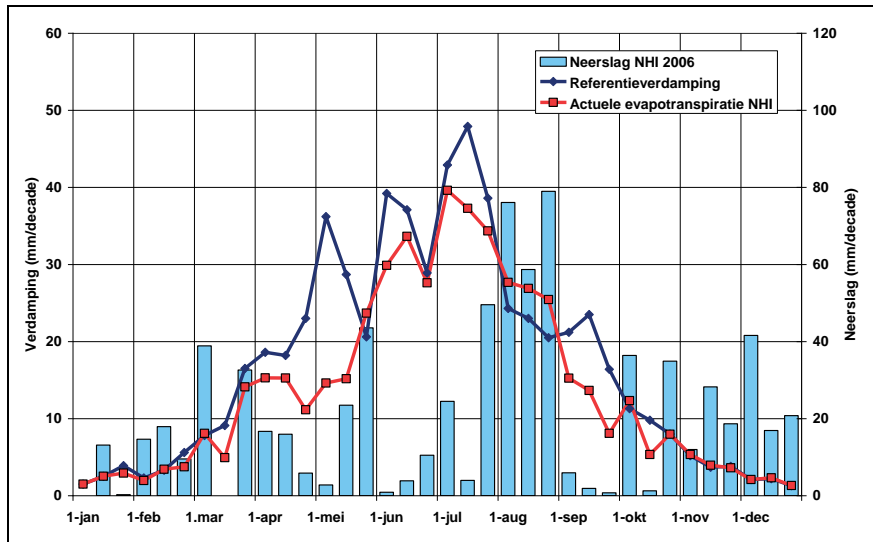
Figuur 2.29 Referentieverdamping Noordoostpolder en berekende actuele verdamping, 2006

Tabel 2.6 Referentieverdamping en berekende actuele evapotranspiratie voor de Noordoostpolder en ZO Flevoland

Eref en ETact	Noordoostpolder		ZO Flevoland	
	2003	2006	2003	2006
groeiseizoen Eref	522	511	519	509
groeiseizoen ETact	440	413	417	415
Eref - ETact	82 (16%)	98 (19%)	102 (20%)	94 (19%)



Figuur 2.30 Referentieverdamping ZO Flevoland en berekende actuele verdamping, 2003

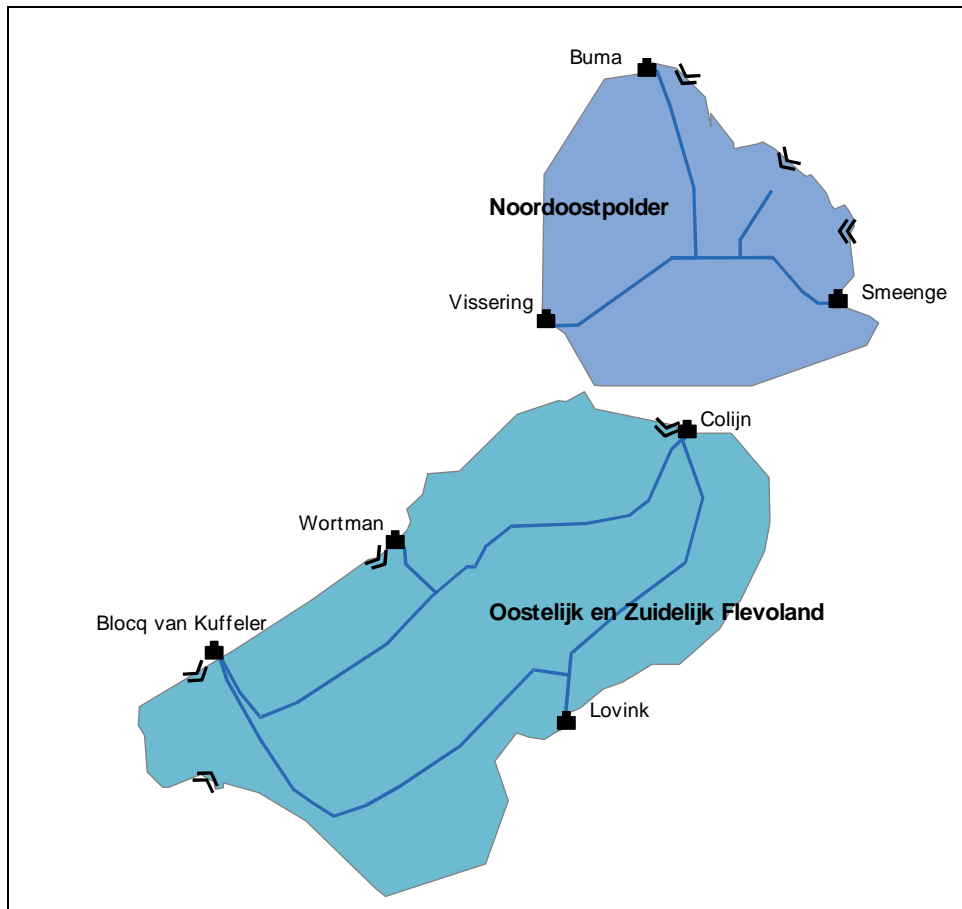


Figuur 2.31 Referentieverdamping ZO Flevoland en berekende actuele verdamping, 2006

3 Oppervlaktewater

3.1 Hydraulische infrastructuur

De hydraulische infrastructuur van de Noordoostpolder en ZO Flevoland is schematisch weergegeven in Figuur 3.1. Een uitgebreide beschrijving van de polders en hun modellering in het NHI is gegeven in HKV (2009). De hierin gerapporteerde capaciteiten van inlaten, hevels, scheepvaartsluizen en gemalen zijn gecorrigeerd door het waterschap. Hieronder volgt een samenvatting.



Figuur 3.1 Zuiderzeeland met hydraulische hoofdinfrastructuur en gemalen en inlaten

Noordoostpolder

De Noordoostpolder beslaat een oppervlak van circa 48.000 ha. Het gebied bestaat uit de Hoge, Tussen en Lage Afdeling en het onderbemalen gebied rond Tollebeek dat loost op de Lage Afdeling. De streefpeilen in de afdelingen bedragen respectievelijk -4,5 m, -5,0 m en -5,7 m, terwijl voor Tollebeek een gemiddeld streefpeil van -6,3 m geldt. De hydraulische hoofdinfrastructuur wordt gevormd door:

- de Lemstervaart van Emmeloord naar Lemmer, voor afvoer vanuit de Lage Afdeling naar het IJsselmeer via gemaal Buma
- de Urkervaart van Emmeloord naar Urk, voor afvoer vanuit de Lage Afdeling naar het IJsselmeer via gemaal Vissering, en
- de Zwolschevaart van Emmeloord naar Kraggenburg, voor afvoer vanuit de Hoge Afdeling naar het Kadoelermeer via gemaal Smeenge. Dit gemaal wordt alleen bij extreem waterbezwaar gebruikt om te voorkomen dat het zoutere polderwater het

zoete Kadoelermeer te zeer belast. Normaal voert de Hoge Afdeling via de lage Afdeling af op het IJsselmeer.

De totale afvoercapaciteit van de 3 gemalen bedraagt 88,7 m³/s, ofwel 16 mm/dag. Een overzicht van de capaciteiten is gegeven in Tabel 3.1. De kwel naar het gebied bedraagt 1 mm/dag.

Tabel 3.1 Overzicht van locatie en capaciteiten van de hoofdgemalen in de Noordoostpolder

Gemaal	Locatie	Afdeling	Capaciteit (m ³ /s)	Voert af naar
Vissering	Urk	Laag	38,7	IJsselmeer
Buma	Lemmer	Laag	30,0	IJsselmeer
Smeenge	Kraggenburg	Hoog	20,0	Kadoelermeer
Totaal (m³/s)			88.7	

Langs de noord-, oost- en zuidooststranden van de Noordoostpolder liggen zandige gronden die zonder gronden die zonder wateraanvoer een zeer geringe opbrengst hebben. Ten behoeve van de van de wateraanvoer voor berekening wordt op verschillende punten water ingelaten door door middel van hevels en inlaten. Een overzicht van inlaten en hevels en hun capaciteiten is gegeven in Tabel 3.2 en

Tabel 3.3. De gesommeerde maximale inlaatcapaciteit hiervan bedroeg in 2003 en 2006 12.78 m³/s. Voorts komt water binnen via een drietal scheepvaartsluizen, zie Tabel 3.4. De maximale capaciteit van deze sluizen wordt geschat op 6,0 m³/s

De Noordoostpolder wordt in het NHI weergegeven door district 14. District 14 loost op knoop 6057 (IJsselmeer en Randmeren Noord). Er wordt water ingelaten uit knoop 6057 en knoop 1125 (Friese Boezem). De verdeelsleutel die wordt gehanteerd voor de waterinlaat is dat van april tot en met oktober 83% van de inlaat wordt onttrokken aan knoop 6057 en in de rest van het jaar 76%. De rest, respectievelijk 17% en 24% wordt aangevoerd via Kuinre vanuit de Friese Boezem.

Tabel 3.2 Overzicht van waterinlaatwerken met capaciteiten naar de Noordoostpolder

Inlaten	Max. capaciteit (m ³ /s)	Naar Afdeling	Onttrekking uit:
Lemmer/Rutten	3,0	Lage	IJsselmeer
Lemsterhop	1,0	Lage	IJsselmeer
Blokszijl	1,5	Lage	Vollenhovermeer
Kanaalweg	3,4	Tussen/Lage	Vollenhovermeer
Repelweg	0,32	Hoge	Kadoelermeer
Waterloopbos ¹⁾	3,0	Hoge	Kadoelermeer
Ramspol	1,2	Hoge	Zwarte Meer
Totaal 2003/2006	10,42		

¹⁾ nog niet beschikbaar in 2003/2006

Tabel 3.3 Overzicht van hevelleidingen met capaciteiten Noordoostpolder

Hevelleidingen	Max. capaciteit (m ³ /s)	Naar Afdeling	Onttrekking uit:
Ettenlandse weg	0,125	Hoge	Vollenhovermeer
Kadoelen	0,05	Hoge	Kadoelermeer
Schelpenpad	0,40	Hoge	Zwarte Meer
Neushoornweg	0,60	Hoge	Zwarte Meer
Zwarte Meerdijk	0,05	Lage	Zwarte Meer
Zuidermeerdijk (tdl)	0,33	Lage	IJsselmeer
Paardensingel	0,08	Lage	IJsselmeer
Grote Singel	0,21	Lage	IJsselmeer
Urk	0,25	Lage	IJsselmeer
Westerveerdijk (tdl)	0,26	Lage	IJsselmeer
Totaal	2,36		

Tabel 3.4 Scheepvaartsluizen gebruikt voor waterinlaat naar de Noordoostpolder

Scheepvaartsluis	Max. capaciteit (m ³ /s)	Naar Afdeling	Onttrekking uit:
Voorstersluis bij de Voorst	2,0	Hoge	Kadoelermeer
Urkersluis	2,0	Lage	IJsselmeer
Friesesluis bij Lemmer	2,0	Lage	IJsselmeer
Totaal	6,0		

Zuidelijk en Oostelijk Flevoland

ZO Flevoland beslaat een oppervlak van circa 98.000 ha. Het gebied bestaat uit twee afdelingen, de Hoge Afdeling en de Lage Afdeling. Het streefpeil in de Hoge Afdeling is -5.20 m en in de Lage Afdeling -6.20 m. De waterstand in ZO Flevoland wordt gehandhaafd door inzet van de vier poldergemalen genoemd in Tabel 3.5. De gemalen worden aangestuurd met behulp van een geautomatiseerd peilbeheerssysteem. Er wordt gestuurd op een gewogen peil van de hoofdvaarten in de afdelingen, de Hoge vaart en de Lage vaart. De totale capaciteit van de hoofdgemalen is 135,8 m³/s ofwel 12 mm/dag. De kwel naar het gebied bedraagt gemiddeld 1.1 mm/dag.

Op zeer beperkte schaal wordt water ingelaten naar ZO Flevoland vanuit het Ketelmeer naar de Hoge Afdeling via een inlaatduiker bij gemaal Colijn. De inlaatduiker heeft een capaciteit van 21,5 m³/s.

ZO Flevoland wordt in het NHI weergegeven door district 30. Dit district loost op de knopen 6058 (Markermeer), knoop 6059 (Veluwemeer) en knoop 5057 (Ketelmeer) volgens de verdeelsleutel als aangegeven in Tabel 3.6.

Voor de aanvoer naar ZO Flevoland zijn geen verdeelsleutels vastgesteld. In het NHI wordt water aangevoerd vanuit knoop 6057 en 6058. In de praktijk wordt gewoonlijk geen water aangevoerd naar het gebied omdat de kwel voldoende is voor het peilbeheer en geen extra doorspoeling nodig is voor de waterkwaliteit (HKV, 2009).

Tabel 3.5 Overzicht van locatie en capaciteit van de hoofdgemalen in ZO Flevoland

Gemaal	Locatie	Capaciteit (m ³ /s)	Afdeling	Voert af naar
De Blocq van Kuffeler	Almere	31,2	Hoge	Markermeer
De Blocq van Kuffeler	"	25,7	Lage	Markermeer
Colijn	Ketelhaven	9,7	Hoge	Ketelmeer
Colijn	"	16,7	Lage	Ketelmeer
Lovink	Harderwijk	19,3	Hoge	Veluwemeer
Wortman	Lelystad	33,3	Lage	Markermeer
Totaal in (m³/s)		135,8		

Tabel 3.6 Verdeelsleutels voor afvoer vanuit district 30 naar omliggende meren

$Q_{tot} = \text{Totale afvoer (m}^3/\text{s)}$	Knoop 6058 Markermeer	Knoop 6059 Veluwemeer	Knoop 5057 Ketelmeer
$Q_{tot} \leq 6$	0	Q_{tot}	0
$6 < Q_{tot} \leq 20$	0	6	$Q_{tot} - 6$
$20 < Q_{tot} \leq 70$	$Q_{tot} - 20$	6	14
$Q_{tot} \geq 70$	max 84,2	+	+

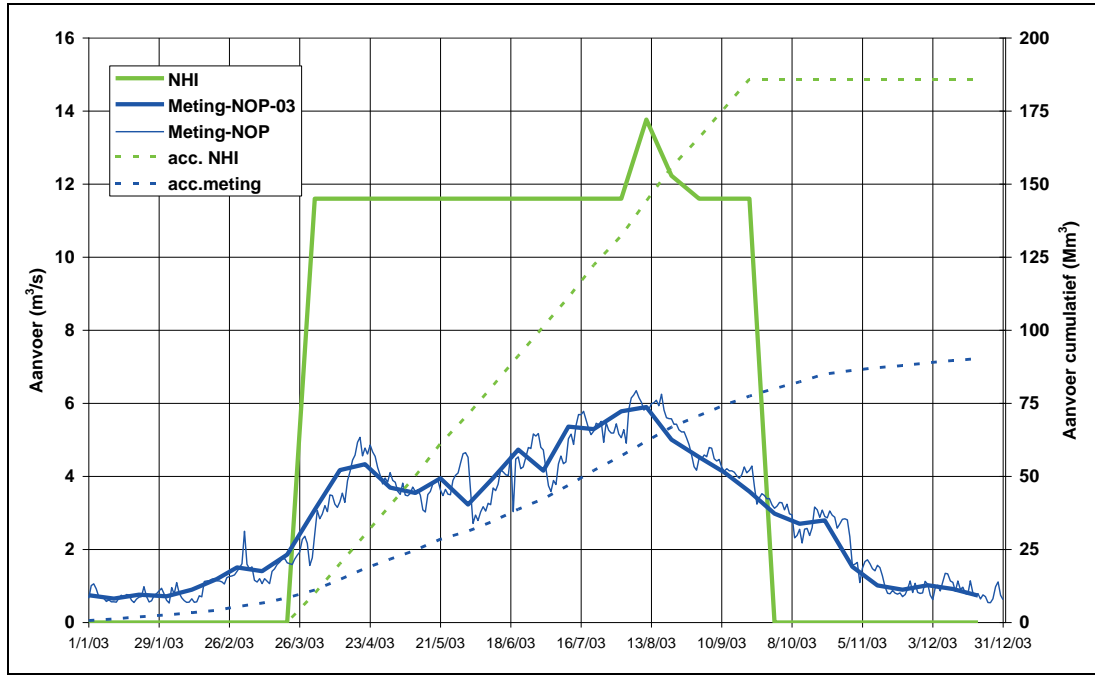
3.2 Aanvoer en afvoer van en naar de Noordoostpolder

Aanvoer

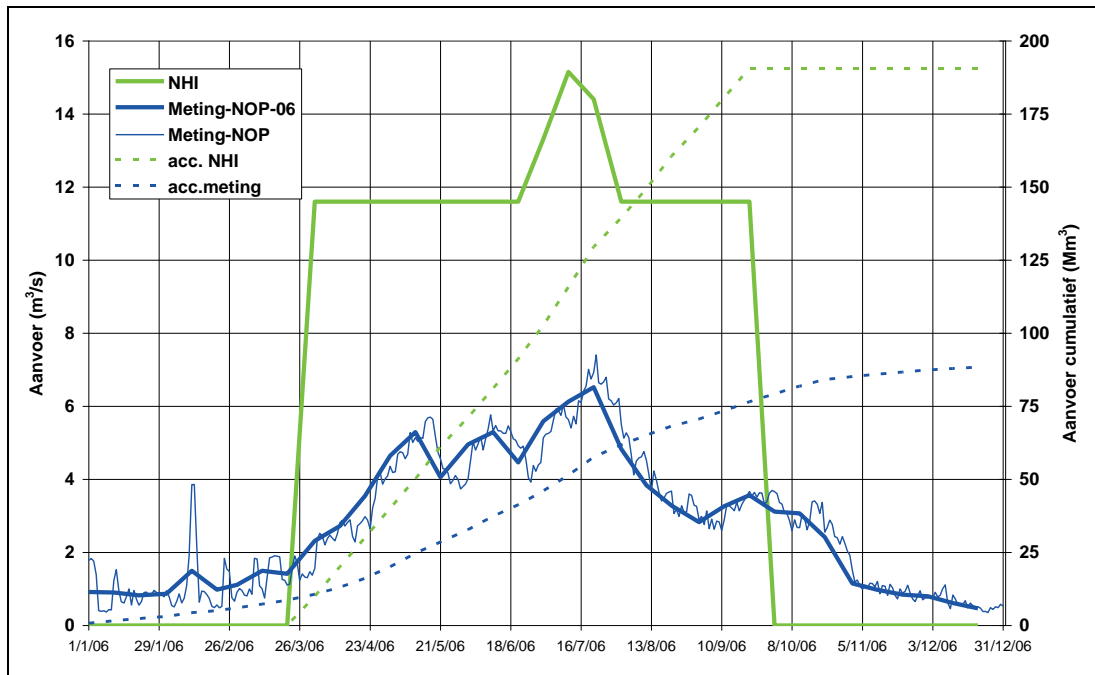
De aanvoer naar de Noordoostpolder in 2003 en 2006 gemeten en berekend is weergegeven in Figuur 3.2 en Figuur 3.3. De figuren laten voor beide jaren eenzelfde beeld zien. Het model simuleert een aanvoer die ruim 2 x de geregistreerde inlaat is. Merk op dat van enkele hevels geen gegevens beschikbaar zijn (hevels Westermeerdijk, Zuidermeerdijk, Paardensingel en Grote Singel). Deze hebben echter een verwaarloosbare invloed op de waterbalans. Opvallend is dat de gesimuleerde aanvoer in een vast frame zit van de laatste decade van maart tot en met eind september en dan met inzet van de volledige capaciteit en gedurende korte tijd zelfs daarboven. De aanvoer in het model is niet vraag gestuurd is maar is voorgeprogrammeerd (referentie rapport RWS/Haskoning: "Waterbehoefte IJsselmeergebied" van december 2007) met uitzondering van de extra inlaat boven de capaciteitsgrens van de inlaatmiddelen gedurende korte tijd. Een vraag gestuurde inlaat is nodig om de reproductie van de inlaat te verbeteren. De resultaten zijn samengevat in Tabel 3.7 en Tabel 3.8.

Afvoer

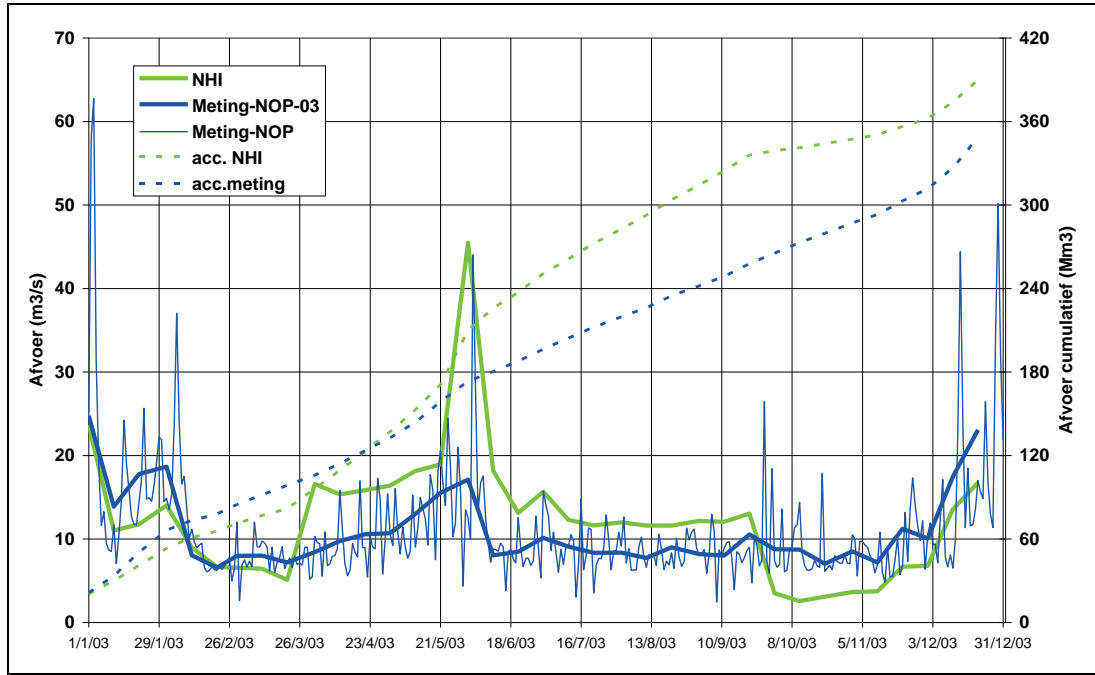
De gemeten en berekende afvoer uit de Noordoostpolder voor 2003 en 2006 zijn weergegeven in Figuur 3.4 en Figuur 3.5. De dynamiek van de gemeten afvoer wordt goed gereproduceerd. Opvallend is dat in het groeiseizoen het model meer afvoert dan is gemeten, terwijl in het najaar en de winter (m.u.v. eind 2006) het omgekeerde optreedt. Dit is voor een groot deel toe te schrijven aan de overschatting van de aanvoer in het groeiseizoen. Enkele opvallende afwijkingen tussen model en meting zijn de piek in de eerste decade van juni 2003 t.g.v. een overschatting van de neerslag in het model (zie Figuur 2.11). Voor augustus 2006 geldt het omgekeerde (zie Figuur 2.15). Met verbeteringen in de neerslag en in de aanvoer kan het model resultaat aanzienlijk worden verbeterd. Het numerieke resultaat van de vergelijking is gepresenteerd in Tabel 3.7 en Tabel 3.8.



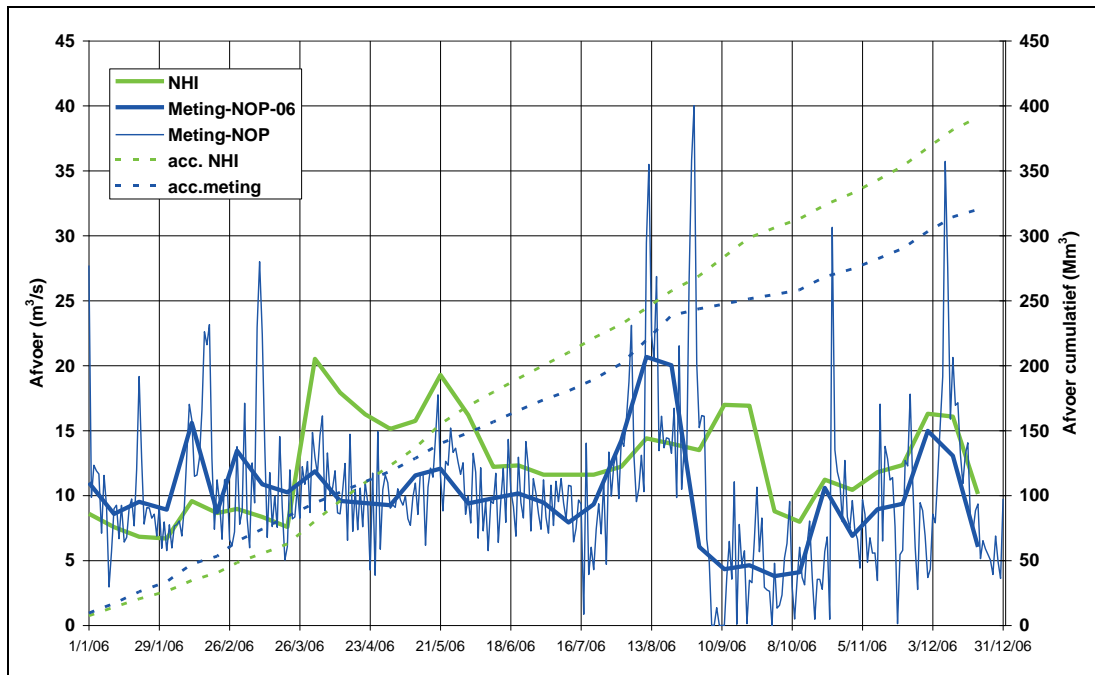
Figuur 3.2 Gemeten en berekende aanvoer naar de Noordoostpolder 2003



Figuur 3.3 Gemeten en berekende aanvoer naar de Noordoostpolder 2006



Figuur 3.4 Gemeten en berekende afvoer van de Noordoostpolder 2003



Figuur 3.5 Gemeten en berekende afvoer van de Noordoostpolder 2006

In de tabellen is een berekening van de kwel opgenomen, waarbij ervan is uitgegaan dat de berging in de bodem aan het begin en aan het eind van het kalenderjaar ongeveer gelijk is. Voor de “gemeten” kwel is voorts aangenomen dat de verdamping zoals berekend in het model een zuivere schatting is. Het model berekent een kwel van gemiddeld 0,6 mm/dag terwijl op grond van de “metingen” in 2003 een kwel van 0,9 mm/dag wordt gevonden vrijwel conform de informatie van het waterschap zoals aangegeven in HKV (2009). Voor 2006 wijkt de “gemeten” kwel echter sterk af van die waarde: 0,5 mm/dag, iets lager dan op basis van de modelresultaten wordt geschat.

Tabel 3.7 Overzicht van gemeten en berekende afvoer en inlaatvolumina Noordoostpolder 2003

Locatie	meting		model		meting-model		meting-model	
	groei	jaar	groei	jaar	groei	jaar	groei	jaar
	Mm ³	Mm ³	Mm ³	Mm ³	Mm ³	Mm ³	%	%
Totaal aanvoer	69.0	90.3	185.9	185.9	-116.9	-95.5	-169	-106
Totaal afvoer	159.2	348.5	254.2	389.8	-95.0	-41.2	-60	-12
Netto afvoer	90.3	258.2	68.4	203.9	21.9	54.3	24	21
	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
Totaal aanvoer	143.7	188.2	387.2	387.2	-243.5	-199.1		
Totaal afvoer	331.7	726.1	529.7	812.0	-197.9	-85.9		
Totaal netto afvoer	188.0	537.9	142.4	424.7	45.6	113.2		
Neerslag	372.1	725.0	400.5	734.3	-28.4	-9.3		
Verdamping - kwel		187.1		309.6		-122.5		
Eact berekend		513.0		513.0				
Kwel		325.9		203.4				

Tabel 3.8 Overzicht van gemeten en berekende afvoer en inlaatvolumina Noordoostpolder 2006

Locatie	meting		model		meting-model		meting-model	
	groei	jaar	groei	jaar	groei	jaar	groei	jaar
	Mm ³	Mm ³	Mm ³	Mm ³	Mm ³	Mm ³	%	%
Totaal aanvoer	67.8	88.4	190.6	190.6	-122.8	-102.2	-181	-116
Totaal afvoer	167.6	320.2	235.8	391.2	-68.2	-71.0	-41	-22
Netto afvoer	99.7	231.8	45.2	200.5	54.5	31.2	55	13
	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
Totaal aanvoer	141.4	184.2	397.1	397.1	-255.8	-213.0		
Totaal afvoer	349.1	667.0	491.3	814.9	-142.2	-147.9		
Totaal netto afvoer	207.7	482.9	94.2	417.8	113.6	65.1		
Neerslag	413.6	767.8	328.5	651.5	85.1	116.3		
Verdamping - kwel		284.9		233.7		51.2		
Eact berekend		484.4		484.4				
Kwel		199.5		250.7				

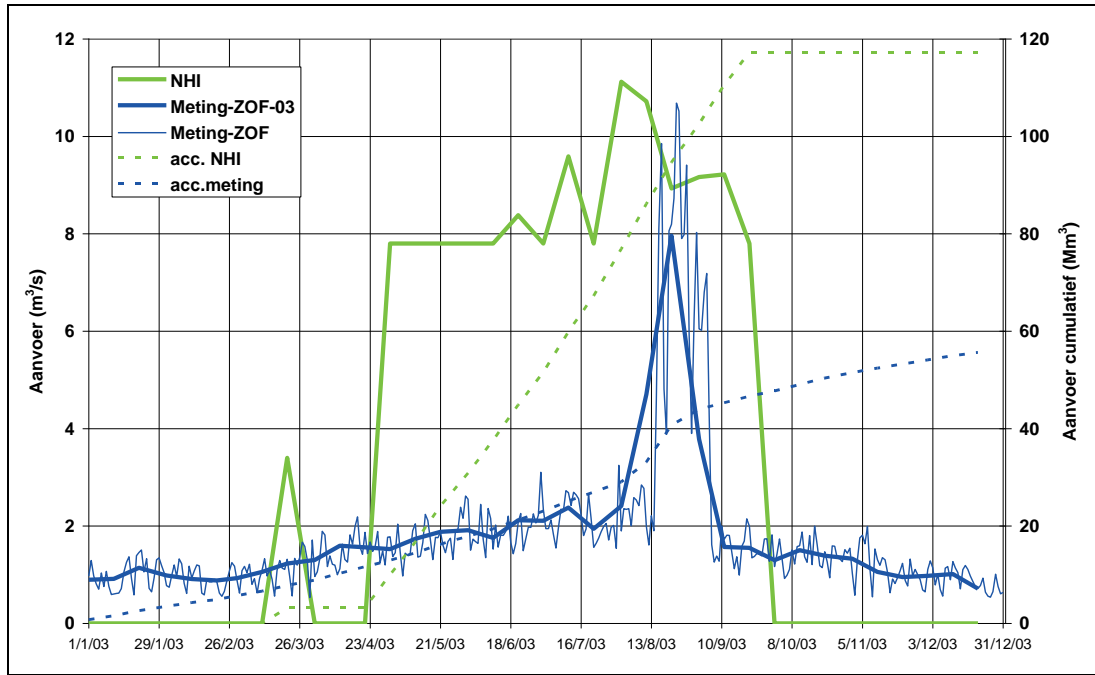
3.3 Aanvoer en afvoer van en naar ZO Flevoland

Aanvoer

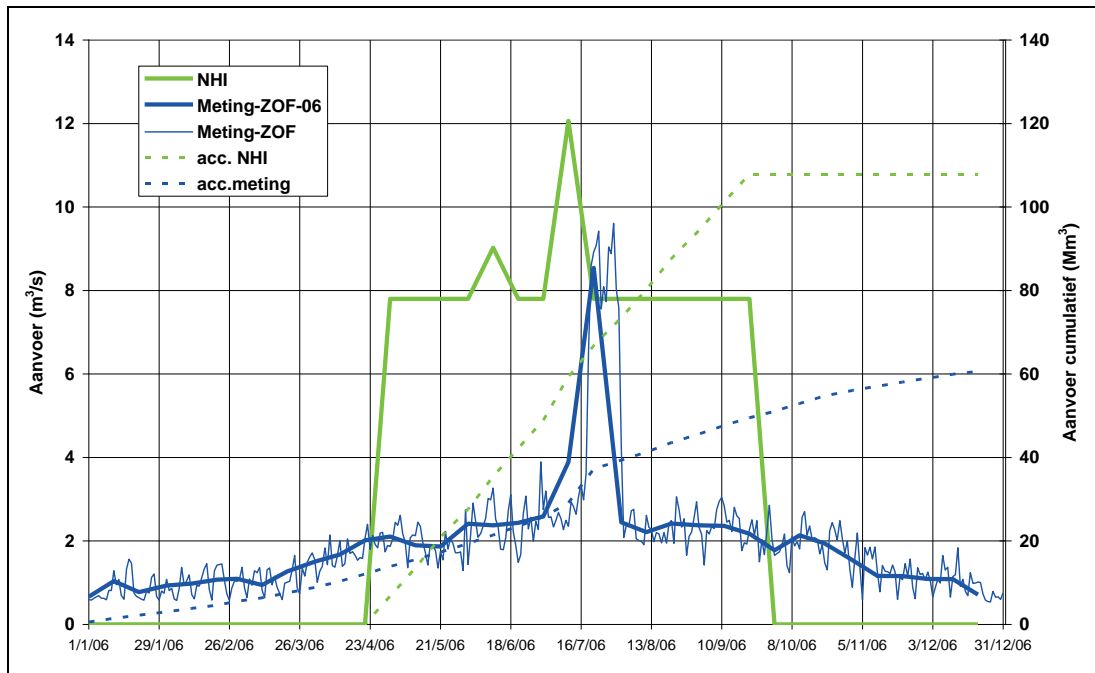
De gemeten en berekende inlaat naar ZO Flevoland in 2003 en 2006 is weergegeven in Figuur 3.6 en Figuur 3.7. De figuren geven aan dat het model in het groeiseizoen de inlaat aanzienlijk overschat. Het model simuleert via tak 6063 de doorspoeling van de Randmeren die verloopt via Zuidersluis (Markermeer) naar gemaal Lovink (Randmeren) en heeft als opgedrukt debiet 7,8 m³/s gedurende het groeiseizoen. De hiervoor benodigde hoeveelheid wordt bepaald door Rijkswaterstaat. In de besproken jaren is via de Zuidersluis water ingelaten in de perioden 18/8-5/9/2003 en 18/7-1/8/2006, d.w.z. gedurende een veel kortere periode dan in het model is geïmplementeerd. Daarnaast vindt in de praktijk inlaat van water plaats bij de schutsluizen en via awzi's, die niet in het model zijn opgenomen. Voorts is zowel in 2003 als 2006 sprake geweest van aanvoeren waarvoor geen reeksen beschikbaar waren (hevels Lelystad en aanvoer van water voor ontwikkeling van stedelijk gebied: schatting voor 2003 is 5,8 Mm³ en voor 2006 onbekend). Zoals in Tabel 3.9 en Tabel 3.10 overtreft de gesimuleerde aanvoer de gemeten aanvoer op jaarbasis met een factor 2. De hiervoor genoemde ontbrekende waarden verminderen de onbalans slechts in geringe mate.

Afvoer

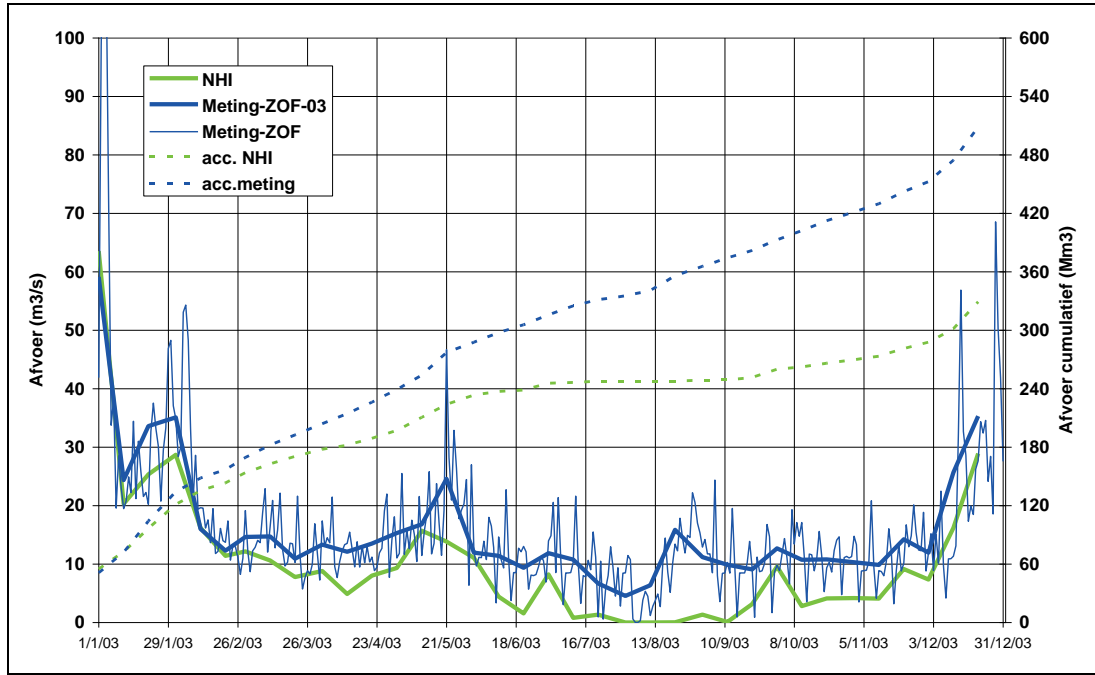
De afvoer van ZO Flevoland voor 2003 en 2006 zoals is gemeten en door het NHI is berekend is gepresenteerd in Figuur 3.8 en Figuur 3.9. De resultaten zijn samengevat in Tabel 3.9 en Tabel 3.10. De figuren geven aan dat het model de dynamiek van het afvoerverloop goed weergeeft, echter steeds op een te laag niveau. Op jaarbasis wordt de afvoer steeds met orde 30% onderschat. Voor een deel is dit een gevolg van een onderschatting in het model van de neerslag (4% in 2003 en 11% in 2006). Omdat hiermee de onderschatting van de afvoer slechts ten dele wordt verklaard zijn een onderschatting van de kwel in het model en/of een overschatting van de verdamping andere mogelijke oorzaken.



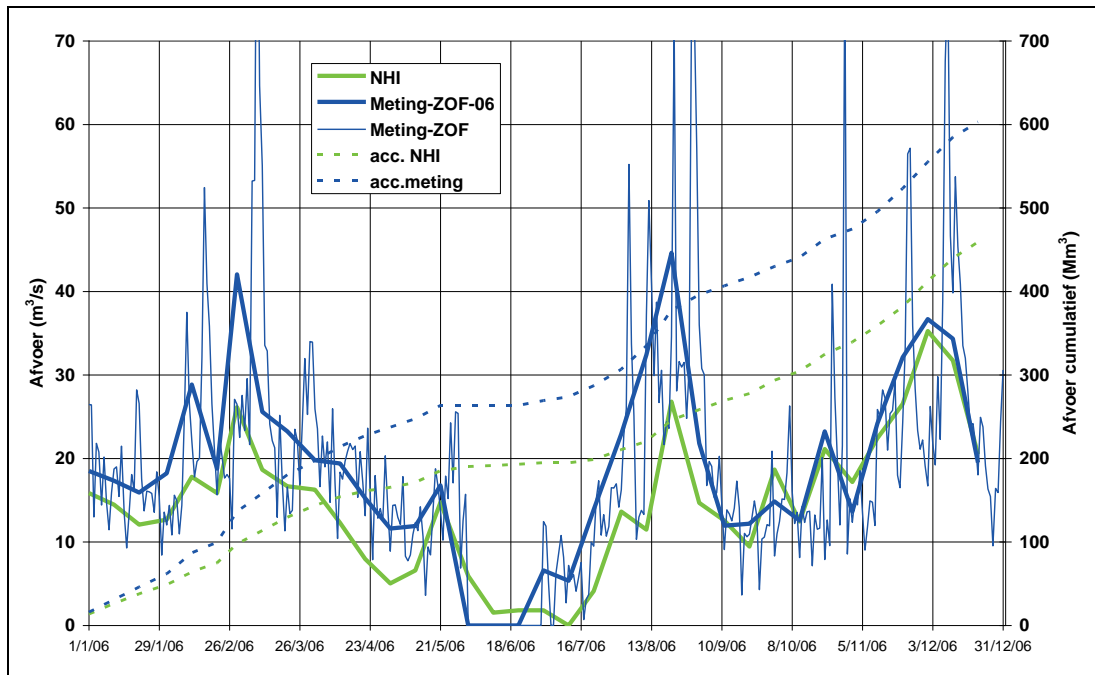
Figuur 3.6 Gemeten en berekende aanvoer naar ZO Flevoland 2003



Figuur 3.7 Gemeten en berekende aanvoer naar ZO Flevoland 2006



Figuur 3.8 Gemeten en berekende afvoer van ZO Flevoland 2003



Figuur 3.9 Gemeten en berekende afvoer van ZO Flevoland 2006

De kwel die het model berekent bedraagt nog geen 0,3 mm/dag, aanzienlijk lager dan de 1,1 mm/dag die het waterschap aangeeft (HKV,2009). Op basis van gelijke berging in de bodem aan het begin en het einde van het kalenderjaar wordt met de berekende NHI verdamping op basis van de metingen een kwel berekend van 0,8 mm/dag voor 2003, redelijk dicht bij de gemiddelde waarde. Echter, evenals voor de Noordoostpolder ook het geval was, bedraagt de “gemeten” kwel voor 2006 slechts 0,5 mm/dag.

Tabel 3.9 Overzicht van gemeten en berekende afvoer en inlaatvolumina ZO Flevoland 2003

Locatie	meting		model		meting-model		meting-model	
	groei	jaar	groei	jaar	groei	jaar	groei	jaar
	Mm ³	Mm ³	Mm ³	Mm ³	Mm ³	Mm ³	%	%
Totaal aanvoer	38.9	55.7	114.0	117.3	-75.2	-61.6	-193	-111
Totaal afvoer	189.4	508.1	81.4	329.0	108.0	179.1	57	35
Netto afvoer	150.5	452.5	-32.7	211.7	183.2	240.7	122	53
	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
Totaal aanvoer	39.7	56.8	116.4	119.7	-76.7	-62.9		
Totaal afvoer	193.3	518.5	83.0	335.7	110.3	182.8		
Totaal netto afvoer	153.6	461.7	-33.3	216.1	187.0	245.6		
Neerslag	303.3	648.5	306.4	623.8	-3.1	24.7		
Verdamping - kwel		186.8		407.7		-220.9		
Eact berekend		496.6		496.6				
Kwel		309.8		88.9				

Tabel 3.10 Overzicht van gemeten en berekende afvoer en inlaatvolumina ZO Flevoland 2006

Locatie	meting		model		meting-model		meting-model	
	groei	jaar	groei	jaar	groei	jaar	groei	jaar
	Mm ³	Mm ³	Mm ³	Mm ³	Mm ³	Mm ³	%	%
Totaal aanvoer	41.9	60.6	107.8	107.8	-65.9	-47.2	-157	-78
Totaal afvoer	236.7	603.1	148.0	459.0	88.7	144.1	37	24
Netto afvoer	194.8	542.5	40.2	351.2	154.6	191.3	79	35
	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
Totaal aanvoer	42.8	61.8	110.0	110.0	-67.2	-48.2		
Totaal afvoer	241.6	615.4	151.1	468.4	90.5	147.0		
Totaal netto afvoer	198.8	553.6	41.0	358.3	157.8	195.2		
Neerslag	455.3	860.1	423.8	761.5	31.5	98.6		
Verdamping - kwel		306.5		403.2		-96.6		
Eact berekend		502.1		502.1				
Kwel		195.6		98.9				

4 Grondwaterstanden

4.1 Inleiding

Van 14 peilbuizen uit de Noordoostpolder en van 22 peilbuizen uit ZO Flevoland zijn grondwaterstandgegevens ontvangen. Het grootste deel van de peilbuizen is na 2003 geïnstalleerd, zodat voornamelijk het jaar 2006 aan bod komt. Het jaar 2006 is interessant omdat er in dat jaar een grote afwisseling is geweest tussen zeer droge en zeer natte perioden. De locaties van de peilbuizen zijn geclusterd, 4 clusters voor de Noordoostpolder en 5 clusters voor ZO Flevoland. Selecties per cluster zijn gemaakt voor een vergelijking met de berekende grondwaterstanden in het NHI, waarbij ook de locatie van een peilbuis t.o.v. sloten/vaarten in beschouwing is genomen. Bij een aantal peilbuizen was de diepte van het filter onvoldoende om het volledige bereik van het verloop van het freatisch grondwater te monitoren. Dit is eenvoudig herkenbaar aan horizontale lijnen in de figuren. Naast onderlinge vergelijking van grondwaterstanden binnen een cluster is voor validatie van de waarnemingen ook een vergelijking gemaakt met de neerslag.

Bij de vergelijking van de berekende grondwaterstanden zijn de dynamiek, het uitputtingsverloop en het bereik (verschil tussen de maximale en de minimale waarden) in beschouwing genomen. Voorts is gekeken in hoeverre het model in staat is geweest om herstel van de grondwaterstand na een zeer droge periode correct te simuleren. Merk op dat van 10 op 11 september 2006 de berekende grondwaterstand voor een aantal locaties een scherpe sprong laat zien t.g.v. een onjuiste modelinvoer, de 9/11 hik.

4.2 Noordoostpolder

Een overzicht van de peilbuizen in de Noordoostpolder waarvoor grondwaterstanden zijn ontvangen is gegeven in Tabel 4.1. De geselecteerde peilbuizen zijn gemerkt.

Tabel 4.1 Overzicht van peilbuizen en hun locatie in de Noordoostpolder

Putcode	TNO_code	Xcoor	Ycoor	Maaiveld (m+NAP)	Locatie	Plaatsing
PB001	B21A0138	181794	518024	-3.06	Schokland	
PB004	B21A0141	181719	517151	-2.93	Schokland	
PB006	B21A0143	181709	516270	-2.57	Schokland	
PB008	B21A0145	181930	515660	-2.41	Schokland	
PB009	B21A0146	181723	515063	-3.07	Schokland	01/12/2000
PB145	B21B0486	194629	518607	-1.32	Kadoelersluis	25/03/2004
PB146	B21B0487	194590	518242	-2.00	Kadoelersluis	25/03/2004
PB170	B21A0167	189153	522858	-2.98	Voorsterbos	27/04/2005
PB171	B21A0168	189103	522936	-2.86	Voorsterbos	27/04/2005
PB172	B21A0169	189063	522999	-2.78	Voorsterbos	27/04/2005
PB190	B21A0170	183856	523708	-3.94	Emmeloord	02/11/2005
PB191	B21A0171	182183	523626	-3.80	Emmeloord	02/11/2005
PB192	B21A0172	181741	523523	-3.91	Emmeloord	02/11/2005
PB193	B21A0173	181654	523527	-3.80	Emmeloord	02/11/2005

PB006

Peilbuis PB006 bevindt zich direct oostelijk van Museum Schokland. De gemeten grondwaterstand met de neerslag in de Noordoostpolder is weergegeven in Figuur 4.1 en Figuur 4.3. De figuren tonen aan dat met name in 2003 de grondwaterstand gedurende lange tijd lager is geweest dan de onderkant van het filter. De respons op de neerslag is vaak vrij direct. Het uitputtingsverloop heeft een gecompliceerde vorm die duiden op een zeer gelaagde bodemopbouw.

Het model is niet in staat de dynamiek van de grondwaterstandvariaties goed te reproduceren. Ook het complexe uitputtingsverloop wordt niet juist gesimuleerd, evenals de timing van het herstel van de grondwaterstand in augustus 2006. Met betrekking tot dat laatste speelt mogelijk de onderschatting van de neerslag in het NHI voor augustus een rol. Het bereik van variaties wordt redelijk gereproduceerd.

PB145

Peilbuis PB145 bevindt zich nabij de Kadoelersluis aan de zuidostrand van de polder en het Voorsterbos. Gegevens zijn beschikbaar voor 2006. De gemeten grondwaterstand en de neerslag zijn weergegeven in Figuur 4.5. De figuur laat zien dat de grondwaterstand zeer direct reageert op de neerslag. Voorts valt op dat in afwijking van vrijwel alle andere peilbuizen de grondwaterstand in juni - juli 2006 in het geheel niet wegzakt, sterker nog juist stijgt, en midden augustus daalt waar de rest weer stijgt. Het waterschap geeft aan dat de peilbuis is geplaatst i.v.m. de vernatting van de Zwarte Hoek. De peilbuis staat in een apart peilvak met een afwijkend peilbeheer ten opzichte van de Hoge Afdeling. Genoemde vernatting is naar verwachting de oorzaak van het afwijkende verloop van de grondwaterstand.

De gemeten en berekende grondwaterstanden voor peilbuis PB145 zijn weergegeven in Figuur 4.6. Het model volgt de variaties onvoldoende en te traag en is ook niet in staat de onverwachte stijging in juni - juli weer te geven. De berekende range is te klein.

PB172

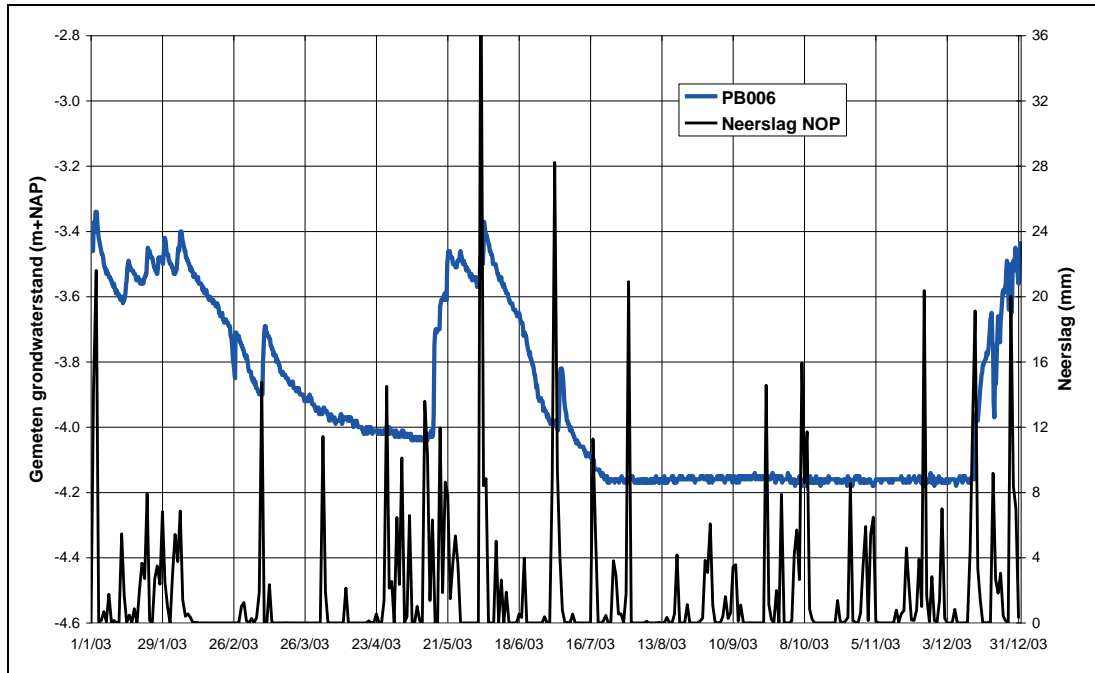
Peilbuis PB172 bevindt zich naast de Voorsterweg buiten Marknesse nabij het Voorsterbos. Het grondwaterstandverloop en de neerslag zijn weergegeven in Figuur 4.7. Opvallend is de dagelijkse variatie in de grondwaterstand. De respons op de neerslag is vrij direct maar zeer beperkt in cm's. Merk op dat deze peilbuis die aan de westkant van het Voorsterbos staat een geheel ander verloop laat zien dan de vorige peilbuis aan de oostkant van hetzelfde bos.

Het gemeten en berekende grondwaterstandverloop in peilbuis PB172 is getoond in Figuur 4.8. Afgezien van de 9/11 hik lijkt het model het verloop redelijk te simuleren. De dynamiek in de wintermaanden wordt iets onderschat en het herstel in augustus komt te laat, mogelijk door de onderschatting van de neerslag in het NHI met name voor augustus. De range wordt goed gereproduceerd.

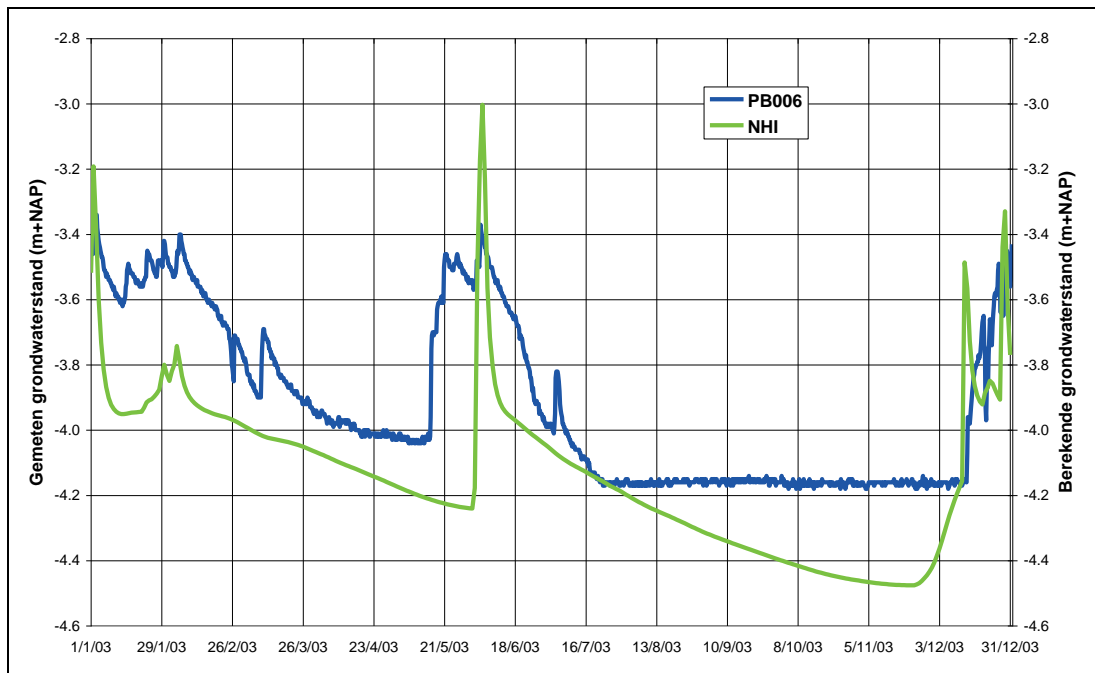
PB191

De locatie van peilbuis PB191 is bij knooppunt Emmeloord in de A6 bij de aansluiting met de N50, aan de zuidoostkant van Emmeloord. Het grondwaterstandverloop in 2006 en de neerslag zijn weergegeven in Figuur 4.9. De reactie van het grondwater op de neerslag is vrij direct. Het verloop vertoont overeenkomst met die van peilbuis PB172, die hiervoor is besproken.

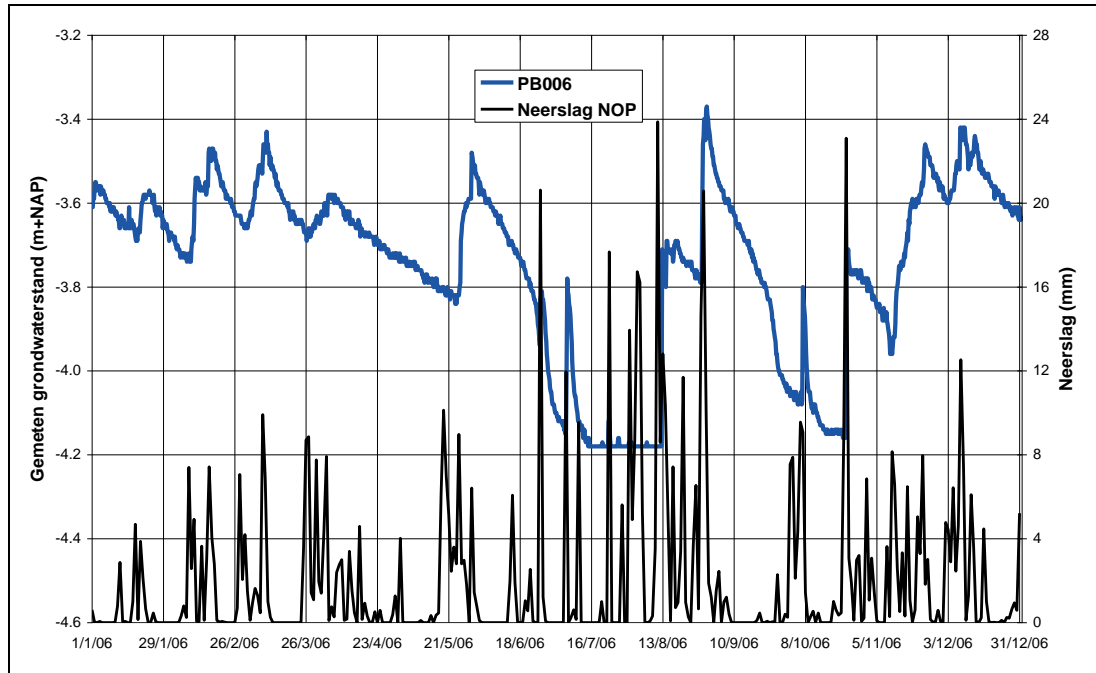
Het berekende grondwaterstandverloop is in Figuur 4.10 vergeleken met de meting. De 9/11hik verstoort een goede vergelijking. De figuur geeft aan dat de dynamiek en het uitputtingverloop niet goed worden gereproduceerd. Ook het herstel in augustus komt te laat. De range van het verloop wordt acceptabel weergegeven, dankzij de 9/11hik?.



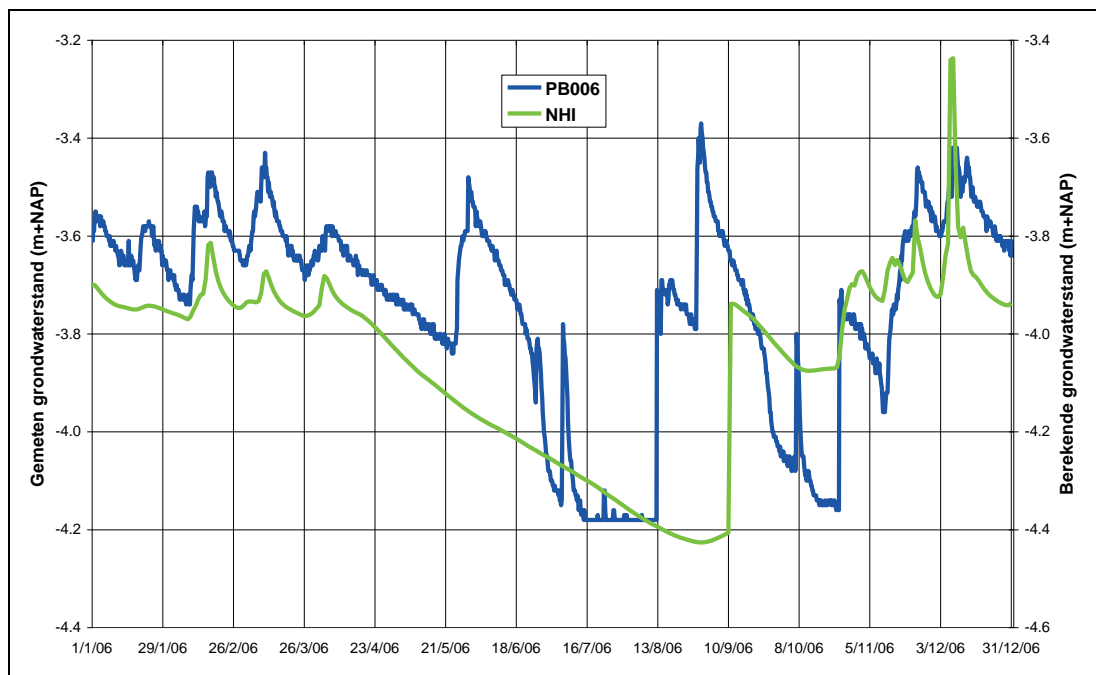
Figuur 4.1 Grondwaterstand in peilbuis PB006 met neerslag in de Noordoostpolder, jaar 2003



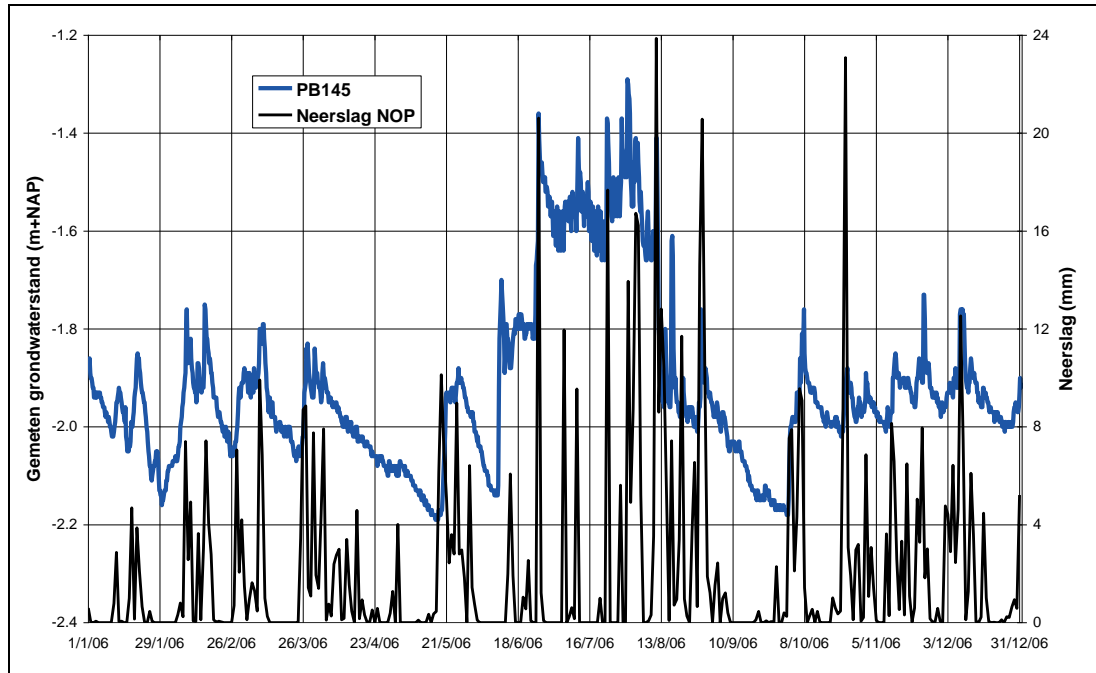
Figuur 4.2 Gemeten en berekende grondwaterstand in peilbuis PB006, jaar 2003



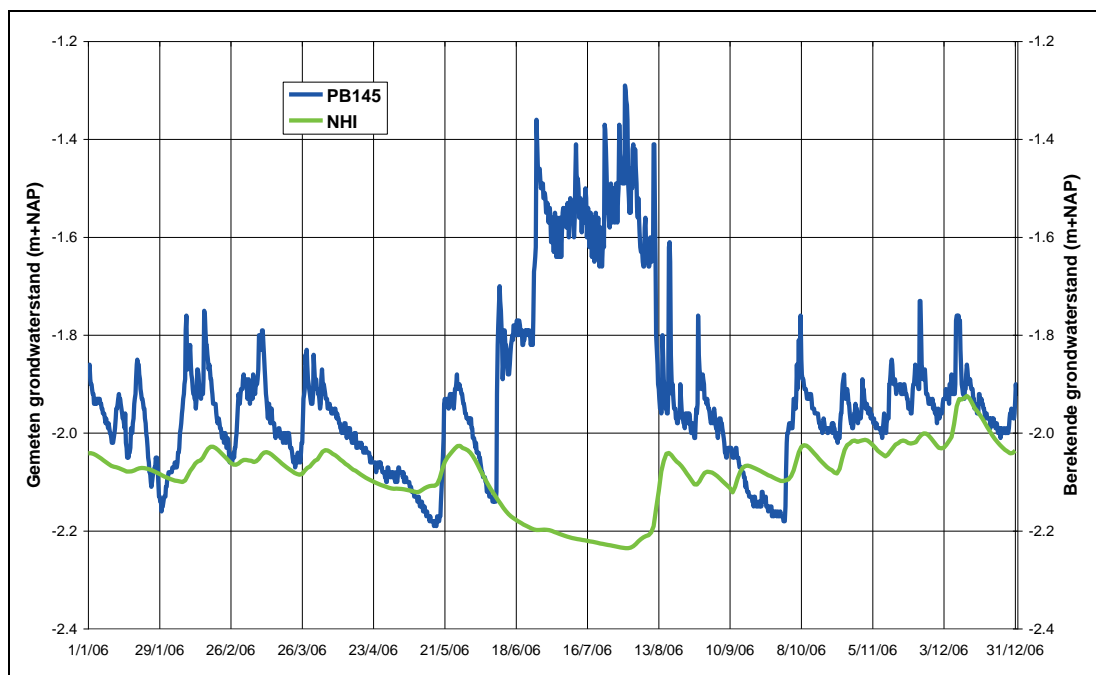
Figuur 4.3 Grondwaterstand in peilbuis PB006 met neerslag in de Noordoostpolder, jaar 2006



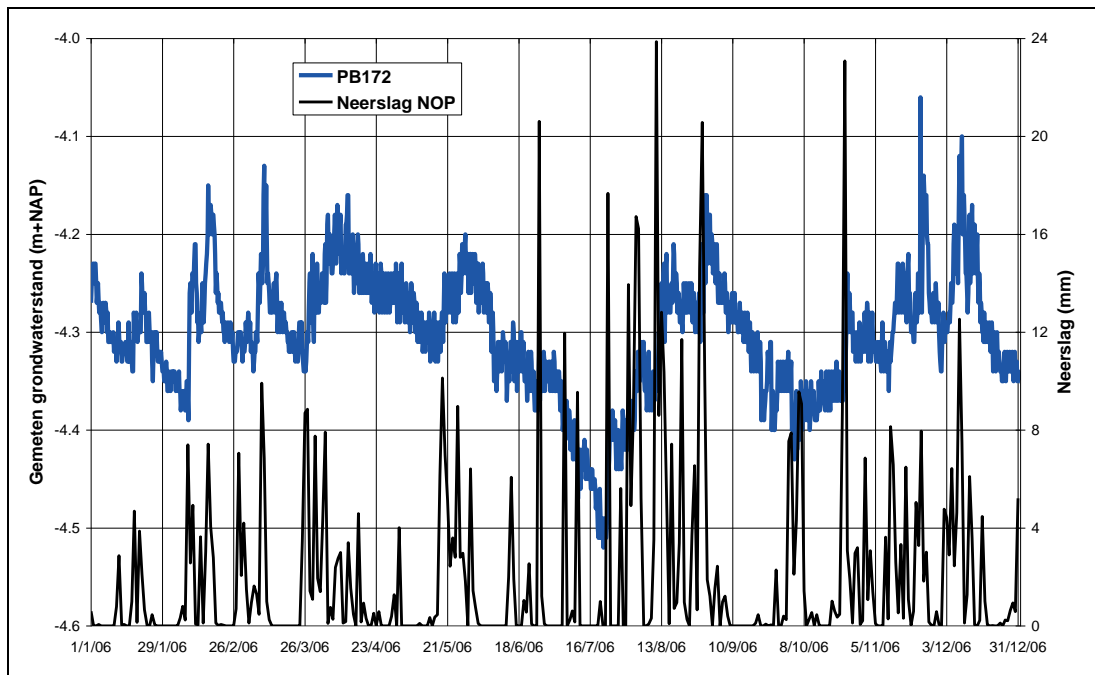
Figuur 4.4 Gemeten en berekende grondwaterstand in peilbuis PB006, jaar 2006



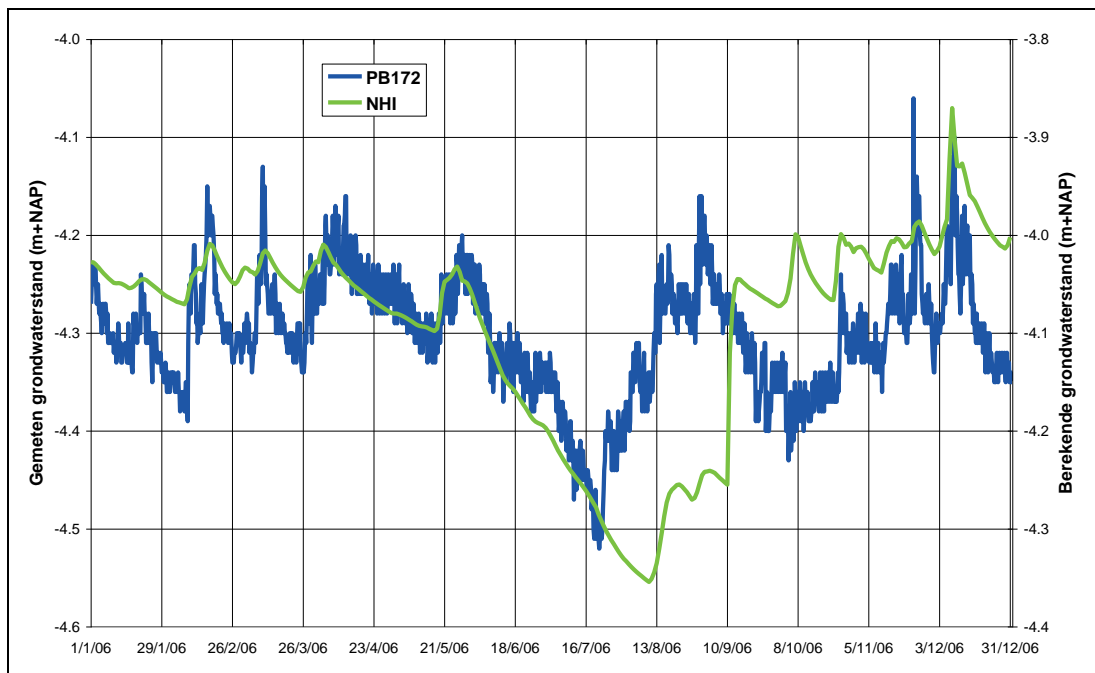
Figuur 4.5 Grondwaterstand in peilbuis PB145 met neerslag in de Noordoostpolder, jaar 2006



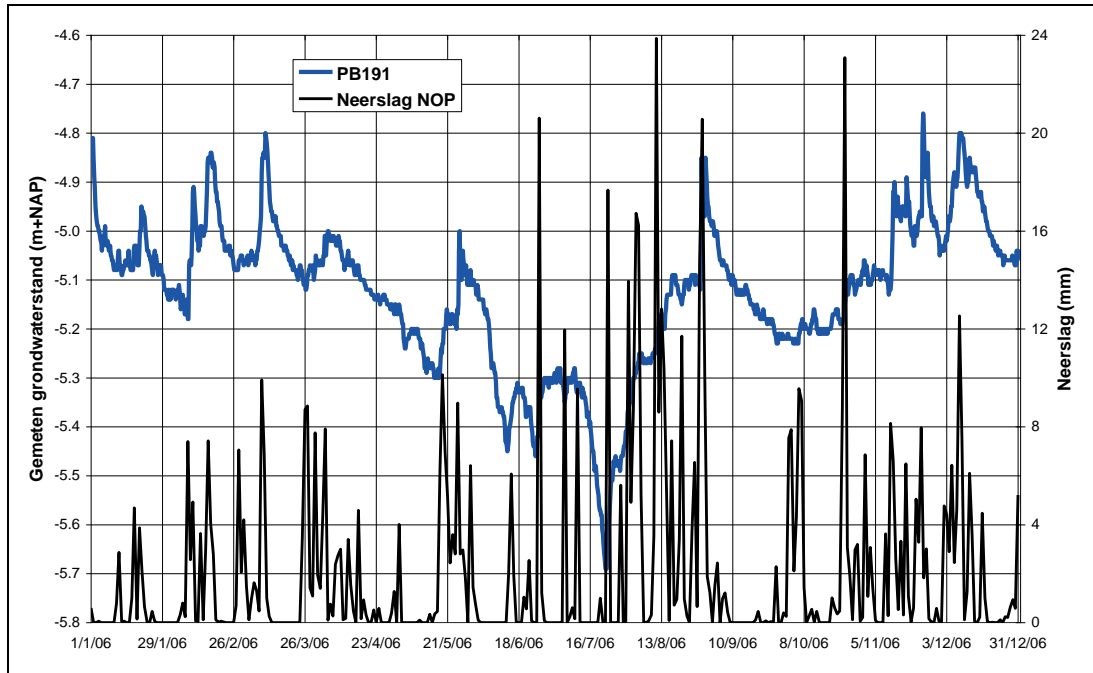
Figuur 4.6 Gemeten en berekende grondwaterstand in peilbuis PB145, jaar 2006



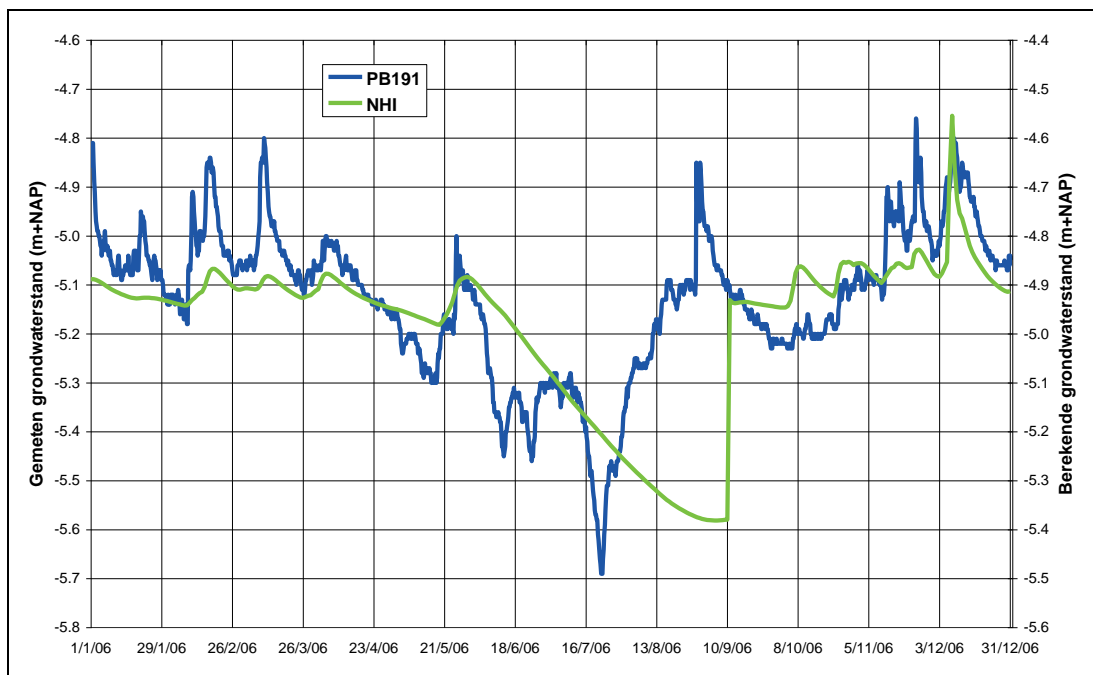
Figuur 4.7 Grondwaterstand in peilbuis PB172 met neerslag in de Noordoostpolder, jaar 2006



Figuur 4.8 Gemeten en berekende grondwaterstand in peilbuis PB172, jaar 2006



Figuur 4.9 Grondwaterstand in peilbuis PB191 met neerslag in de Noordoostpolder, jaar 2006



Figuur 4.10 Gemeten en berekende grondwaterstand in peilbuis PB191, jaar 2006

4.3 ZO Flevoland

Van in totaal 22 peilbuizen in 5 clusters zijn grondwaterstanden ontvangen. Na onderlinge vergelijking en met in acht name van de berekening door het NHI zijn 10 peilbuizen geselecteerd voor de analyse van de reproductie van het model in het rapport. De reproductie van de grondwaterstanden van de overige peilbuizen is op analoge wijze onderzocht met een vergelijkbaar resultaat als voor de hier gepresenteerde peilbuizen. De geselecteerde peilbuizen zijn aangegeven in Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Overzicht van peilbuizen en hun locatie in ZO Flevoland

Putcode	TNO_code	Xcoor	Ycoor	Maaiveld (m+NAP)	Locatie	Plaatsing
PB023	B20H0639	172353	512195	-4.44	Ketelbos	08/02/2001
PB025	B20H0640	172063	512104	-4.39	Ketelbos	08/02/2001
PB026	B20H0641	171671	512073	-4.28	Ketelbos	08/02/2001
PB097	B26A0257	145296	492722	-3.81	Almere-Buiten	24/04/2003
PB098	B26A0258	145690	492185	-3.14	Almere-Buiten	24/04/2003
PB099	B26A0259	145282	492021	-3.63	Almere-Buiten	28/04/2003
PB100	B26A0260	146167	492981	-4.52	Almere-Buiten	28/04/2003
PB111	B26G0442	167467	487398	-3.15	Harderbroek	03/09/2003
PB112	B26E0143	168154	487926	-2.92	Harderbos	08/10/2003
PB113	B26E0144	168464	488047	-3.17	Harderbos	08/09/2003
PB114	B26E0145	169445	489186	-3.05	Harderbos	12/12/2003
PB115	B26E0146	169396	489855	-3.32	Harderbos	03/09/2003
PB116	B26F0348	172706	491394	-3.10	Harderbos	03/09/2003
PB117	B26F0349	171555	490808	-3.23	Harderbos	03/09/2003
PB147	B26F0350	171370	489010	-3.10	Harderbos	30/03/2004
PB148	B26F0351	171293	489137	-3.10	Harderbos	30/03/2004
PB149	B26F0352	171323	489261	-3.06	Harderbos	30/03/2004
PB181	B26F0371	177420	492117	-2.64	Spijk-Bremerberg	20/06/2005
PB182	B26F0372	177240	492530	-2.72	Spijk-Bremerberg	20/06/2005
PB183	B26F0373	177118	492742	-2.93	Spijk-Bremerberg	20/06/2005
PB184	B26F0374	176961	493074	-2.98	Spijk-Bremerberg	20/06/2005
PB195	B26E0147	164784	491122	-3.73	Oosten Knarbos	07/12/2005

Ketelbos

Peilbuis PB026 is geselecteerd voor de cluster Ketelbos. Gegevens zijn beschikbaar voor de jaren 2003 en 2006. De vergelijkingen met de neerslag zijn weergegeven in Figuur 4.11 en Figuur 4.13. De figuren geven aan dat het grondwater snel reageert op de neerslag maar ook snel weer wegzakt. De diepte van het filter is onvoldoende voor een volledige weergave van het grondwaterstandverloop, met name in 2003. In dat jaar lijkt de registratie tot 26/3 twijfelachtig: de toename op die dag kan alleen verklaard worden door een plotselinge toename van het oppervlaktewaterpeil. Regenval is geen oorzaak van de plotselinge stijging.

De vergelijking tussen meting en modelresultaat is gepresenteerd in Figuur 4.12 en Figuur 4.14. De figuren tonen aan dat de dynamiek van het modelresultaat veelal te laag is (met uitzonderingen) en dat het uitputtingsverloop te traag is. Ook is de range van het berekende verloop te gering.

Almere-Buiten

De cluster Almere-Buiten omvat peilbuizen in het Fluitbos, het Wilgenbos en in de omgeving van de Penitentiare Inrichting. Van de cluster zijn de peilbuizen PB097 en PB100 opgenomen in dit rapport. De gemeten grondwaterstand in peilbuis PB097 met de neerslag van Oostvaardersdiep voor de jaren 2003 en 2006 zijn weergegeven in Figuur 4.15 en Figuur 4.17. De grondwaterspiegel blijkt snel te reageren op de neerslag en vertoont een vrij traag uitputtingsverloop.

De vergelijking met het modelresultaat voor peilbuis PB097 is gegeven in Figuur 4.16 en Figuur 4.18. De figuren geven aan dat de dynamiek te gering is, maar het uitputtingsverloop wordt redelijk gereproduceerd. Merk op dat het herstel van de

grondwaterspiegel in oktober 2003 en in augustus 2006 te laat komt. De range lijkt enigszins te worden overschat.

In Figuur 4.19 en Figuur 4.20 zijn de modelresultaten voor de locatie van peilbuis PB100 vergeleken met de metingen. Het model produceert een zeer vlak grondwaterstandverloop dat ongeveer 1 m lager ligt dan het gemiddelde verloop ter plaatse. Het gemeten verloop heeft een range van ruim 1 m terwijl dit in het model beperkt blijft tot enkele cm's.

Harderbos en Harderbroek

De peilbuizen PB111, PB116 en PB148 zijn representatief voor de cluster van peilbuizen in het Harderbos en Harderbroek ten zuidwesten van Biddinghuizen tegenover Harderwijk.

De metingen in peilbuis PB111 zijn met de neerslag van Harderwijk weergegeven in Figuur 4.21. De figuur laat zien dat de grondwaterspiegel nauwelijks reageert op de neerslag. Het gemeten bereik bedraagt niet meer dan 4 dm. Het modelresultaat vergeleken met de meting is gepresenteerd in Figuur 4.22. De dynamiek van het berekende grondwaterstandverloop is groter dan is waargenomen en vooral de range is aanmerkelijk groter, 9 dm tegen 4 dm.

De dynamiek in peilbuis PB116 is groter dan in de vorige peilbuis uit deze cluster, zie Figuur 4.23, en ook de range is ongeveer het driedubbele. De vergelijking met het modelresultaat is weergegeven in Figuur 4.24. Het model mist de dynamiek, het uitputtingsverloop gaat te traag en het model onderschat ook de range van het verloop ter plaatse. Het herstel in augustus 2006 zet te laat in.

De metingen in peilbuis PB148 en de neerslag van Harderwijk zijn weergegeven in Figuur 4.25 met de neerslag van Harderwijk. De figuur geeft aan dat in juni – juli 2006 de grondwaterstand tot beneden het minimumniveau van het filter is gezakt. Figuur 4.26 geeft de vergelijking weer tussen de gemeten en berekende grondwaterstand ter plaatse van de peilbuis. De figuur geeft aan dat de dynamiek van het berekende verloop goed de werkelijkheid representeert en ook het uitputtingsverloop wordt goed weergegeven. Ook het herstel van de grondwaterspiegel in augustus wordt zeer goed gereproduceerd. De range wordt mogelijk iets overschat, maar de geconstateerde afwijking lijkt vooral een gevolg zijn van de 9/11 hik.

Spijk-Bremerberg

Van de cluster Spijk-Bremerber ten zuiden van Biddinghuizen (westelijk van Walibi) zijn de resultaten voor de locaties van de peilbuizen PB181, PB182 en PB184 gepresenteerd. Het grondwaterverloop in de peilbuizen is vrijwel identiek, alleen het moderesultaat varieert per locatie. De vergelijking met de neerslag te Biddinghuizen is voor PB181 weergegeven in Figuur 4.27. In Figuur 4.28 wordt het NHI resultaat vergeleken met de meting in deze peilbuis. De figuur geeft aan dat het model de dynamiek goed weergeeft en ook dat het uitputtingsverloop adequaat wordt gesimuleerd. De timing van het herstel in augustus is correct gereproduceerd. De berekende range wordt redelijk gesimuleerd.

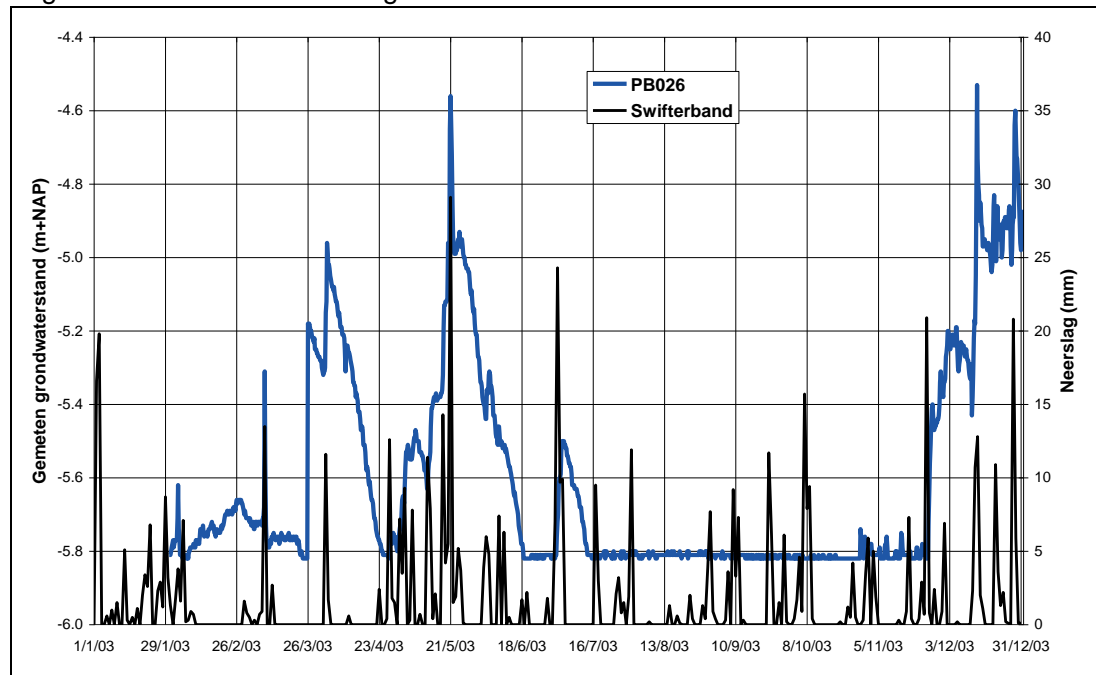
Het resultaat voor peilbuis PB182 is minder goed, zie Figuur 4.29. De berekende dynamiek is onvoldoende en het uitputtingsverloop loopt te traag. Hoewel de timing van het herstel in augustus correct is gesimuleerd blijft de stijging te laag. De berekende range bedraagt slechts 3 dm terwijl 12 dm is gemeten.

In Figuur 4.30 wordt het model resultaat vergeleken met de meting in peilbuis PB184. Het modelresultaat lijkt iets meer gefilterd te zijn dan het gemeten verloop, maar de

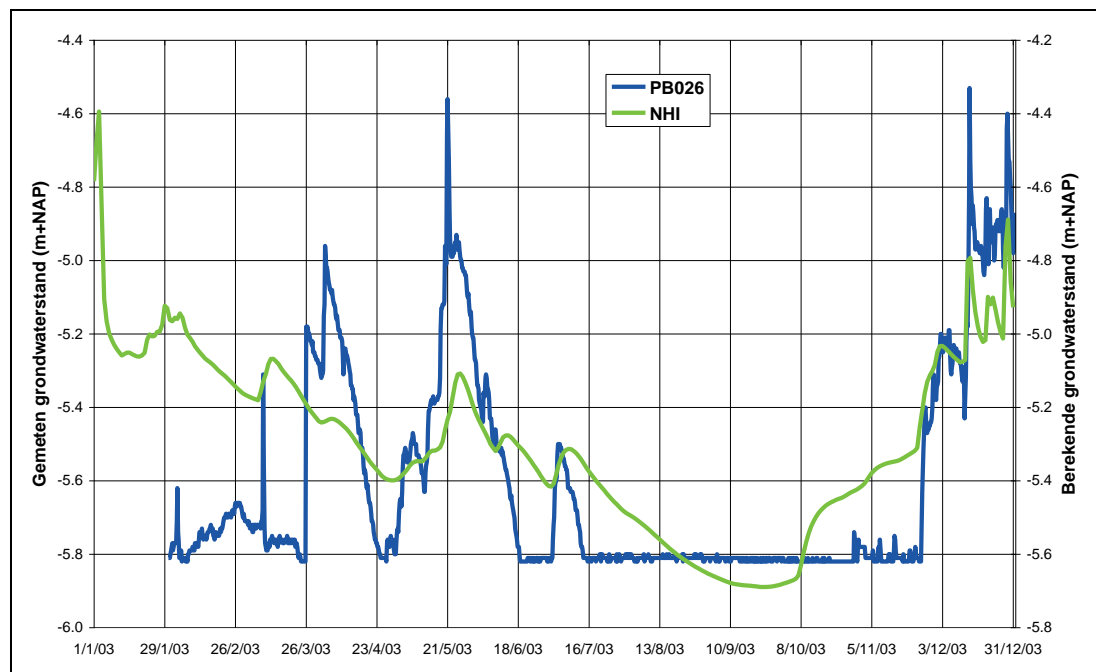
reproductie is acceptabel. Het uitputtingsverloop in juli wordt door het model wat onderschat evenals de range.

Knarbos

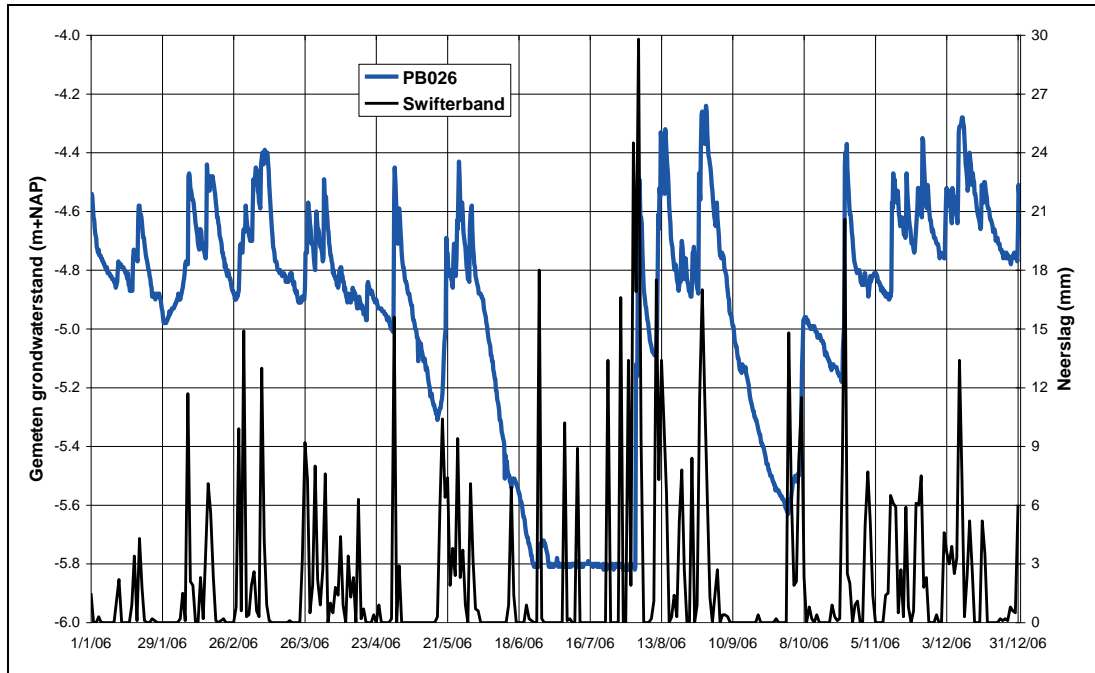
Peilbuis PB195 is gelegen oostelijk van het Knarbos, centraal in ZO Flevoland. Het gemeten grondwaterstandverloop is met de neerslag van Harderwijk weergegeven in Figuur 4.31. De grondwaterspiegel zakt in juni – juli 2006 ongeveer 0,5 m, maar herstelt zich begin augustus meer dan volledig. Het model, zie Figuur 4.32, volgt het gemeten verloop tot midden juli goed, onderschat daarna de zakking en berekent het herstel in augustus veel te laat en te laag.



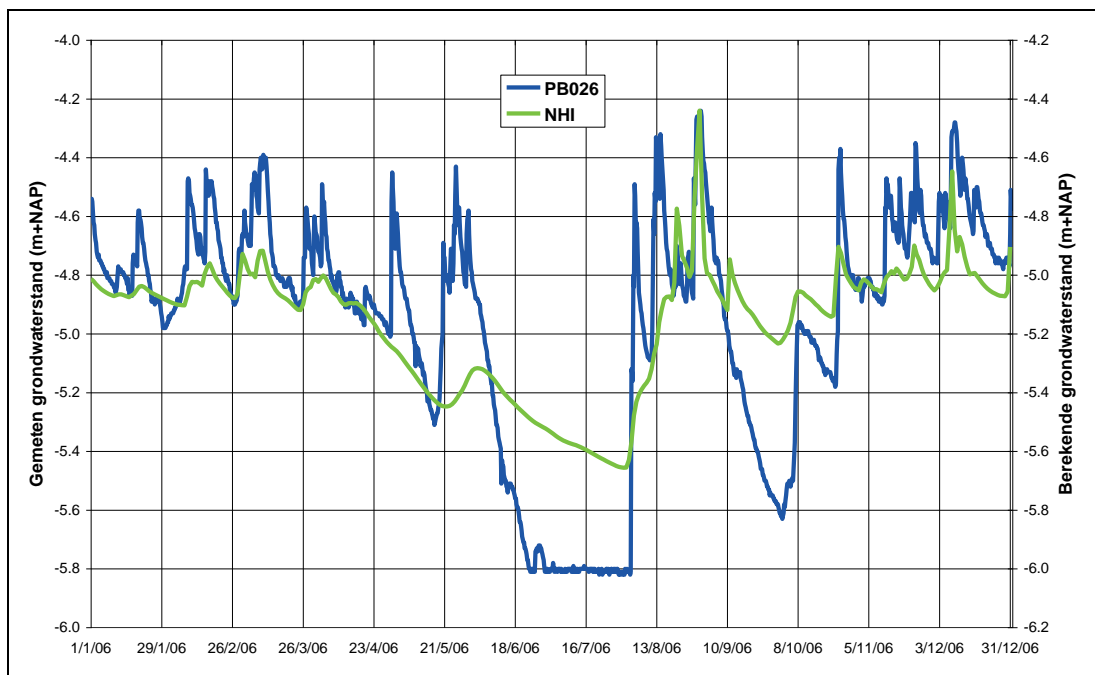
Figuur 4.11 Grondwaterstand in peilbuis PB026 met neerslag van Swifterband, jaar 2003



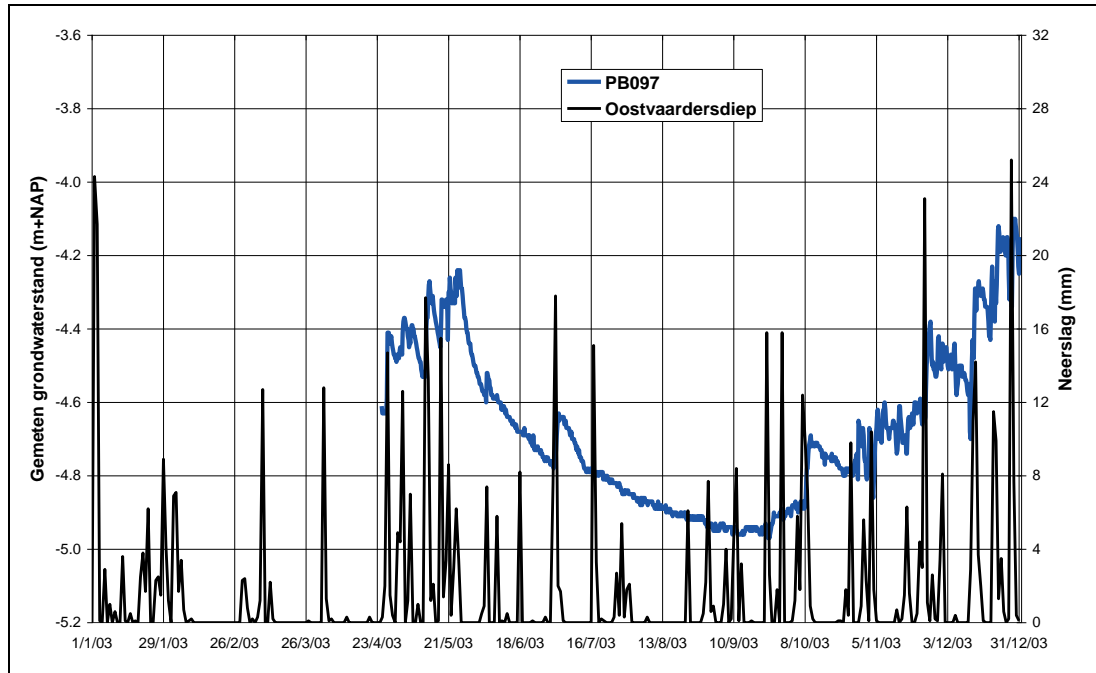
Figuur 4.12 Gemeten en berekende grondwaterstand in peilbuis PB026, jaar 2003



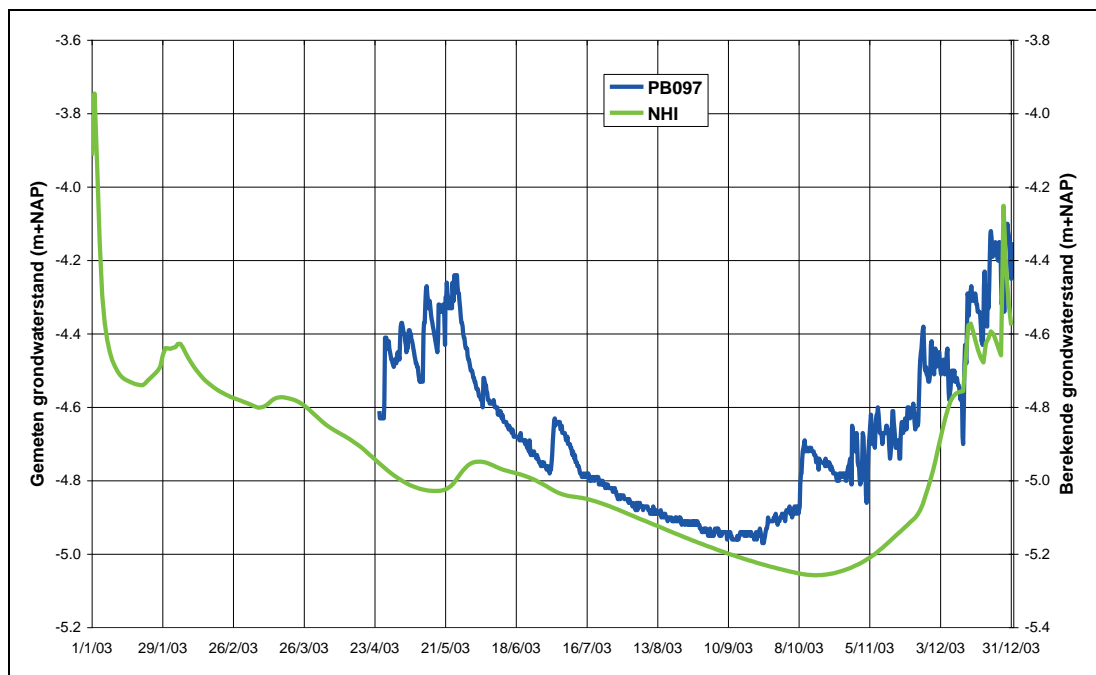
Figuur 4.13 Grondwaterstand in peilbuis PB026 met neerslag van Swifterband, jaar 2006



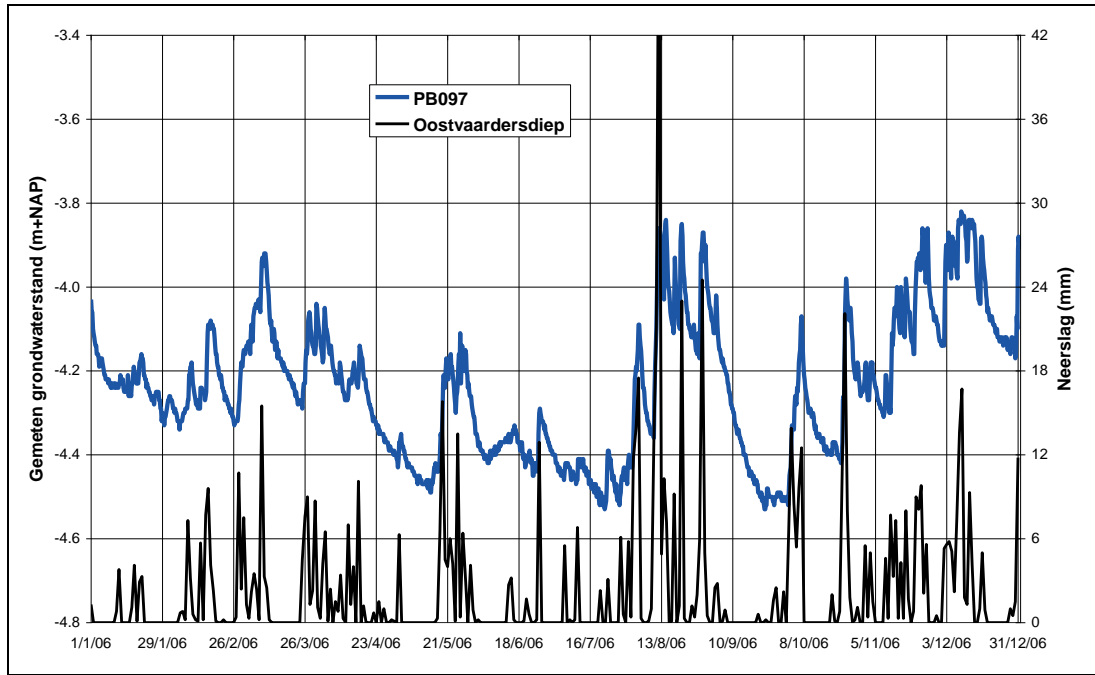
Figuur 4.14 Gemeten en berekende grondwaterstand in peilbuis PB026, jaar 2006



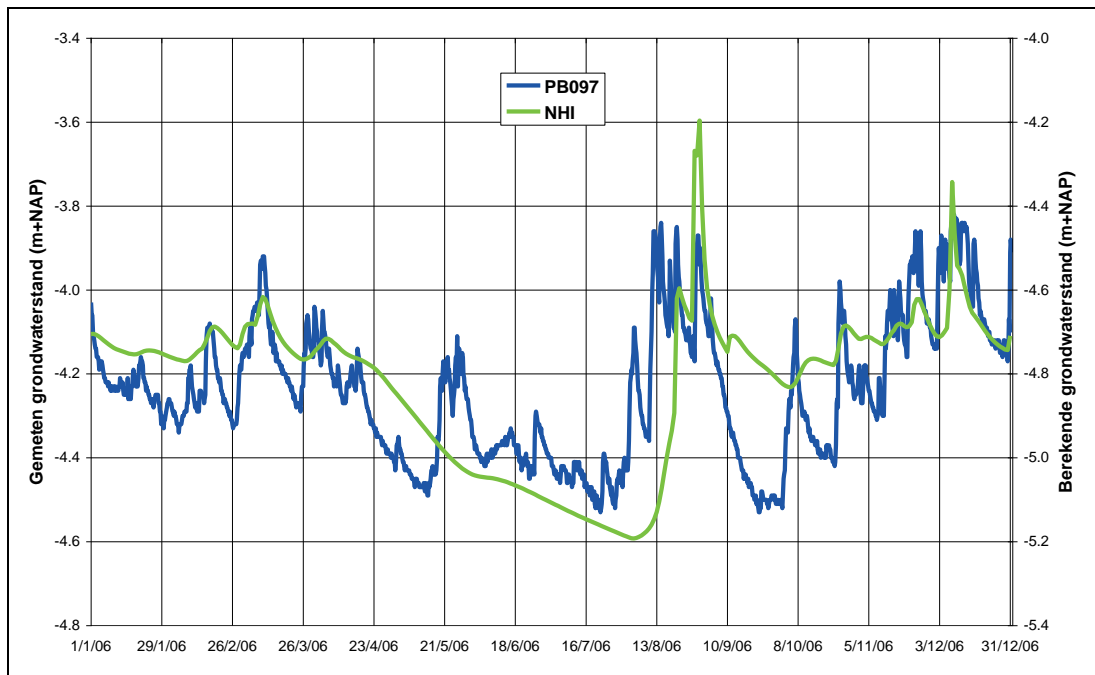
Figuur 4.15 Grondwaterstand in peilbuis PB097 met neerslag van Oostvaardersdiep, jaar 2003



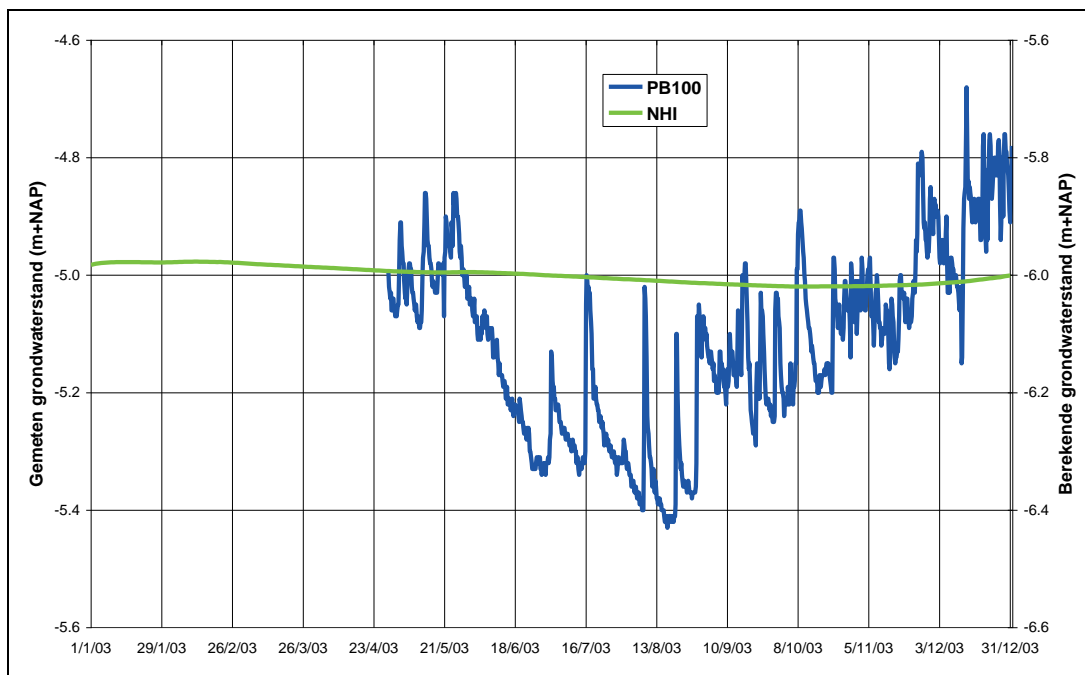
Figuur 4.16 Gemeten en berekende grondwaterstand in peilbuis PB097, jaar 2003



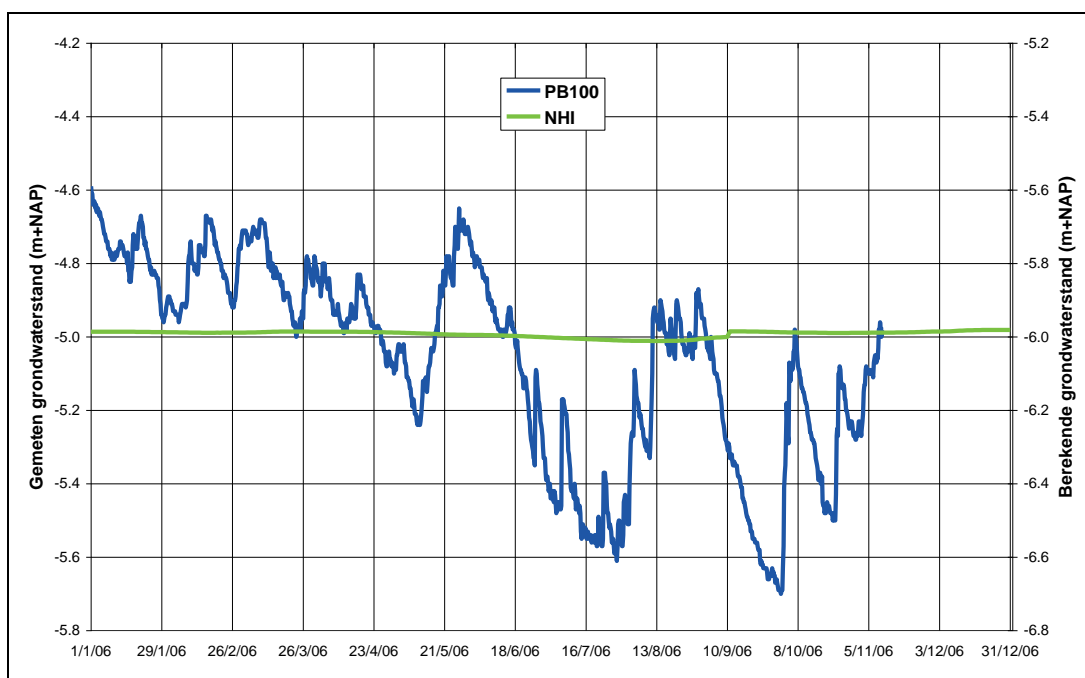
Figuur 4.17 Grondwaterstand in peilbuis PB097 met neerslag van Oostvaardersdiep, jaar 2006



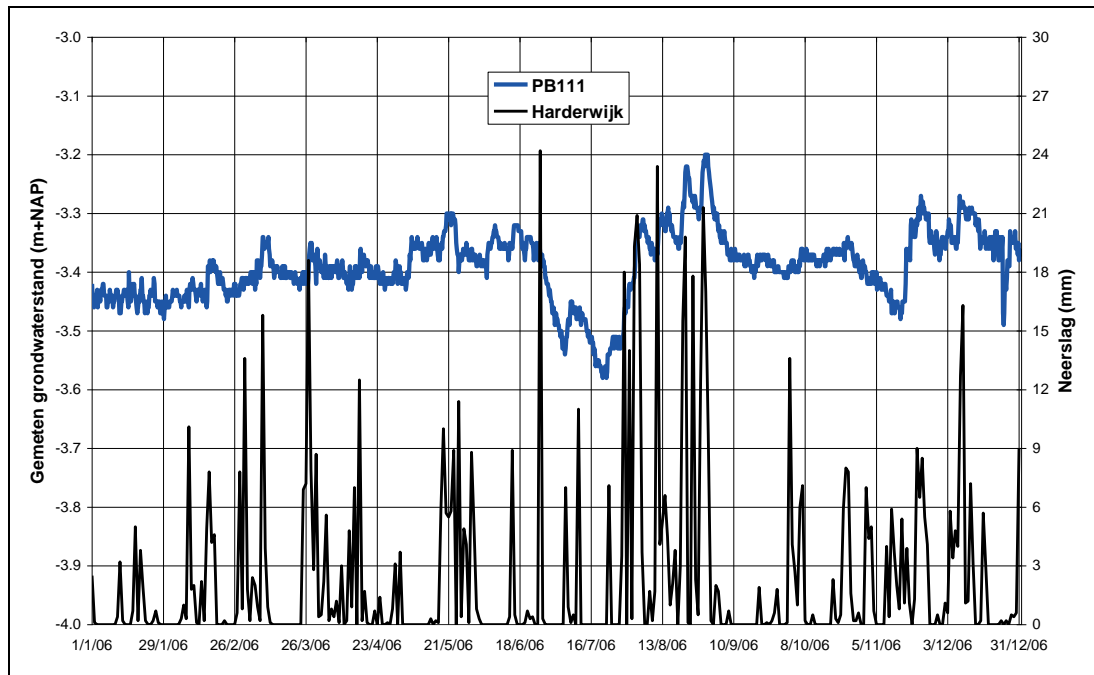
Figuur 4.18 Gemeten en berekende grondwaterstand in peilbuis PB097, jaar 2006



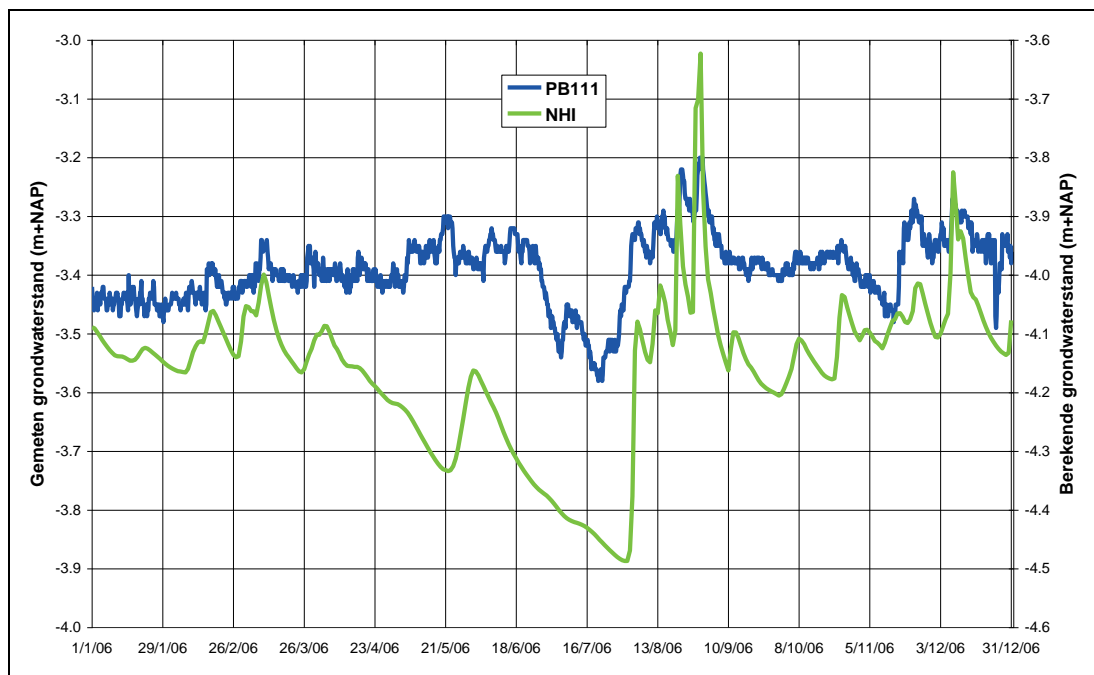
Figuur 4.19 Gemeten en berekende grondwaterstand in peilbuis PB100, jaar 2003



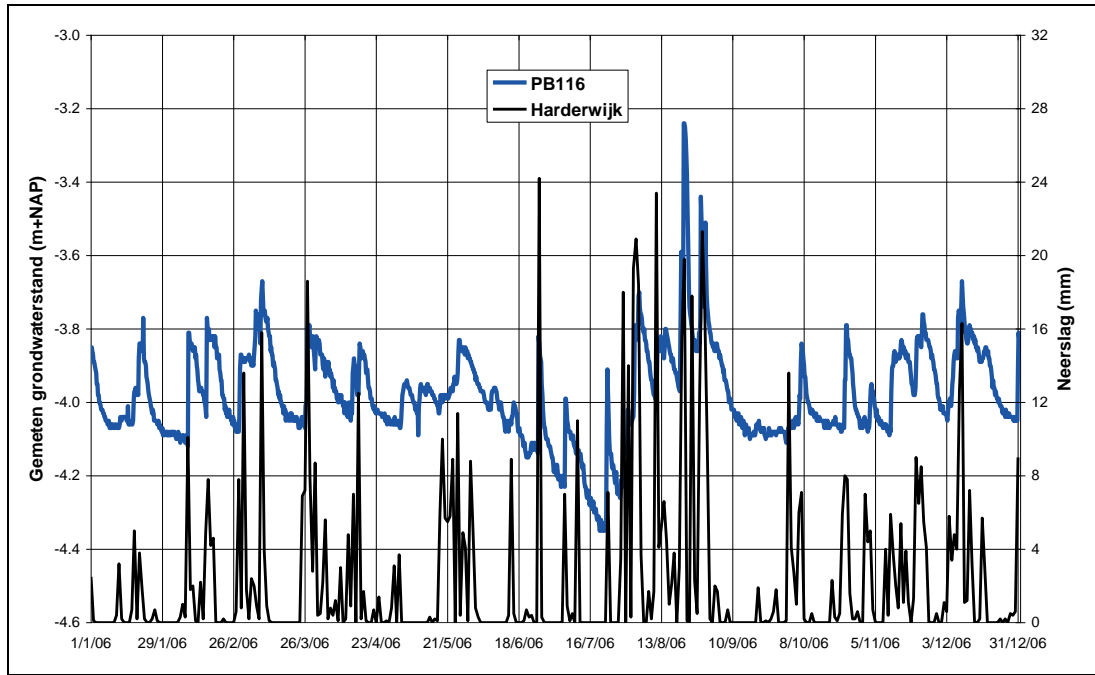
Figuur 4.20 Gemeten en berekende grondwaterstand in peilbuis PB100, jaar 2006



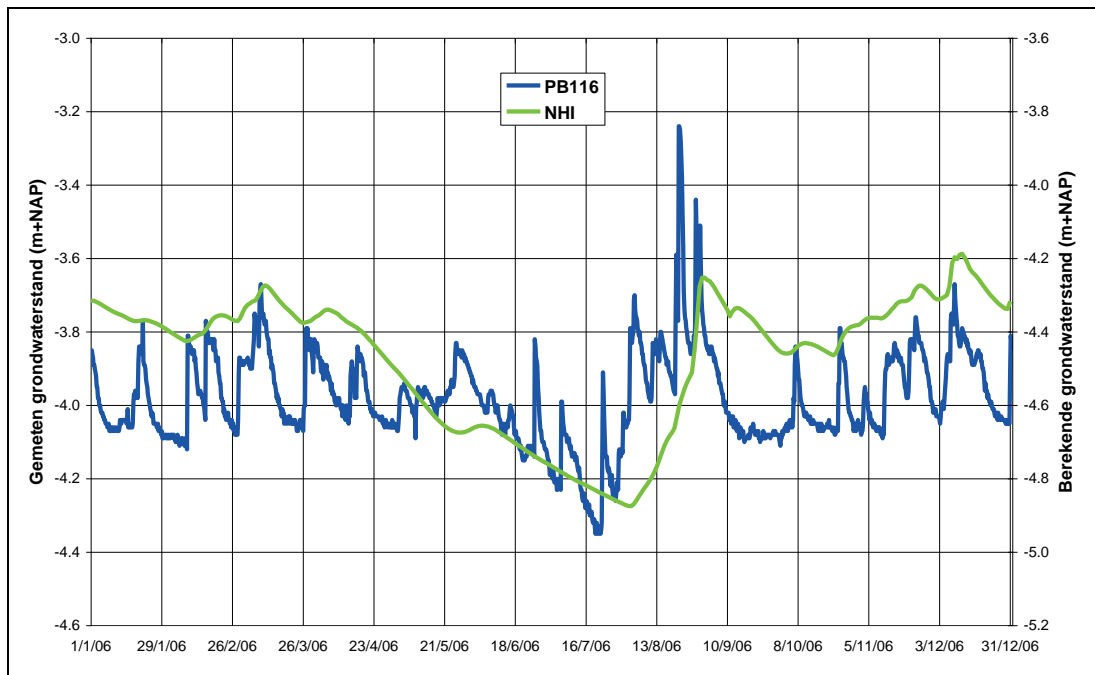
Figuur 4.21 Grondwaterstand in peilbuis PB111 met neerslag van Harderwijk, jaar 2006



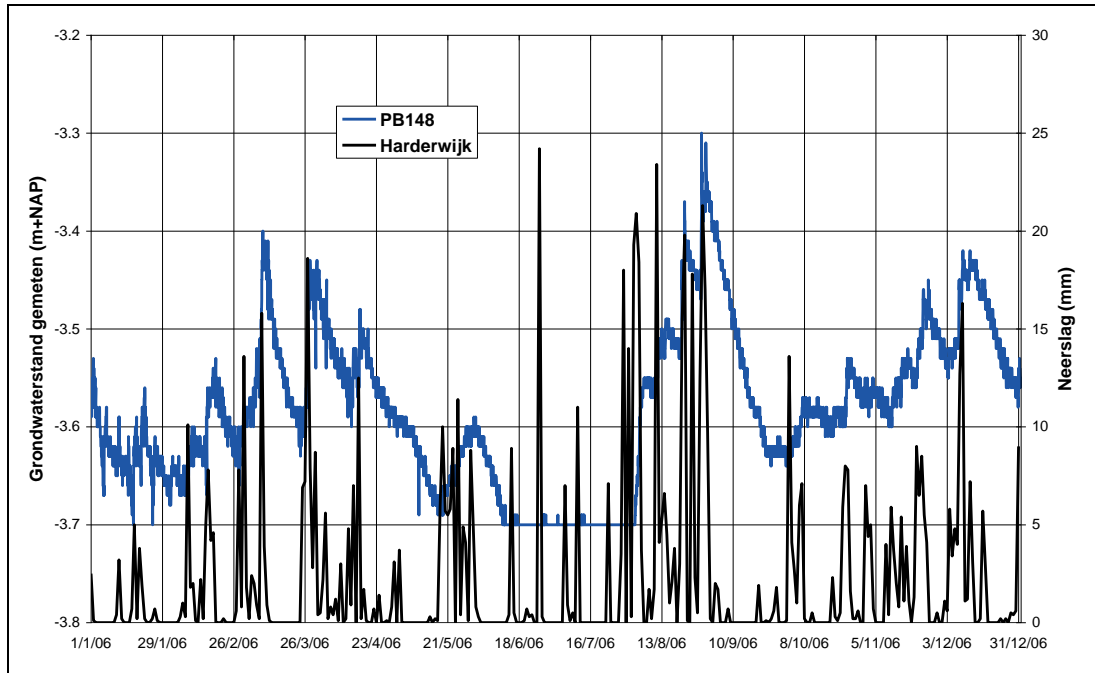
Figuur 4.22 Gemeten en berekende grondwaterstand in peilbuis PB111, jaar 2006



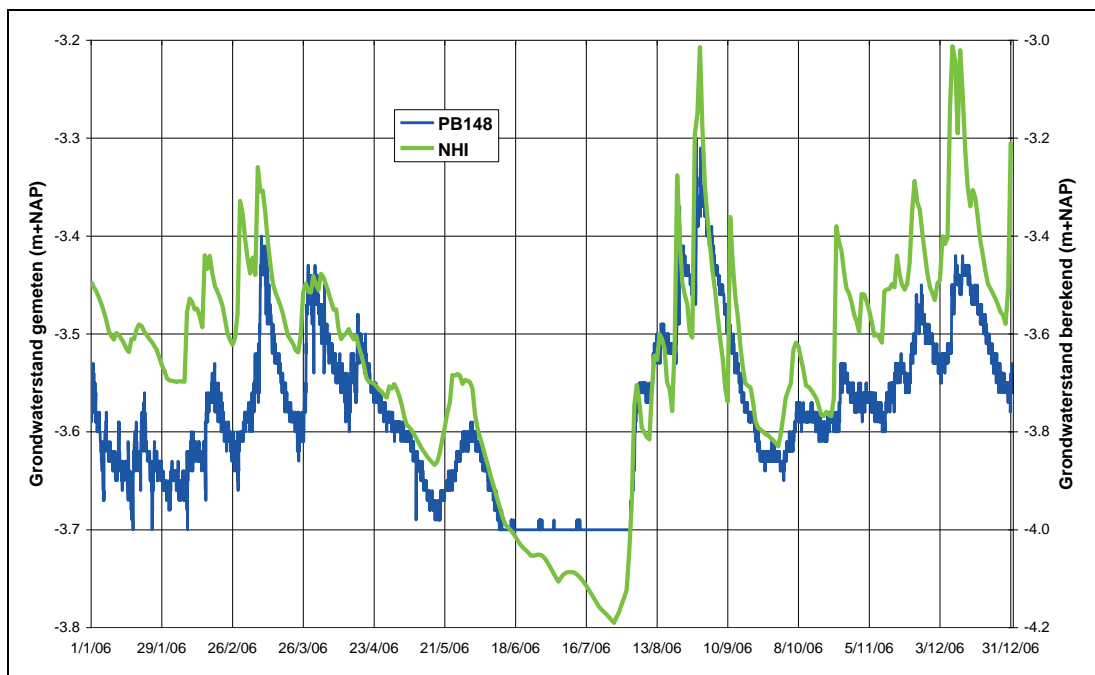
Figuur 4.23 Grondwaterstand in peilbuis PB116 met neerslag van Harderwijk, jaar 2006



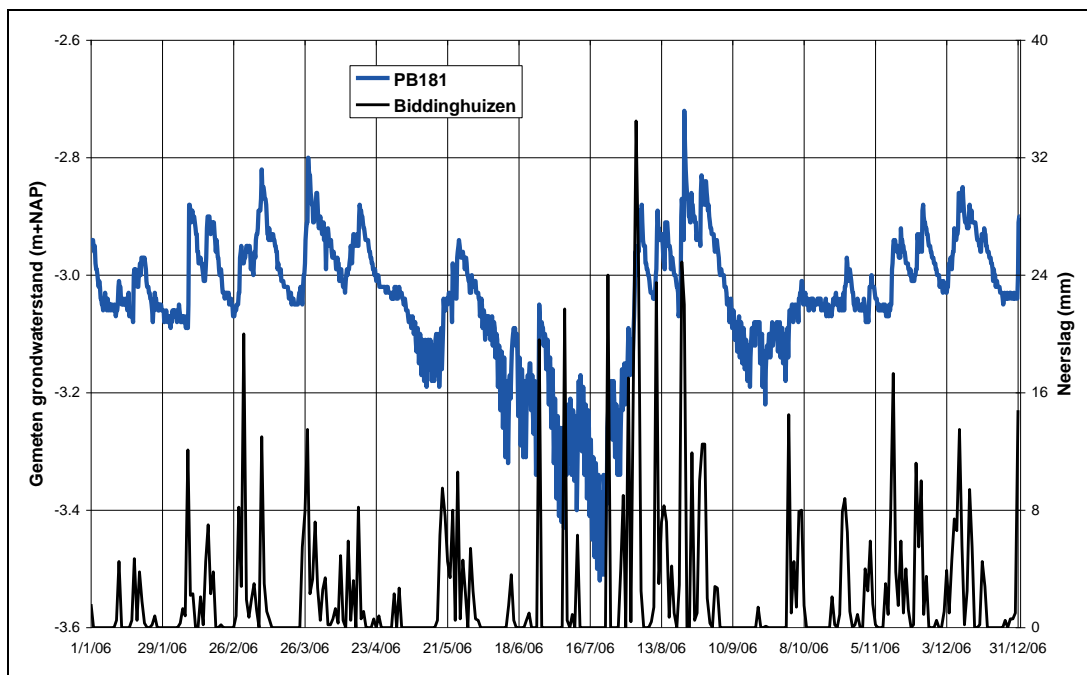
Figuur 4.24 Gemeten en berekende grondwaterstand in peilbuis PB116, jaar 2006



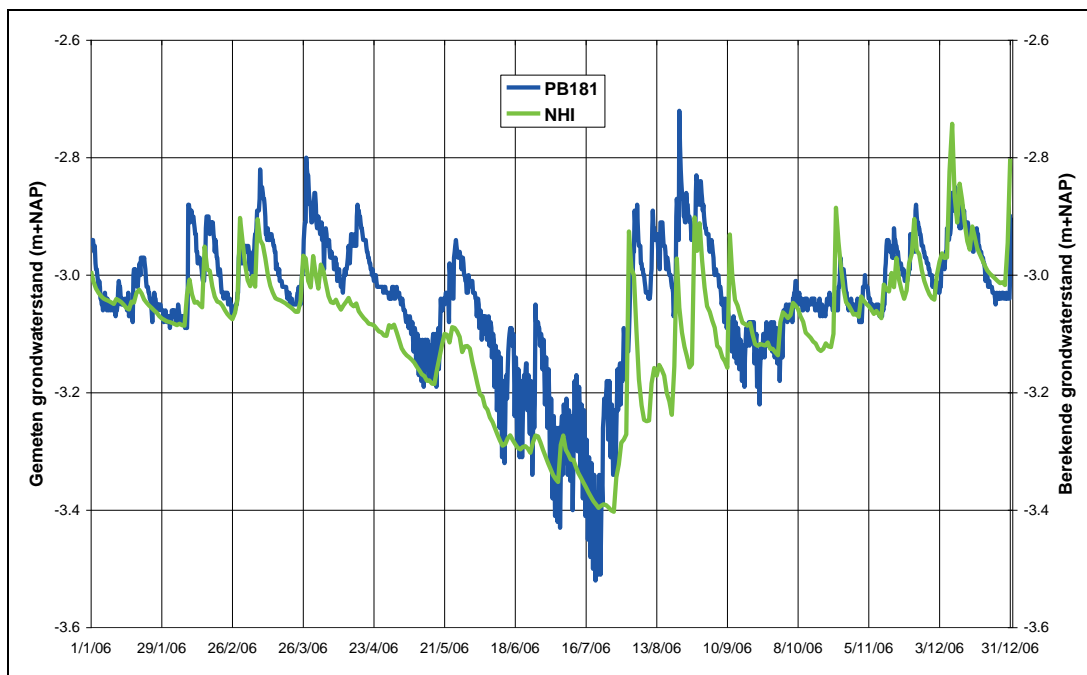
Figuur 4.25 Grondwaterstand in peilbuis PB148 met neerslag van Harderwijk, jaar 2006



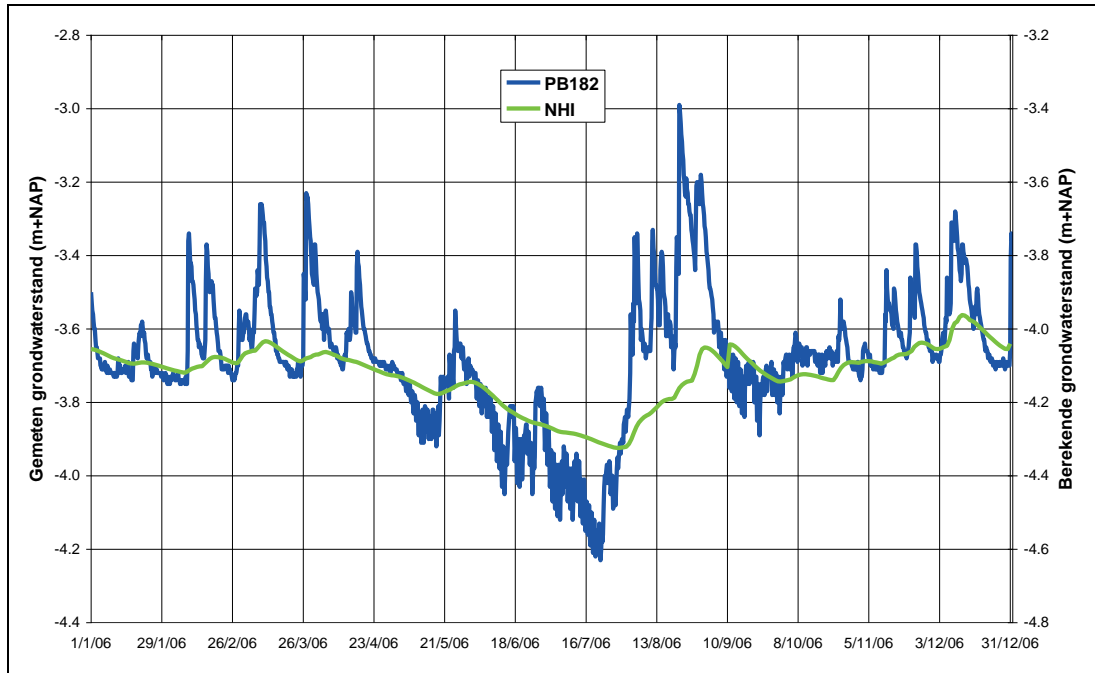
Figuur 4.26 Gemeten en berekende grondwaterstand in peilbuis PB148, jaar 2006



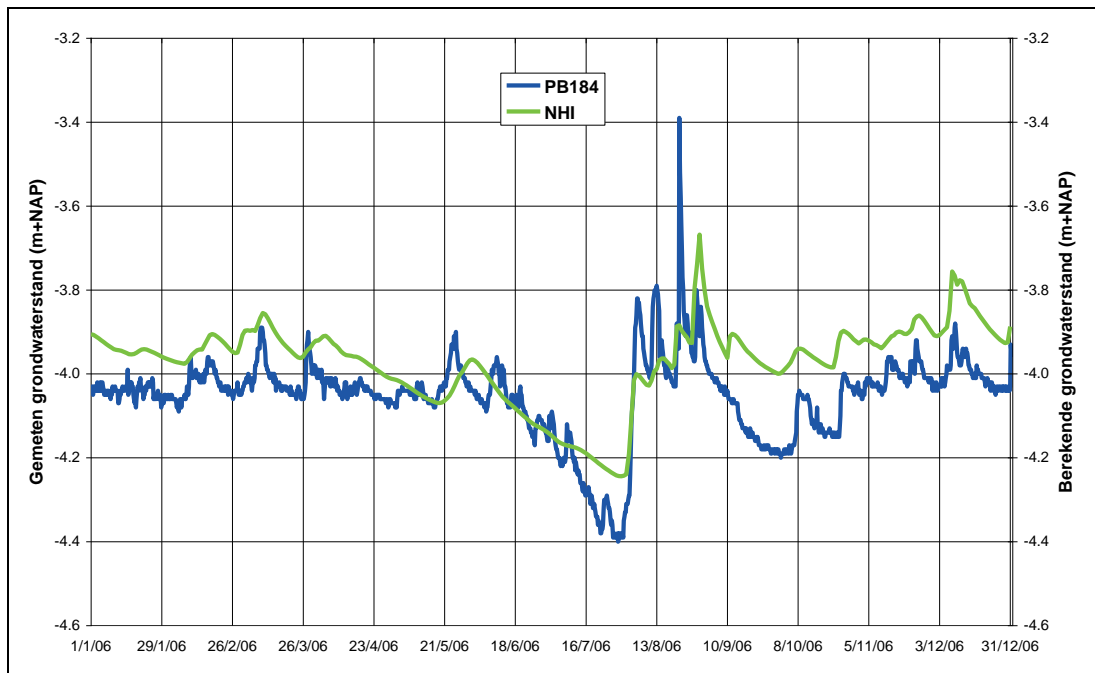
Figuur 4.27 Grondwaterstand in peilbuis PB181 met neerslag van Biddinghuizen, jaar 2006



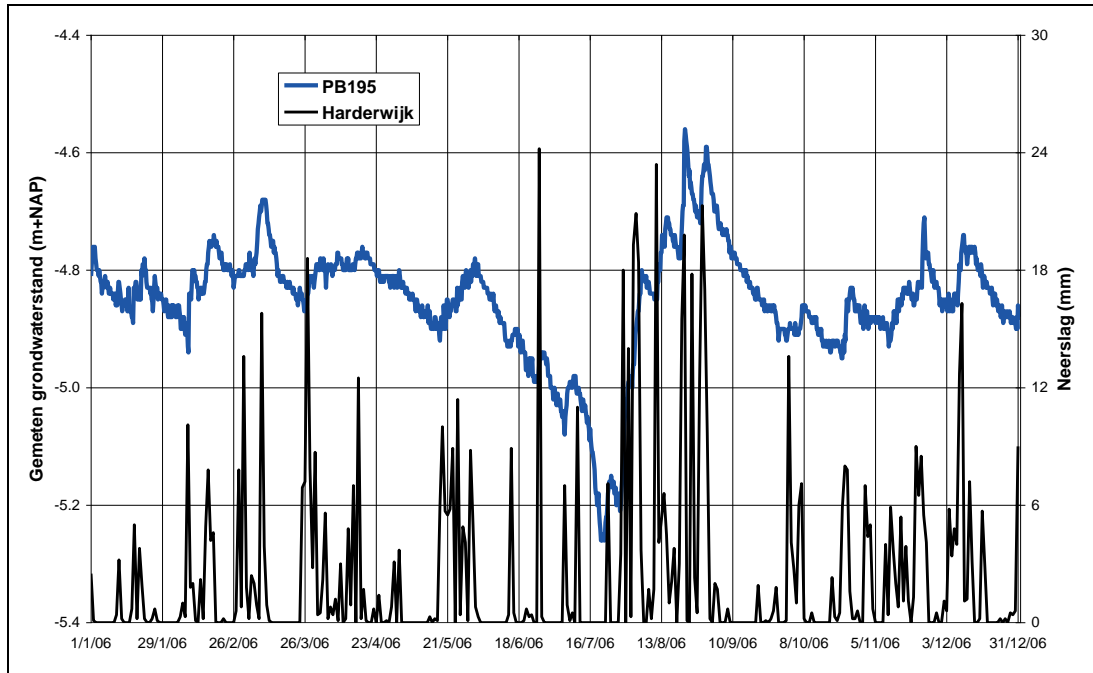
Figuur 4.28 Gemeten en berekende grondwaterstand in peilbuis PB181, jaar 2006



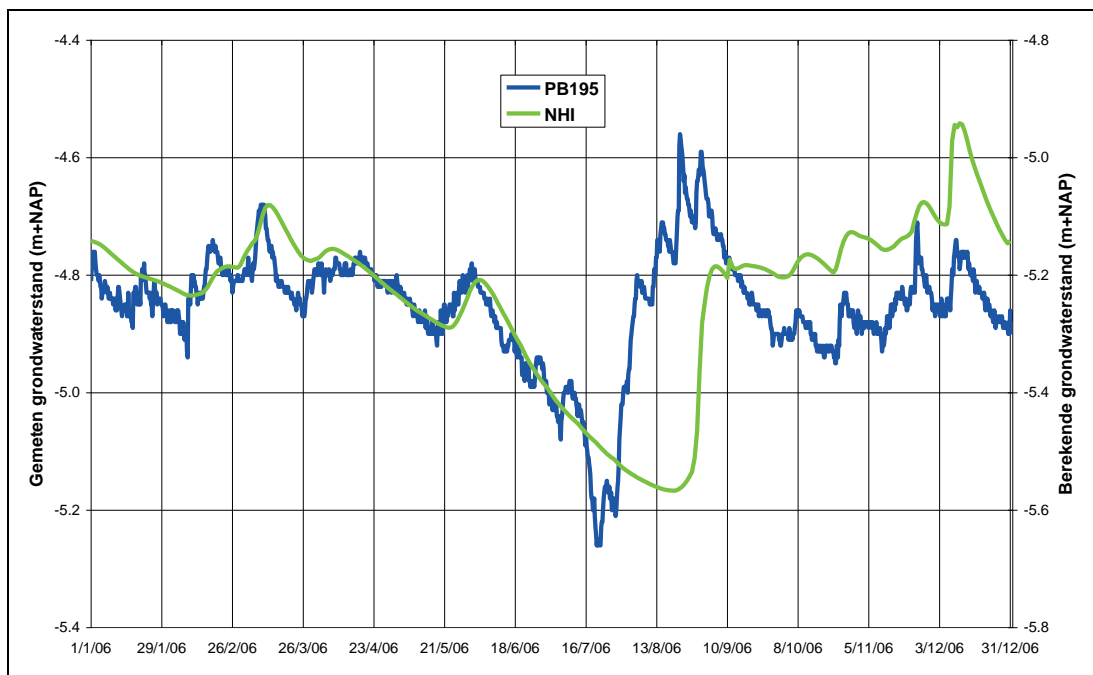
Figuur 4.29 Gemeten en berekende grondwaterstand in peilbuis PB182, jaar 2006



Figuur 4.30 Gemeten en berekende grondwaterstand in peilbuis PB184, jaar 2006



Figuur 4.31 Grondwaterstand in peilbuis PB195 met neerslag van Harderwijk, jaar 2006



Figuur 4.32 Gemeten en berekende grondwaterstand in peilbuis PB195, jaar 2006

4.4 Samenvatting

In Tabel 4.3 is een overzicht gegeven van de resultaten van de vergelijking van de gemeten met de berekende grondwaterstanden op basis van de volgende 3 criteria:

- 1 Dynamiek,
- 2 Recessie- of uitputtingsverloop, en
- 3 Range, d.w.z. de verschil tussen de hoogste en de laagste grondwaterstand.

Waardeoordelen variëren van goed (+geel), redelijk/matig (+/-) tot slecht (-blauw). De vakjes gemerkt +/- verdienen een nadere analyse, terwijl de vakjes die blauw zijn gemerkt een (her)ijking nodig hebben. De tabel geeft aan dat slecht op enkele locaties een goed resultaat is bereikt. IJking van het grondwatermodel is noodzakelijk.

Tabel 4.3 Overzicht van evaluatie van NHI grondwaterstanden

CODE	Coördinaten		Maaveld meting (m+NAP)	Dynamiek	Recessie verloop	Range
	X	Y				
Noordoostpolder						
PB006	181709	516270	-2.57	-	-	+/-
PB145	194629	518607	-1.32	-	-	-
PB172	189063	522999	-2.78	+/-	+	+
PB191	182183	523626	-3.80	-	-	+/-
ZO Flevoland						
PB026	171671	512073	-4.28	-	-	-
PB097	145296	492722	-3.81	-	+	+/-
PB100	146167	492981	-4.52	-	-	-
PB111	167467	487398	-3.15	-	-	-
PB116	172706	491394	-3.10	-	-	-
PB148	171293	489137	-3.10	+	+	+
PB181	177420	492117	-2.64	+	+	+
PB182	177240	492530	-2.72	-	-	-
PB184	176961	493074	-2.98	+/-	-	+/-
PB195	164784	491122	-3.73	+	-	+

5 Chlorideconcentraties

5.1 Beschikbare gegevens

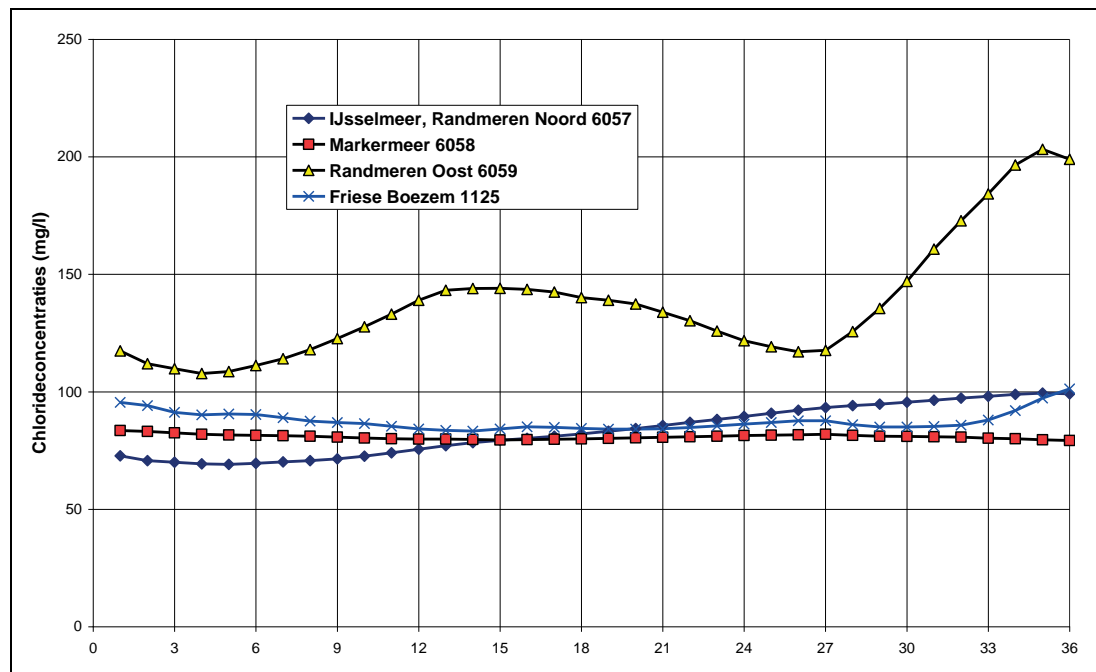
Van 13 locaties in de Noordoostpolder en 37 locaties in ZO Flevoland zijn chlorideconcentraties ontvangen voor de jaren 2003 en 2006. De bemonsteringsfrequentie varieerde van enkele weken tot ca. een maand. Er zijn echter geen chlorideconcentraties aangeleverd van de aangrenzende meren.

Berekende waarden van de chlorideconcentraties zijn aanwezig voor de omringende meren IJsselmeer (6057), Markermeer (6058), Randmeren Oost (6059), de Friese Boezem (1125) en de districten Noordoostpolder (14) en ZO Flevoland (30).

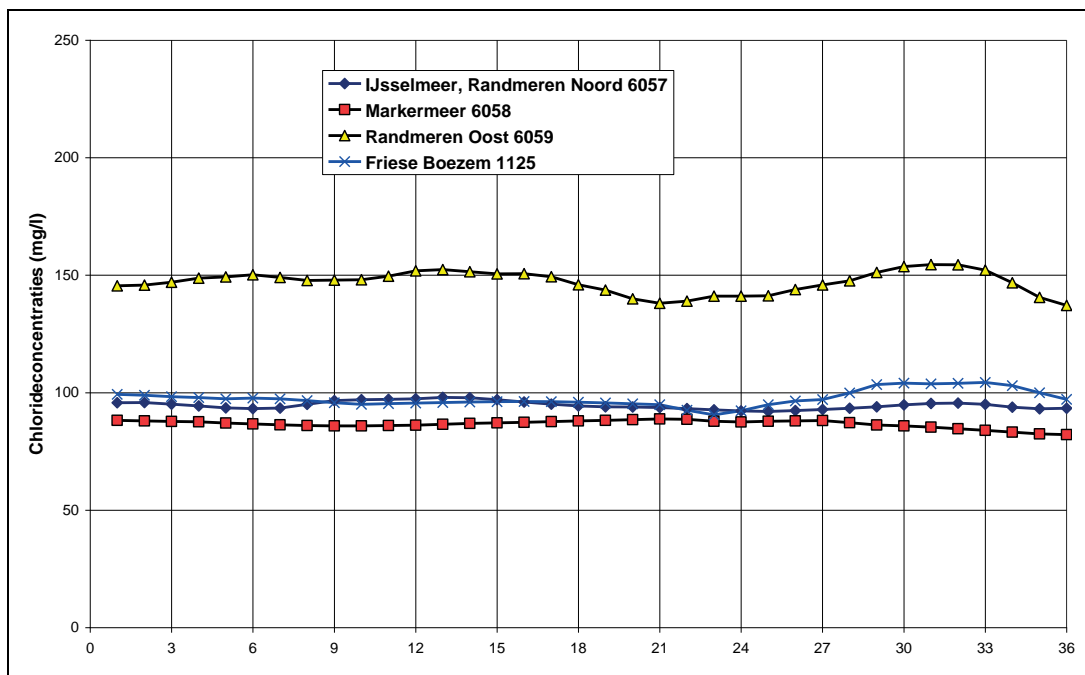
5.2 Berekende chlorideconcentraties

De berekende chlorideconcentraties in de omringende meren zijn weergegeven in Figuur 5.1 en Figuur 5.2. Het model berekent voor het Markermeer en het IJsselmeer een vrijwel constante concentratie van orde 100 mg/l. Alleen voor de Randmeren Oost wordt een gemiddeld 50 mg/l hogere concentratie berekend.

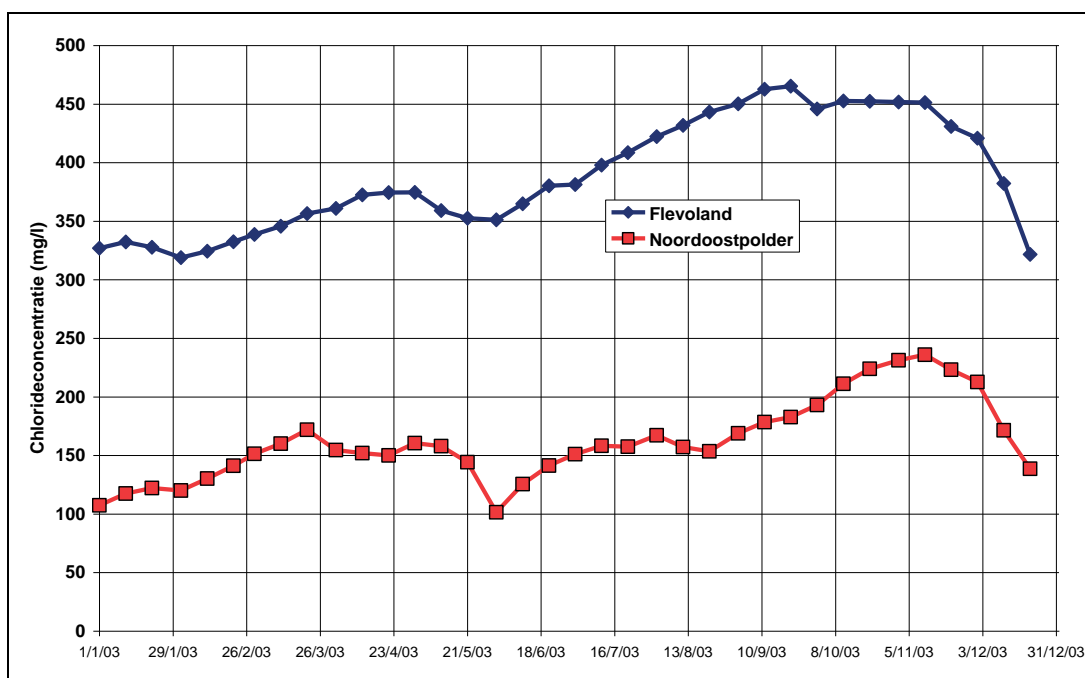
De berekende chlorideconcentraties in de districten Noordoostpolder en ZO Flevoland zijn gepresenteerd in Figuur 5.3 en Figuur 5.4. De figuren geven aan dat de concentraties in de districten hoger zijn dan in de omringende districten, waarbij de chlorideconcentratie in ZO Flevoland aanmerkelijk hoger ligt dan in de Noordoostpolder. De concentraties zijn niet constant over het jaar. Vooral in de lange droge zomer van 2003 berekent het model een toenemende concentratie.



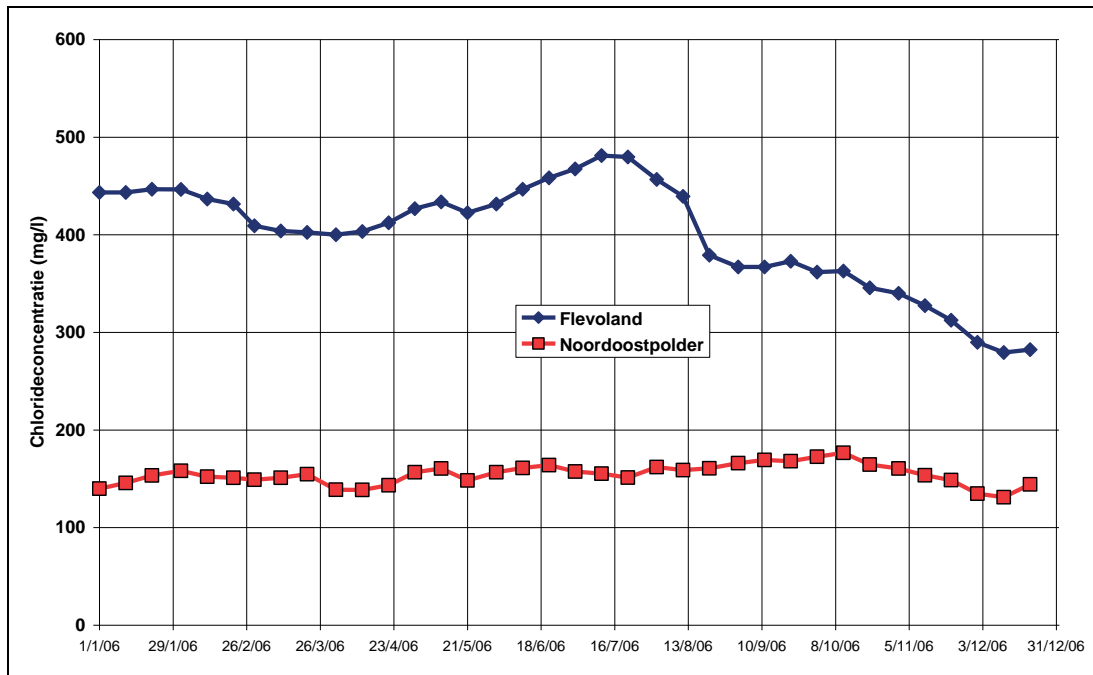
Figuur 5.1 Berekende chlorideconcentraties omringende meren en Friese boezem, 2003



Figuur 5.2 Berekende chlorideconcentraties omringende meren en Friese boezem, 2006



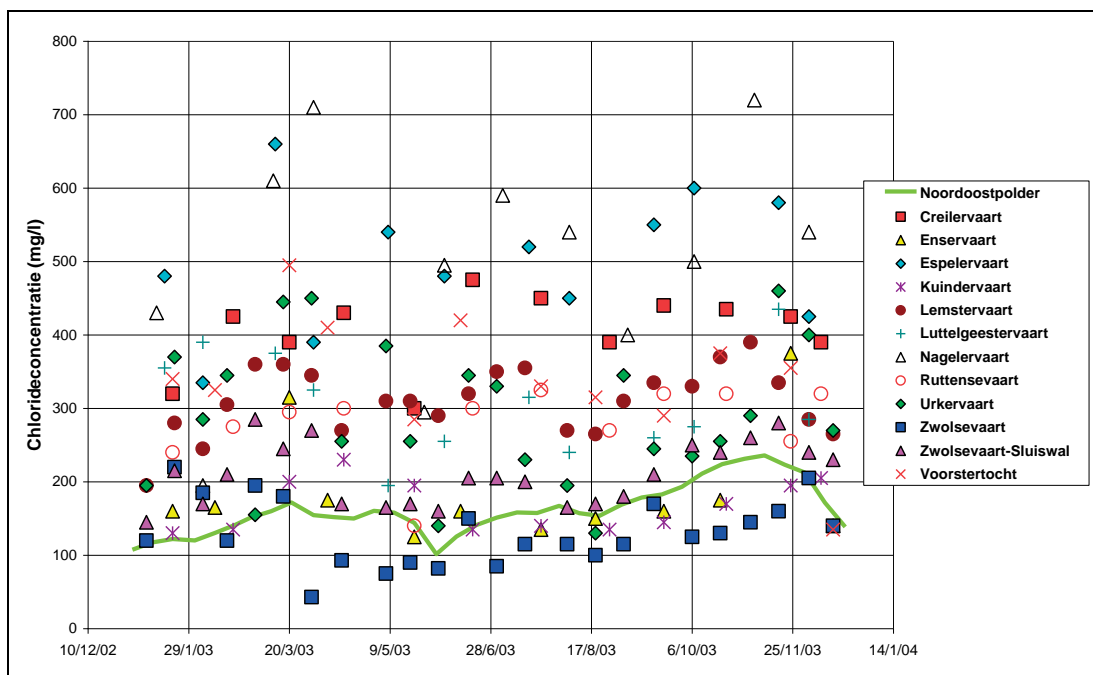
Figuur 5.3 Berekende chlorideconcentraties voor ZO Flevoland en Noordoostpolder, 2003



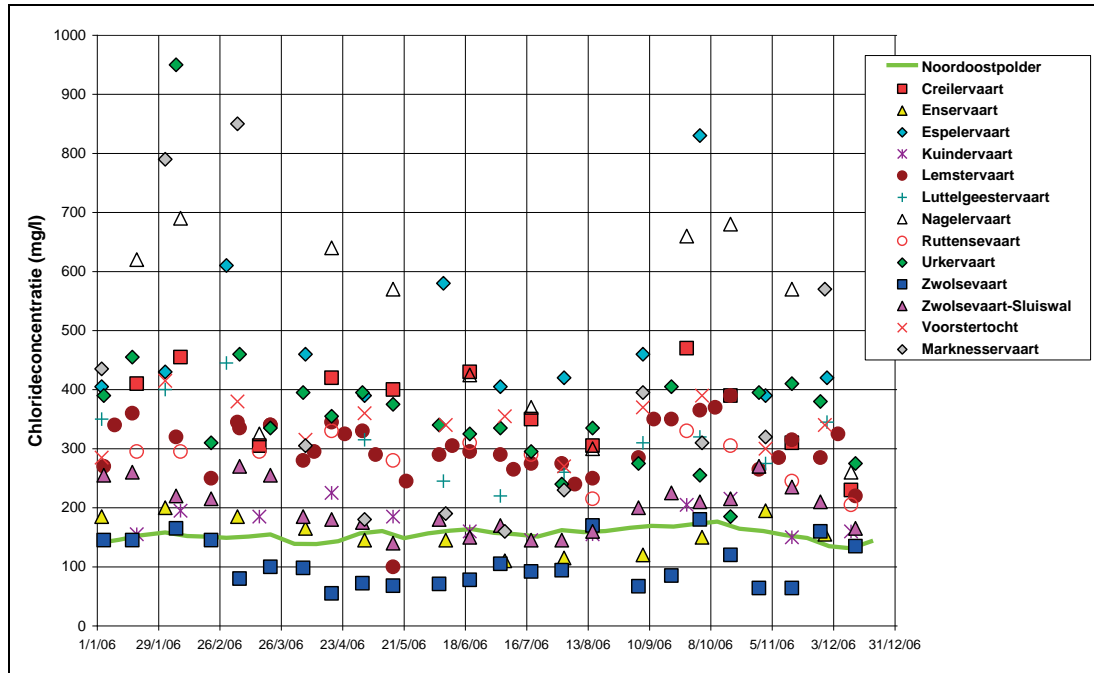
Figuur 5.4 Berekende chlorideconcentraties voor ZO Flevoland en Noordoostpolder, 2006

5.3 Vergelijking van gemeten en berekende chlorideconcentraties in de districten

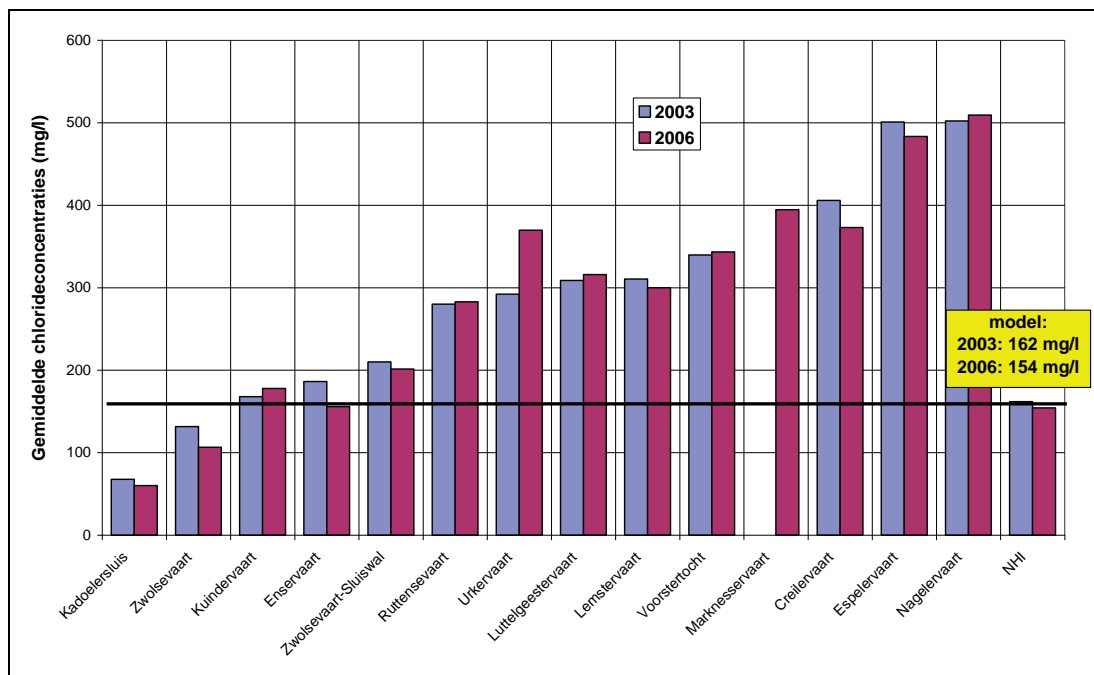
In Figuur 5.5 en Figuur 5.6 zijn de gemeten en berekende chlorideconcentraties in de Noordoostpolder voor 2003 en 2006 met elkaar vergeleken. Zowel de gemeten concentraties per punt als de berekende districtgemiddelde concentratie variëren relatief weinig over het jaar. De gemeten concentraties verschillen van plaats naar plaats echter sterk, waarbij de berekende districtgemiddelde concentratie een te lage schatting geeft van de chlorideconcentratie in de Noordoostpolder. Dit wordt ook duidelijk uit Figuur 5.7, waar de jaargemiddelde waarden per locatie vergeleken zijn met het berekende districtgemiddelde.



Figuur 5.5 Gemeten en berekende chlorideconcentraties Noordoostpolder, 2003

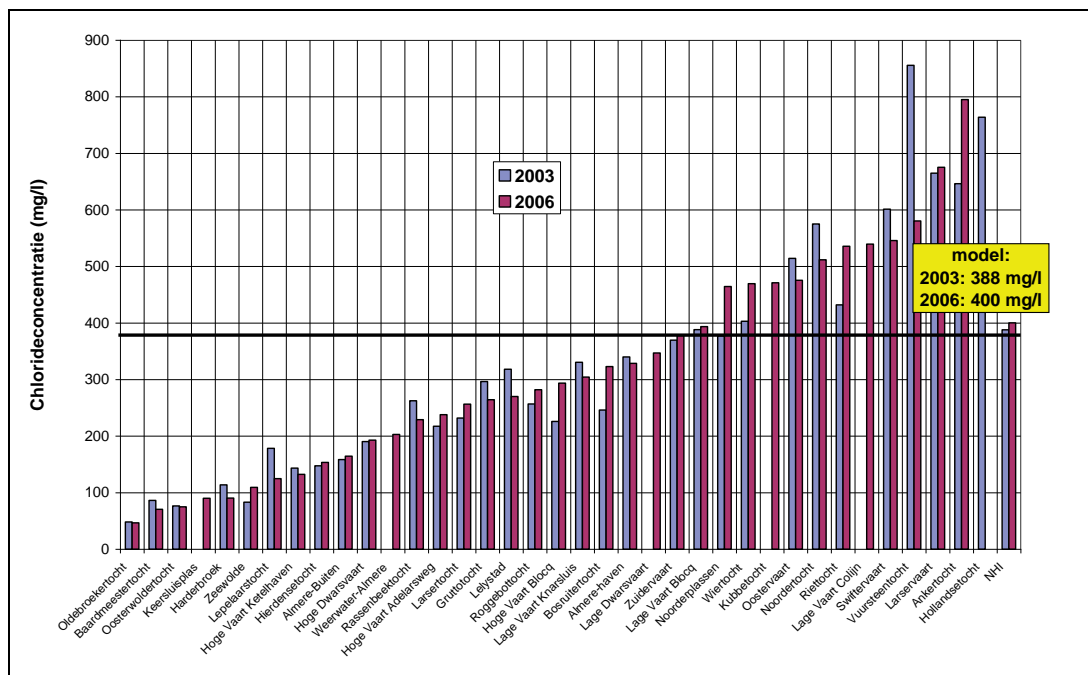


Figuur 5.6 Gemeten en berekende chlorideconcentraties Noordoostpolder, 2006



Figuur 5.7 Gemiddelde gemeten en berekende chlorideconcentraties Noordoostpolder in 2003 en 2006

Voor ZO Flevoland zijn de jaargemiddelde waarden van de diverse meetlocaties voor 2003 en 2006 in Figuur 5.8 vergeleken met de berekende districtgemiddelde chlorideconcentraties. De figuur geeft aan dat de berekende waarde redelijk de gemiddelde chlorideconcentratie in ZO Flevoland representeert. Voor groter detail in de chlorideconcentraties dient men op LSW-niveau (LocalSurface Water) naar de concentraties te kijken. Het Distributiemodel geeft hiervan een te grof beeld en de berekende concentratie in het DM zijn dan ook geen goede trigger voor waterinlaat voor het beheersen van de zoutconcentraties.



Figuur 5.8 Gemiddelde gemeten en berekende chlorideconcentraties ZO Flevoland in 2003 en 2006

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Neerslag

- 1 De gemiddelde jaarlijkse neerslag in de Noordoostpolder bedraagt 803 mm, waarvan de helft in het groeiseizoen valt. Het droogst zijn gemiddeld genomen de maanden februari en april, en het natst is november. De jaarnormaal van ZO Flevoland ligt met 789 mm iets onder die van de Noordoostpolder. De verdeling van de gemiddelde maandsommen over het jaar is in beide polders vrijwel identiek.
- 2 De jaar- en seizoensommen van de neerslag in 2003 lagen beneden normaal, met de grootste afwijking voor ZO Flevoland. Ondanks de droogte scoorden enkele maanden hoger dan gemiddeld. Het potentiële neerslagtekort bedroeg in 2003 voor beide polders ongeveer het dubbele van het tekort in een gemiddeld jaar.
- 3 Op jaar- en seizoenbasis was het jaar 2006 in ZO Flevoland natter dan gemiddeld, terwijl de waarden voor de Noordoostpolder rond de normalen lagen. In beide polders waren de maanden juni en september aanzienlijk droger dan normaal, maar augustus was echter weer veel natter. De droge maanden juni en juli hebben er voor gezorgd dat het potentiële neerslagtekort eind juli even groot was als in 2003 aan het einde van het groeiseizoen, maar op een voor het gewas veel ongunstiger moment.
- 4 In het NHI is de ruimtelijke verdeling van de neerslag gebaseerd op de gemeten neerslag bij de hoofdstations, die met een Thiessennetwerk wordt toegekend aan de rekencellen. Vervolgens wordt per rekencel gecorrigeerd voor de ruimtelijke verdeling volgens de *jaarnormalen* van het neerslagnetwerk. Deze procedure is voor het analyseren van tendensen in het gemiddelde gedrag over lange perioden mogelijk aanvaardbaar, maar zeker niet voor het analyseren van extremen en analyse van afzonderlijke jaren.
- 5 De ruimtelijke verdeling is veel grilliger dan op basis van de gekozen meteorologische stations kan worden bepaald.
- 6 De neerslag op de meteorologische stations die voor het NHI worden gebruikt geven meestal lagere neerslagwaarden dan de neerslagstations op dezelfde plaatsen, beiden bronnen van het KNMI. Voor Zuiderzeeland zijn in het NHI de jaarneerslagsommen van 2003 ongeveer gelijk aan de beste schattingen op basis van alle neerslagstations, en die van 2006 zijn 11 tot 15% lager.
- 7 De metingen van het KNMI worden niet gecorrigeerd voor windinvloeden. Windcorrecties afgeleid uit het Hupselde Beek onderzoek in de jaren zeventig leiden tot 7% hogere jaarneerslagsommen op de meteorologische stations (4 dm² regenmeters) en tot 4% hogere totalen op de standaard neerslagstations (2 dm² regenmeters). Dit verschil in benodigde correctie verklaart een deel van de onderschatting van de neerslag in het NHI.

Verdamping

- 8 De variatie in de referentieverdamping naar plaats is zeer beperkt en veel geringer dan de ruimtelijke variatie in de neerslag.
- 9 De referentieverdampingsommen voor Zuiderzeeland waren vooral in 2003 maar ook in 2006 hoger dan gemiddeld.

- 10 Het potentiële neerslagtekort is in een gemiddeld jaar het hoogst aan het einde van het groeiseizoen. Voor extremere jaren verschuift dat maximum naar juli.
- 11 De jaar- en seizoenssom van de referentieverdamping vertoont een opwaartse trend van ongeveer 2,5 mm/jaar. De jaarneerslagsom vertoont weliswaar ook een opwaartse trend, maar die van het groeiseizoen niet (op basis van alle beschikbare neerslagstations in en rond de Noordoostpolder). Dit houdt in, dat het potentiële neerslagtekort met ongeveer 2,5 mm/jaar toeneemt.
- 12 De berekende actuele evapotranspiratie voor Zuiderzeeland is ongeveer 20% lager dan de referentieverdamping. Door het ontbreken van de invoergrootheden in de verdampingsberekeningen (gewasfactoren) is een goede analyse van de verdampingscomponenten niet mogelijk.
- 13 Er zijn geen gemeten actuele verdampingcijfers beschikbaar voor 2003 en 2006 voor Zuiderzeeland.

Water aanvoer en afvoer

- 14 De wateraanvoer naar de Noordoostpolder wordt in het NHI aanmerkelijk overschat. In het model verloopt de aanvoer vrijwel volgens een vast patroon van maximale capaciteit gedurende het groeiseizoen.
- 15 De dynamiek van het afvoerverloop van de Noordoostpolder wordt door het model redelijk gereproduceerd. De jaarvolumes worden 10 tot 20% te laag berekend. Het resultaat kan aanmerkelijk verbeterd worden indien de neerslag en de aanvoer worden aangepast.
- 16 De wateraanvoer naar ZO Flevoland wordt in het NHI zoals voor de Noordoostpolder sterk overschat. Ook hier wordt een vast verloop opgedrukt, maar inlaten bij de schutsluizen en via awzi's worden niet in beschouwing genomen.
- 17 De dynamiek van het afvoerverloop van ZO Flevoland wordt door het model goed gereproduceerd. De jaarvolumes worden echter ongeveer 30% te laag berekend. Hieraan is niet alleen de onderschatting van de neerslag debet. Mogelijk spelen ook onderschatting van de kwel en/of overschatting van de verdamping ook een rol.

Grondwater

- 18 De kwaliteit van de simulatie van het grondwaterstandverloop in het NHI is beoordeeld op reproductie van de dynamiek, het uitputtingsverloop en de range. De grondwaterstandreeksen voor vooral 2006 zijn zeer geschikt voor validatie van het model door de opeenvolging van droge en natte periodes. Een goede reproductie hiervan stelt hoge eisen aan het model.
- 19 Op basis van bovengenoemde criteria zijn de berekeningsresultaten voor de peilbuizen in de Noordoostpolder onvoldoende: slechts op 1 van de 4 geselecteerde locaties is een redelijk bevredigend resultaat behaald.
- 20 Het gemeten grondwaterverloop bij de Kadoelersluis vertoont voor 2006 een opmerkelijk verloop, tegengesteld aan het verloop in de overige peilbuizen.
- 21 Ook voor ZO Flevoland zijn de grondwaterresultaten van het NHI onbevredigend. Hier scoorden 2 van de 10 geselecteerde peilbuizen goed en 2 kunnen als redelijk worden gekwalificeerd.
- 22 De validatie van het NHI m.b.t. het grondwater wordt ernstig bemoeilijkt door de aanwezigheid van een storing in het berekende resultaat op 11 september 2006 aangeduid als de 9/11 hik. Voor een zinvol vervolg dient deze storing eerst te worden ge-ëlimineerd.

Chlorideconcentraties

- 23 De chlorideconcentraties in het DM worden voor de Noordoostpolder onderschat. Voor ZO Flevoland geeft het DM een redelijke schatting van de gebiedsgemiddelde chlorideconcentratie.
- 24 Het aggregatieniveau van de berekende zoutconcentratie in het DM is te groot om als trigger te fungeren voor waterinlaat t.b.v. zoutbestrijding.

Eindconclusie

Het NHI in zijn huidige staat is nog niet geschikt voor het uitvoeren van betrouwbare analyses van de waterverdeling op regionaal niveau. De neerslagrandvoorwaarden zijn hiervoor te grof en een betrouwbare schatting van de watervraag en correcte simulatie van het grondwaterstandverloop wordt nog lang niet overal gerealiseerd. Om een beter resultaat te bereiken is eliminatie van de grondwaterbug nodig, dienen de gegevens van alle neerslagstations in beschouwing te worden genomen en is lokale ijking van het model gewenst. Op eenvoudige wijze is het resultaat voor het oppervlaktewater aanmerkelijk te verbeteren.

6.2 Aanbevelingen

De conclusies leiden tot de volgende aanbevelingen.

- Aanpassing in het NHI van de neerslagrandvoorwaarde door gebruik te maken van alle neerslagstations in Nederland (wordt aan gewerkt).
- Overleg met het KNMI of en zo ja welke windcorrectie op de neerslagmetingen moet worden ingevoerd.
- Herformulering van de waterinlaat naar de Noordoostpolder en ZO Flevoland. Dit behoeft overleg tussen Zuiderzeeland, Rijkswaterstaat en Deltares, waarbij ook de inlaten voor beregening en doorspoeling zoals genoemd in het RWS/Haskoning rapport van november 2009: "Waterverdeling Noord Nederland, advies van de werkgroep uitwerking verdringingsreeks Noord Nederland" aan de orde dienen te komen.
- In acht name van waterinlaat via de schutsluizen en awzi's naar ZO Flevoland.
- Mogelijke trend in het potentiële neerslagtekort dient ook voor andere locaties onderzocht te worden.
- Voor inzicht in de grootte van de verdamping is het zinvol de bijdrage van de afzonderlijke componenten in kaart te brengen, potentieel en actueel. Hiervoor dient de NHI-uitvoer ook inzicht te verschaffen in de toegepaste gewasfactoren en aangenomen landgebruik.
- De 9/11 bug dient uit het NHI te worden ge-ëlimineerd voordat een vervolg wordt gegeven aan de validatie (wordt aan gewerkt).
- De analyse van het resultaat met het NHI voor grondwater toont aan dat het grondwatermodel lokaal geijkt dient te worden. Het volstaat kennelijk niet om op basis van bodemgegevens het grondwaterverloop goed te beschrijven.
- Er dient een nadere analyse te komen van de optredende kwel in de polders in de praktijk en in het model.
- Het grondwaterverloop bij Kadoelersluis dient nader onderzocht te worden om de oorzaak van het tegengestelde verloop te verklaren.
- De gebruiksvriendelijkheid van de NHI-uitvoer t.a.v het uitlezen van de chlorideconcentraties in de districten zou verbeterd kunnen worden.

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

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 Windcorrectie neerslagmetingen

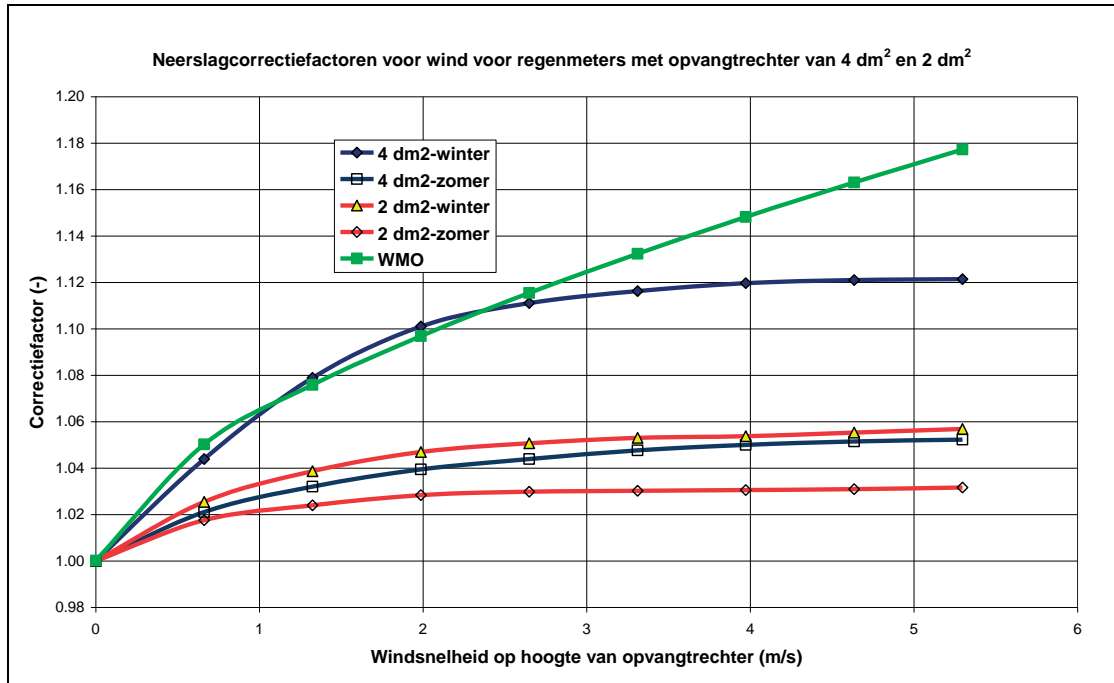
Bij metingen met regenmeters worden fouten geïntroduceerd van verschillende aard en grootte. De belangrijkste onzuiverheid wordt geïntroduceerd door windinvloeden (Sevruk, 1982,1989). De regenmeter verstoort het windveld zodanig dat niet alle regen in het ongestoorde windveld boven de opvangtrechter 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. Førlund 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 A.1 en Tabel A.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 A.1 weergegeven in formulevorm voor de 4 dm^2 en de 2 dm^2 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 A.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 A.1 Windcorrectie op neerslagmetingen

Tabel A.1 Modellen voor windcorrectie op neerslagmetingen

Opvangtrechter opening (dm ²)	seizoen	Logistic model: $y=a/(1+b*\exp(-c.u))$	
		Coefficiënten:	
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: $y=100\exp(a + b.u^c)$	
		Coefficiënten:	
		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 de stations Leystad en Marknesse voor 2003 en 2006 zijn weergegeven in Tabel A.2. De WMO procedure leidt

op jaarbasis tot een correctie van 10%, de jaarsommen gemeten met de 4 dm² regenmeter moeten met 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% 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 A.2 Windcorrectie op neerslagmetingen in Zuiderzeeland in 2003 en 2006

Jaar	Type	Lelystad- 269	Marknesse- 273	Gemiddelde correctie
Neerslag, gemeten en met windcorrectie in mm				
2003	Meting	619	754	
	WMO-corr	677	830	
	4dm ² -corr	659	805	
	2dm ² -corr	640	782	
2006	Meting	765	669	
	WMO-corr	840	739	
	4dm ² -corr	814	717	
	2dm ² -corr	792	695	
Grootte van correctie in %				
2003	WMO	9.4	10.2	10
	4dm ²	6.5	6.8	7
	2dm ²	3.4	3.7	4
2006	WMO	9.8	10.4	10
	4dm ²	6.4	7.2	7
	2dm ²	3.5	3.8	4

Literatuur

- Chvila, B, B. Sevruk 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. Rissanan, 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. Sevruk (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.