

VALIDATIE NHI

WATERSCHAP

PEEL EN MAASVALLEI



RAPPORT

2011
w02

BIJLAGE F

VALIDATIE NHI WATERSCHAP PEEL EN MAASVALLEI

RAPPORT

2011
W02



Validatie NHI voor Waterschap Peel en Maasvallei

Jaren 2003 en 2006

HJM Ogink

Opdrachtgever:
Stowa

Validatie NHI voor Waterschap Peel en Maasvallei

Jaren 2003 en 2006

HJM Ogink

Rapport

december 2010

Inhoud

1	InleidingFout! Bladwijzer niet gedefinieerd.	
1.1	Aanleiding validatie NHI	3
1.2	Aanpak.....	4
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	Verdampingsberekening in NHI.....	10
2.4	Referentie en actuele verdamping	11
3	Oppervlaktewater	14
3.1	Schematisatie van waterschap Peel en Maasvallei in NHI	14
3.2	Aangeleverde reeksen.....	15
3.3	Vergelijking van afvoeren	17
3.4	Overzicht.....	20
4	Grondwaterstanden	21
4.1	Inleiding.....	21
4.2	Vergelijking van gemeten en berekende grondwaterstanden.....	21
4.3	Samenvatting	31
5	Conclusies en aanbevelingen	33
5.1	Conclusies	33
5.2	Aanbevelingen	34
6	Literatuur	35

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 – 30 september), 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.

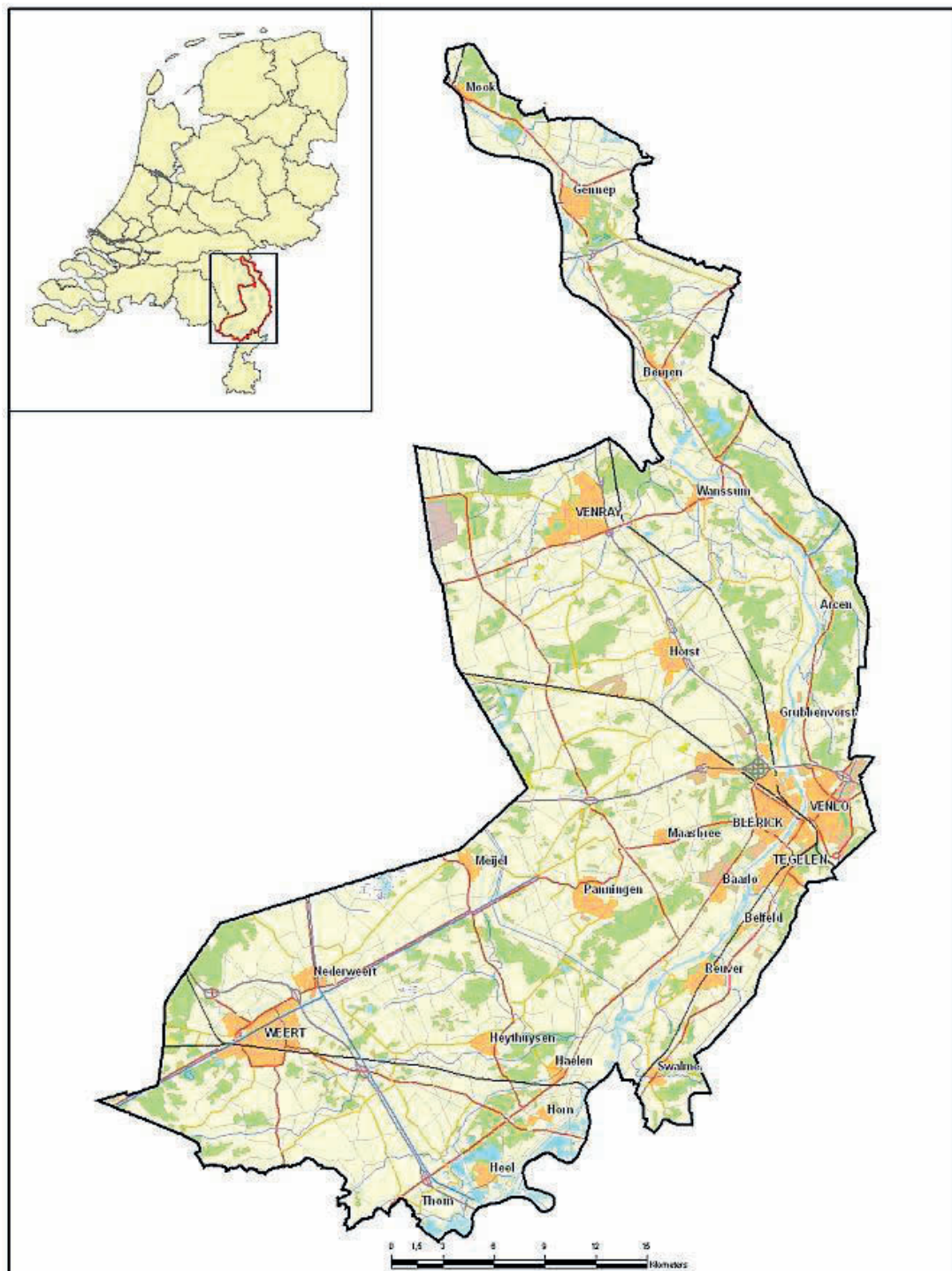
1.2 Aanpak

Het waterschap Peel en Maasvallei (HD) omvat het noorden en het midden van de provincie Limburg benedenstrooms van Maasbracht, exclusief de Roer. Het beslaat de gemeenten Beesel, Bergen, Gennep, Horst aan de Maas, Leudal, Maasgouw, Mook en Middelaar, Nederweert, Peel en Maas, Roermond, Venlo Venray en Weert, zie Figuur 1.1. De oppervlakte bedraagt totaal 130.000 ha. De validatie van het NHI voor het beheergebied is uitgevoerd op de reproductie van de inlaat en afvoer van oppervlaktewater, en van grondwaterstanden op door het waterschap geselecteerde locaties. De NHI validaties van de neerslag in het model voor noord, oost, midden en west Nederland hebben tot duidelijke aanbevelingen geleid voor verbeteringen voor geheel Nederland. Deze verbeteringen zijn inmiddels in uitvoering. Daarom wordt de neerslaganalyse voor de overige waterschappen waaronder Peel en Maasvallei achterwege gelaten totdat de verbeteringen zijn ingevoerd. De bevindingen elders worden wel vermeld. Validatie van de verdamping is ook achterwege gelaten omdat geen metingen van de actuele verdamping in het beheersgebied voor 2003 en 2006 voorhanden zijn.

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. Voorts komen in dit hoofdstuk de bevindingen en de aanbevelingen op basis van eerdere analyses aan de orde. 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.



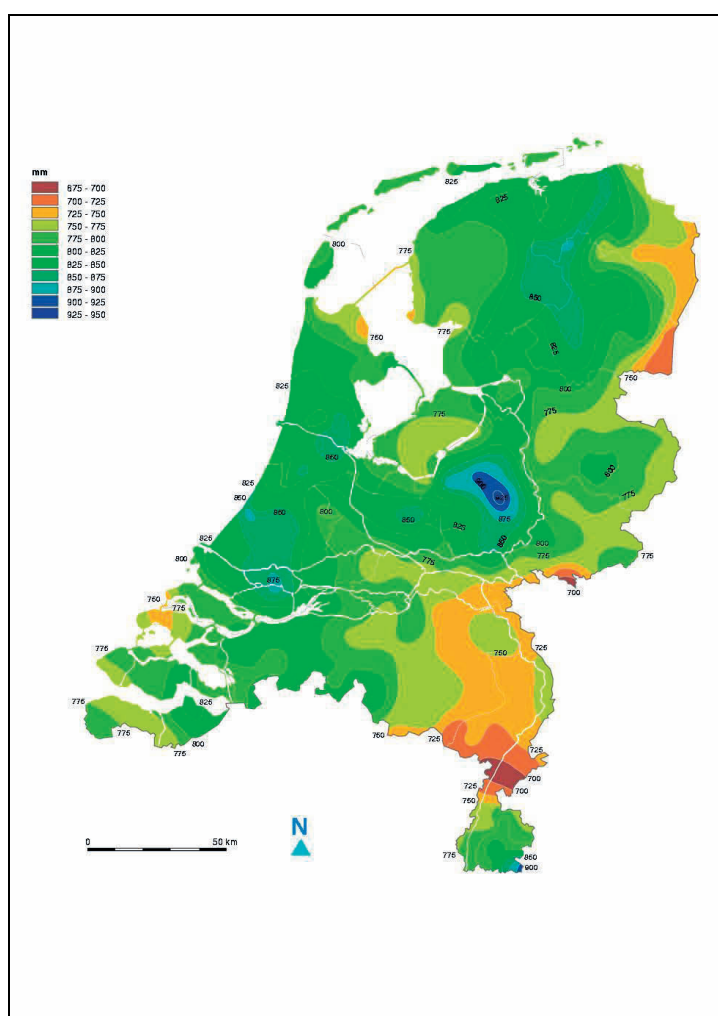
Figuur 1.1 Beheergebied Peel en Maasvallei (bron: waterschap Peel en Maasvallei)

2 Neerslag en verdamping

2.1 Neerslag in 2003 en 2006 vergeleken met de normalen

De gemiddelde jaarlijkse neerslag in Nederland in de periode 1971-2000 (periode voor de bepaling van de huidige normalen), op basis van de neerslagstations uitgerust met een standaard regenmeter, bedroeg 797 mm, met een ruimtelijke standaardafwijking van 41 mm.

De normaal voor het beheergebied van de Peel en Maasvallei ligt met 727 mm aanzienlijk onder het landelijke gemiddelde. Vooral het zuidelijk deel van het beheergebied behoort tot de gebieden met gemiddeld de laagste neerslag in Nederland, zie Figuur 2.1 en Figuur 2.2.

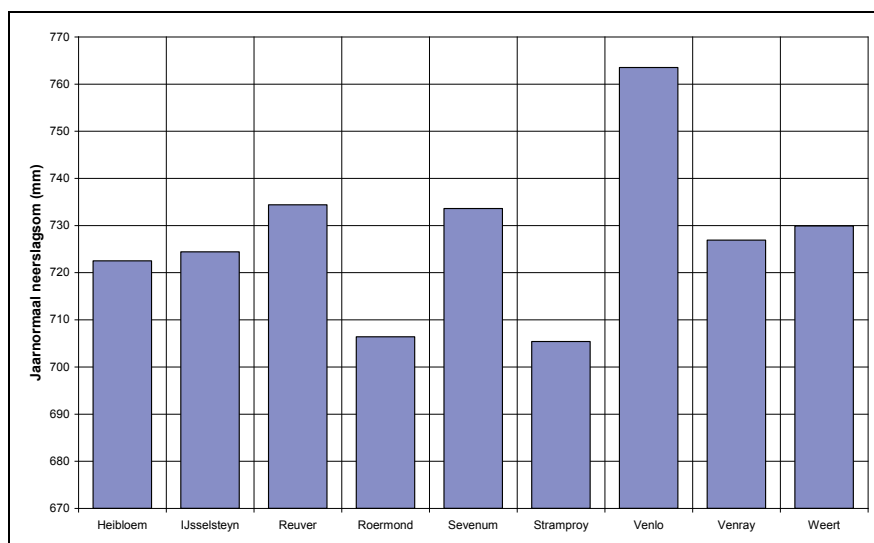
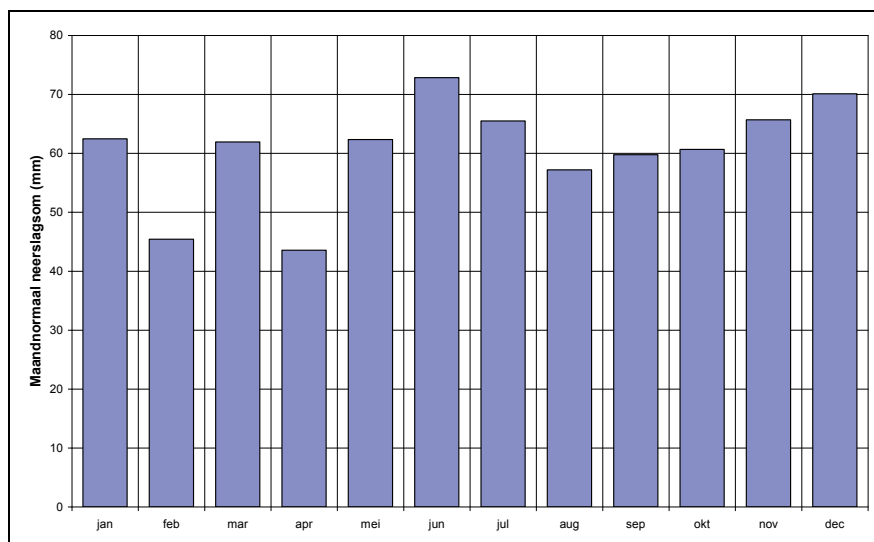


Figuur 2.1 Gemiddelde jaarneerslag periode 1971-2000 (bron: KNMI)

De maandnormalen voor het waterschap zijn weergegeven in Figuur 2.2. Totaal 50% (361 mm) van de neerslag valt gemiddeld genomen in het groeiseizoen (1 april – 30 september). De maanden met de minste neerslag zijn normaal februari en april, terwijl de hoogste waarden optreden in de maanden juni-juli en in het najaar.

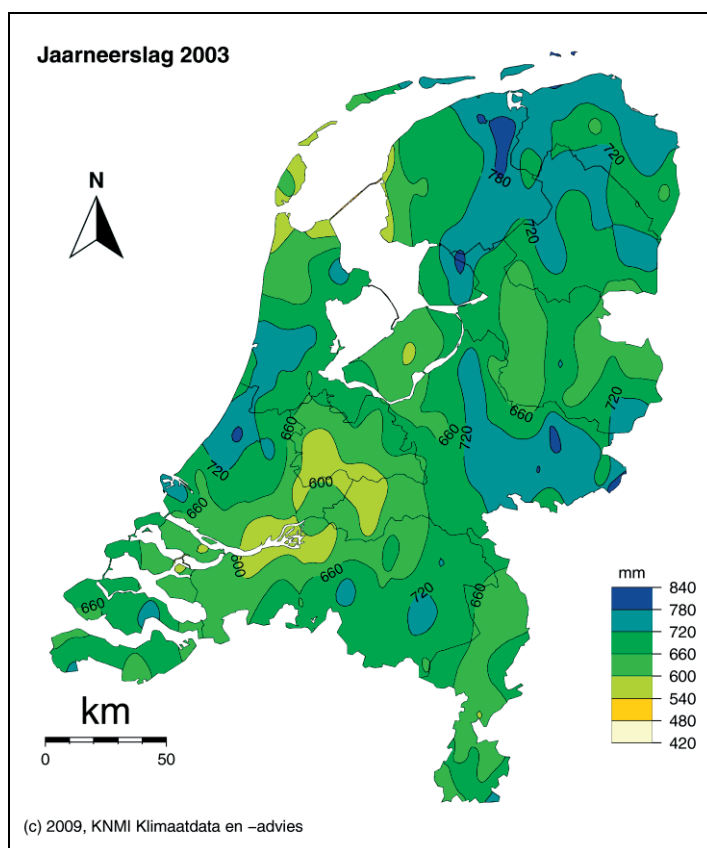
Tabel 2.1 Jaar- en seizoenneerslagsommen in mm in het waterschap Peel en Maasvallei

	Jaar	Jaar- normaal	Groeiseizoen	Seizoen - normaal
Normaal	727	-	361	-
2003	658	-69	320	-41
2006	730	2	368	6

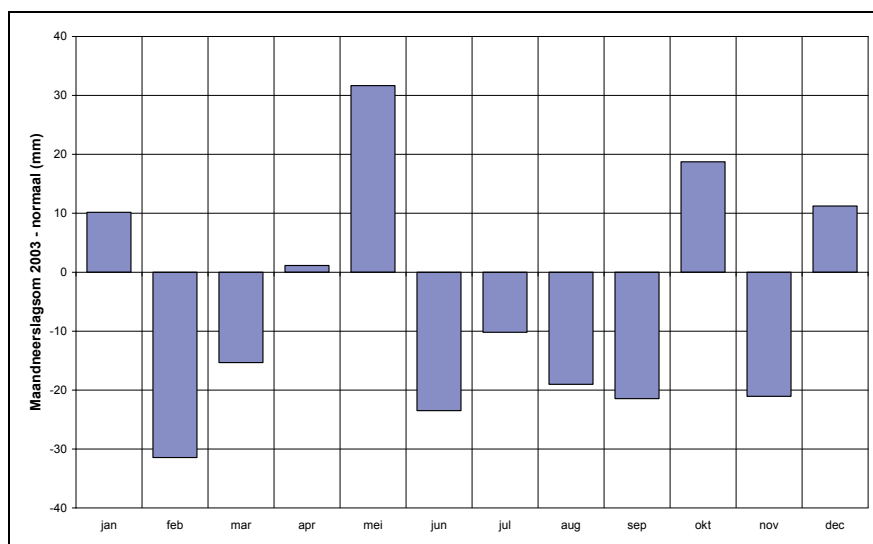


Figuur 2.2 Maandneerslag- en jaarnormalen voor waterschap Peel en Maasvallei

De verdeling van de jaarneerslagsom in 2003 is weergegeven in Figuur 2.3. Voor de Peel en Maasvallei was de neerslag het hoogst in het zuidwesten en zuidoosten en lager langs de as van het waterschap. In 2003 was de jaar- en seizoenneerslagsom in het waterschap respectievelijk 69 en 41 mm lager dan normaal. De afwijking van de maandsommen van de normalen is weergegeven in Figuur 2.4. Met uitzondering van de maand mei waren de neerslagsommen in de overige maanden in het groeiseizoen gelijk aan of lager dan de normaal. Dit heeft er toe geleid dat het potentiële neerslagtekort aan het einde van het groeiseizoen aanmerkelijk groter is geweest dan in een gemiddeld jaar, ook al omdat de referentie verdamping in 2003 hoger was dan gemiddeld.



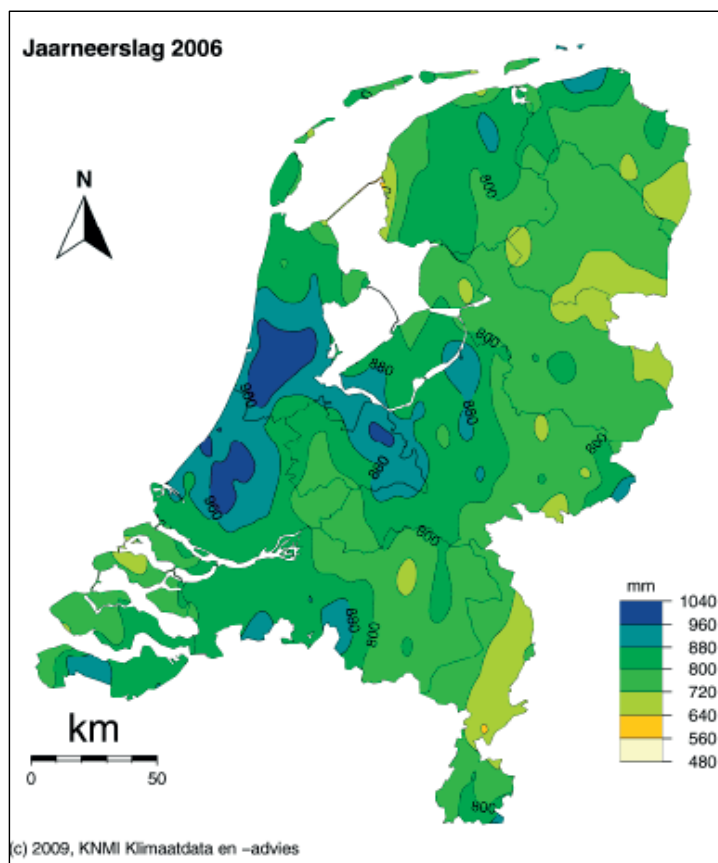
Figuur 2.3 Jaarneerslag in 2003 gebaseerd op KNMI-neerslagstations (bron: KNMI)



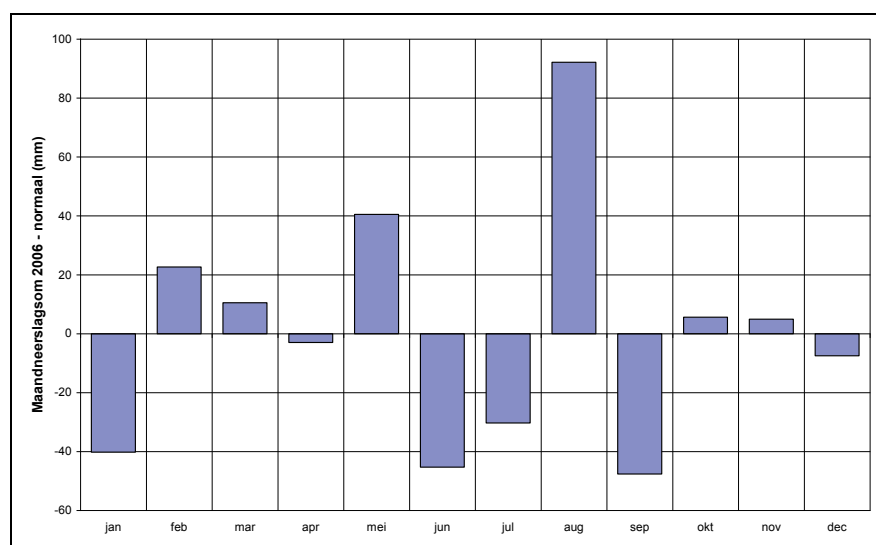
Figuur 2.4 Afwijking van de maandneerslagsommen van 2003 van de maandnormalen voor waterschap Peel en Maasvallei

De isohyeten van de jaarneerslag voor 2006 zijn weergegeven in Figuur 2.5. Nu treden de hoogste waarden op in het westen van het beheergebied van de Peel en Maasvallei. De jaarneerslagsom voor 2006 bedroeg in de Peel en Maasvallei 730 mm, 2 mm meer dan normaal. In het groeiseizoen was de neerslagsom 368 mm, 6 mm hoger dan normaal. De afwijking van de maandneerslag in 2006 van de normalen is gepresenteerd in Figuur 2.6. Opvallend is dat de maanden juni en juli droger waren dan gemiddeld en augustus veel natter. De verdamping was in 2006 hoger dan normaal.

Samen met de droge maanden juni en juli heeft dit ervoor gezorgd dat het potentiële neerslagtekort eind juli veel groter is geweest dan gemiddeld. Omdat het tekort in 2006 zich in het midden van het groeiseizoen heeft voorgedaan zijn bij onvoldoende waterbeschikbaarheid de consequenties voor de landbouw potentieel ernstiger geweest dan in jaren met het maximum tekort aan het einde van het groeiseizoen. Door de zeer natte maand augustus in dat jaar is het neerslagtekort goeddeels tenietgedaan, om vervolgens weer te groeien door de droogte in september.



Figuur 2.5 Jaarneerslag in 2006 gebaseerd op KNMI-neerslagstations (bron: KNMI)



Figuur 2.6 Afwijking van de maandneerslagsommen van 2006 van de maandnormalen voor waterschap Peel en Maasvallei

Door deze opeenvolging van natte en droge perioden is het jaar 2006 uitermate geschikt voor validatie van het NHI. De watervraag in dat jaar is groot en variabel geweest, met veel dynamiek in de wateraanvoer. Ook de grondwaterstanden hebben sterk gefluctueerd, waarbij vooral de juiste reproductie in het model van de timing en de grootte van de respons van het freatisch grondwater op de neerslag in augustus na de uitputting gedurende de droge maanden juni en juli interessant is.

2.2 Berekeningsprocedure model neerslag

De procedure die in de huidige NHI versie gebruikt is voor de bepaling van de ruimtelijke verdeling van de neerslag is gebaseerd op de gemeten neerslag bij de hoofdstations. Deze neerslag wordt met een Thiessennetwerk 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). Dit houdt in dat voor een beheergebied slechts één of enkele meteorologische stations de waarden bepalen. 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. Aangetoond kan worden dat deze procedure in afzonderlijke maanden tot aanzienlijke afwijkingen van de neerslag kan leiden, ook al zouden de jaarsommen gelijk zijn. In de volgende NHI-versie worden de metingen van alle neerslag en meteorologische stations in beschouwing genomen, terwijl de ruimtelijke verdeling verder wordt verbeterd door ook de puntmetingen te combineren met radarwaarnemingen.

Voorts is gebleken dat op de meteorologische stations met een 4 dm² regenmeter gemiddeld genomen minder neerslag wordt gemeten dan op de neerslagstations waar met een standaard regenmeter, die een 2 dm² grote opvangtrechter heeft, wordt gewerkt. 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 basis van onderzoek in het Hupselse Beekgebied (Warmerdam, 1982) zijn de afwijkingen in de metingen op de meteorologische stations orde 7 tot 8 % op jaarbasis te verwachten en op de neerslagstations van orde 4% (Ogink, 2010). Aan de onzuiverheid in de neerslaggegevens dient men in het vervolg van de modelontwikkeling aandacht te geven.

2.3 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 rekentijdstap 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 interceptiewater-verdamping binnen een tijdstap aan. Die duur wordt in mindering gebracht op de gewastranspiratie en de bodemverdamping.

Vervolgens wordt de potentiële bodemverdamping E_p bepaald op basis van de potentiële verdamping van een natte, kale grond E_{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.

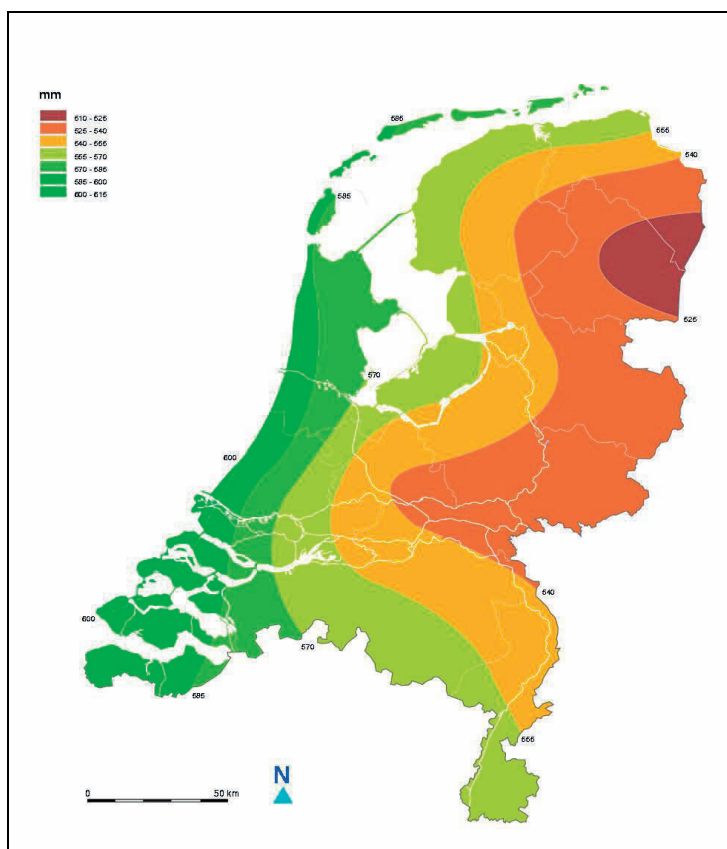
2.4 Referentie en actuele verdamping

De ruimtelijke verdeling van de gemiddelde jaarlijkse referentieverdamping volgens Makkink is weergegeven in Figuur 2.7. De lijnen van gelijke referentieverdamping lopen parallel aan de kust afnemend van 600 mm in het westen tot 520 mm langs de oostgrens. De verdamping is gemiddeld genomen maximaal in de maanden juni en juli met een referentieverdamping van 3,0 - 3,5 mm/dag. Als voorbeeld is de verdamping van Zuiderzeeland getoond in Figuur 2.8. Deze figuur is zeer representatief voor het gemiddelde verloop van de referentieverdamping in Nederland zonder veel variatie van plaats naar plaats, afgezien van de eerder genoemde oost west trend. Van jaar tot jaar kunnen de waarden wel verschillen met 5 à 10%.

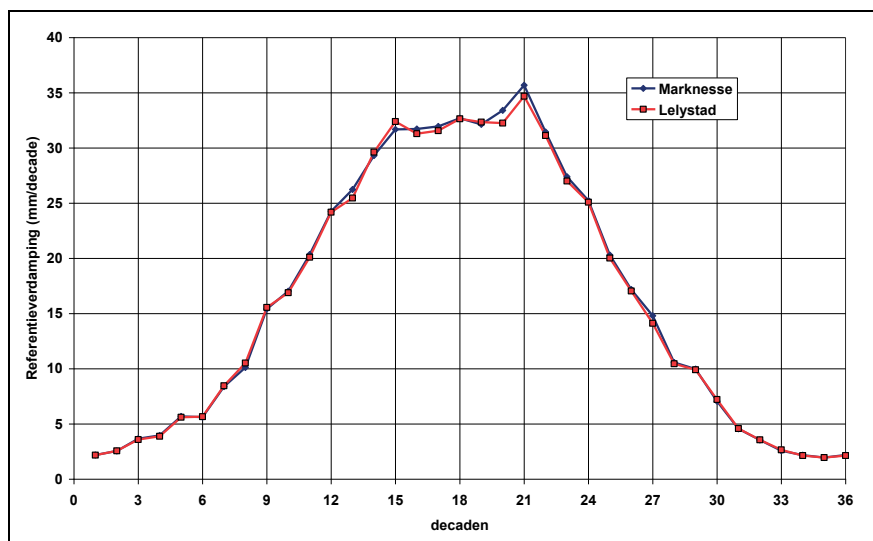
Analyse van de meetreeksen van neerslag en referentieverdamping die in het kader van de NHI validatie voor de Noordoostpolder zijn uitgevoerd, hebben aangetoond dat in de tijd:

- 1 de neerslagsom in het groeiseizoen geen trend vertoont;
- 2 de referentieverdamping in het groeiseizoen een opwaartse trend vertoont van orde 2,5 mm/jaar.

Voorgaande houdt in, dat het potentiële neerslagtekort in de laatste decennia is toegenomen. Dit heeft gevolgen voor de benodigde wateraanvoer in het groeiseizoen. Statistische analyse van het potentiële neerslagtekort heeft voorts aangetoond dat het maximale tekort in een gemiddeld jaar aan het einde van het groeiseizoen optreedt. Dit maximum verschuift echter naar juni – juli voor de drogere jaren, d.w.z. naar het midden van het groeiseizoen, wanneer watertekorten veel grotere gevolgen hebben voor de gewasopbrengst.



Figuur 2.7 Gemiddelde jaarlijkse verdamping, periode 1971-2000 (bron: KNMI)



Figuur 2.8 Decadeverdampingnormalen van KNMI-stations in Zuiderzeeland (bron: KNMI)

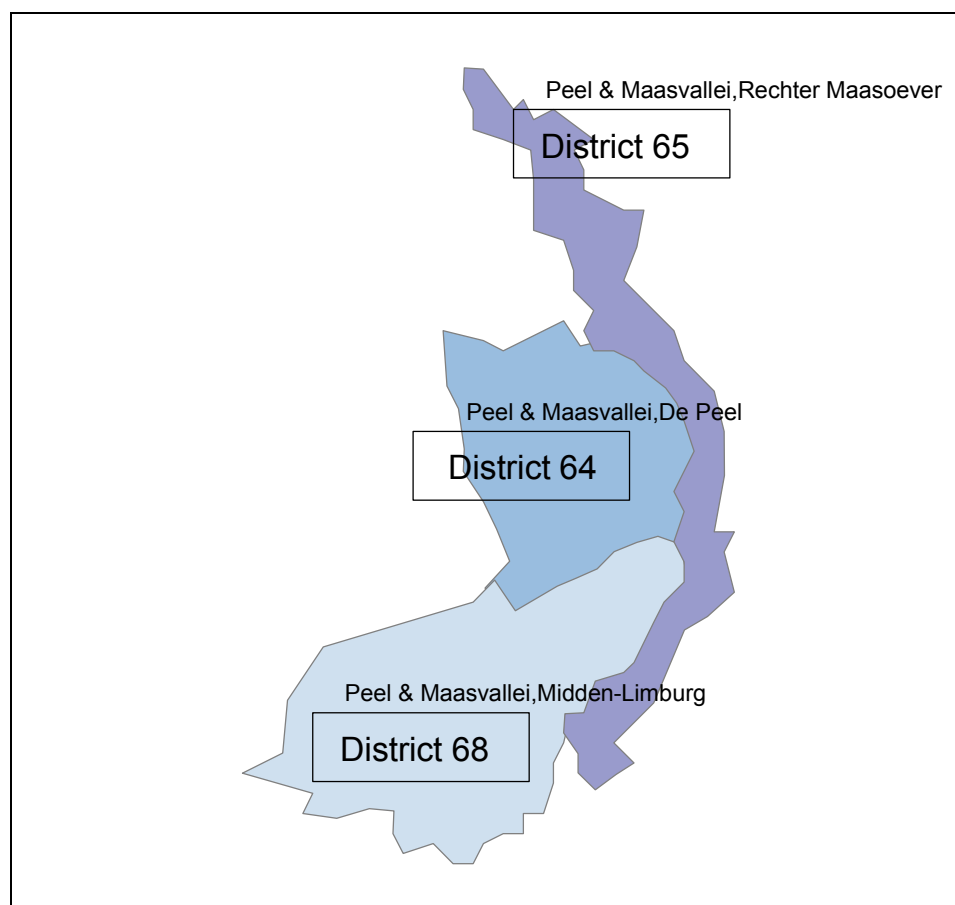
De actuele verdamping wordt in het NHI berekend volgens de procedure die in sectie 2.3 is aangegeven als functie van gehanteerde gewasfactoren (en dus landgebruik) en de vochttoestand in de bodem.

3 Oppervlaktewater

3.1 Schematisatie van waterschap Peel en Maasvallei in NHI

Het beheergebied van het waterschap Peel en Maasvallei is in het NHI geschematiseerd in 3 districten (zie Figuur 3.1):

- District 65 Peel & Maasvallei, Rechter Maasoever
- District 64 Peel & Maasvallei, De Peel, en
- District 68 Peel & Maasvallei, Midden-Limburg.



Figuur 3.1 Districtsindeling van het waterschap Peel en Maasvallei in het NHI

District 65 ligt ten oosten van de Maas. Dit district watert direct af op de Maas, gelijkelijk verdeeld over de stuwpanden Belfeld, Sambeek en Grave. Er zijn geen onttrekkingen door het district uit de omliggende wateren. Het district omvat de door het waterschap gedefinieerde stroomgebieden I (Noord-Oostelijk Maasterras) en II (Zuid-Oostelijk Maasterras). Het gebied bestaat uit benedenstroomse delen van stroomgebieden waarvan de bovenstroomse (en ook grootste) delen in Duitsland liggen. Voor het waterbeheer is het waterschap afhankelijk van Duitsland.

District 64 omvat de stroomgebieden III (Loobeeek en Oostrumsche Beek), IV (Noord-Westelijk Maasterras) en V (Groote Molenbeek). Dit district loost zijn water op de Maas, stuwpand Sambeek. Het district kent geen onttrekkingen.

District 68 bestaat uit kleinschalige watersystemen met smallere watergangen, ondiepe ontwatering en beperkte wateraanvoer. Het omvat de stroomgebieden VI (Zuid-Westelijk Maasterras), VII (Brabantse Afwateringen), VIII (Roggelse Beek), IX (Tungelroysebeek) en X (Haelensebeek). Stroomgebied VII watert af richting Brabant. De andere stroomgebieden wateren af op de Maas. In het NHI loost dit district alleen op de Maas, stuwpanden Linne (10%), stuwpand Belfeld (50%) en stuwpand Sambeek (40%). Er zijn geen onttrekkingen.

Voor een gedetailleerde beschrijving wordt verwezen naar HKV (2009): "Distributiemodel, deel D: Zuid Nederland".

Bij deze schematisatie maakt het waterschap Peel en Maasvallei de volgende kanttekeningen:

- Doorvoer van water naar het beheergebied van waterschap Aa en Maas ontbreekt in de NHI schematisatie.
- Inlaten naar de districten staan in het NHI op nul, terwijl er wel sprake is van wateraanvoer. Voorts is er aanvoer naar district 68 vanuit België.
- De begrenzingen van de aanvoergebieden zoals hiervoor zijn aangegeven dienen te worden aangepast.

3.2 Aangeleverde reeksen

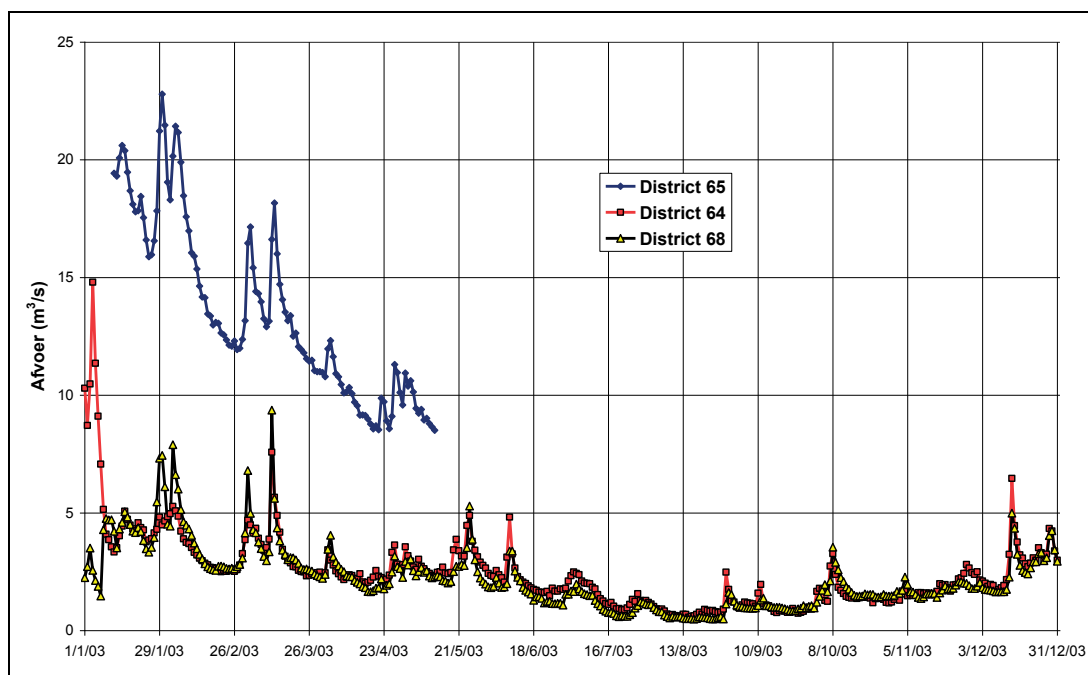
Van 21 locaties in het beheergebied zijn inlaat en afvoergegevens ontvangen voor 2003 en 2006. Met betrekking tot de afvoer van de districten is gebruik gemaakt van de volgende reeksen:

- District 65 Rechter Maasoever:
 - Kroonbeek
 - Tielebeek
 - Welse Molenbeek
 - Swalm, en
 - Niers,
- District 64 De Peel:
 - Groote Molenbeek
 - Afleidingskanaal
 - Molenbeek van Lottem
 - Oostrumsche beek, en
 - Peelkanaal.
- District 68 Midden-Limburg
 - Neerbeek
 - Everlosebeek (2x)

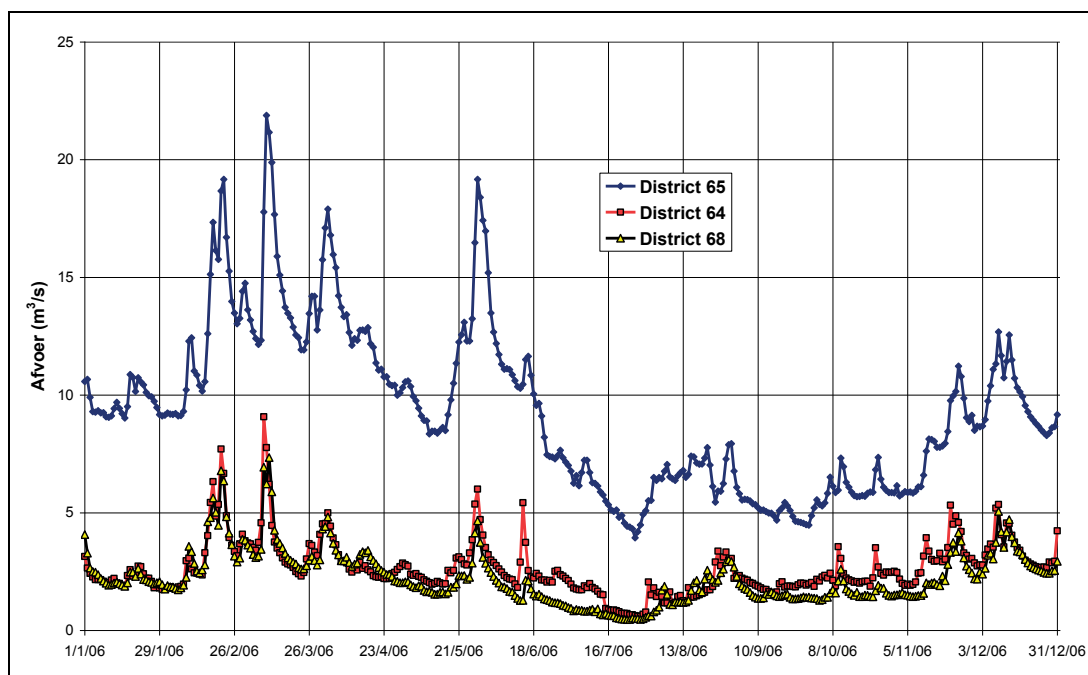
Waar zinvol en mogelijk zijn ontbrekende delen in de reeksen aangevuld op basis van relaties met naburige leidingen/beken. De geclusterde reeksen voor de districten zijn weergegeven in Figuur 3.2 en Figuur 3.3. Het is niet bekend in hoeverre de gegevens de volledige districten omvatten of in hoeverre de afvoeren voor grensoverschrijdende inlaatgegevens gecorrigeerd hadden moeten worden; de aangeleverde inlaatgegevens zijn verder niet gebruikt.

Opvallend is dat de afvoeren van de westelijk van de Maas gelegen districten 64 en 68 ongeveer gelijk zijn, terwijl het oostelijke district een veel grotere afvoer heeft, ook al omdat een deel van de stroomgebieden die afvoeren op de rechteroever van de Maas in Duitsland ligt (zoals de Swalm en de Niers) en niet in het model is opgenomen. Op

basis van een verhouding tussen de grootte van de gebieden in Duitsland en in Nederland zou men de totale afvoer kunnen herverdelen. Omdat nu hiervoor de gegevens ontbreken is deze procedure verder achterwege gelaten.



Figuur 3.2 Geclusterde aangeleverde afvoeren van leidingen in de districten van Peel en Maasvallei, 2003

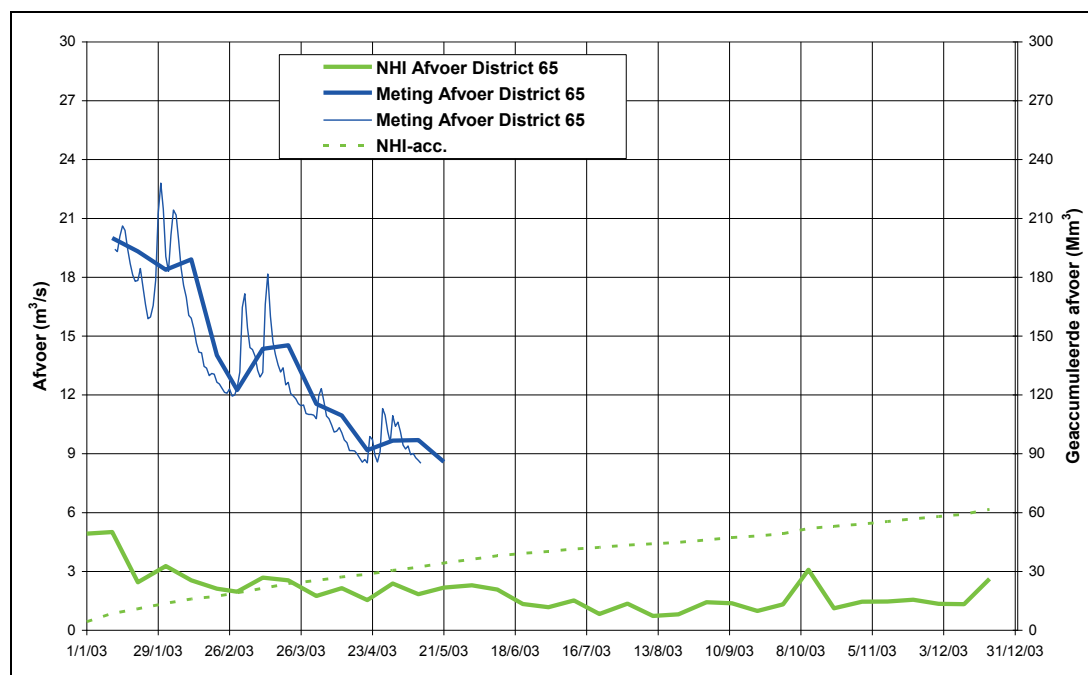


Figuur 3.3 Geclusterde aangeleverde afvoeren van leidingen in de districten van Peel en Maasvallei, 2006

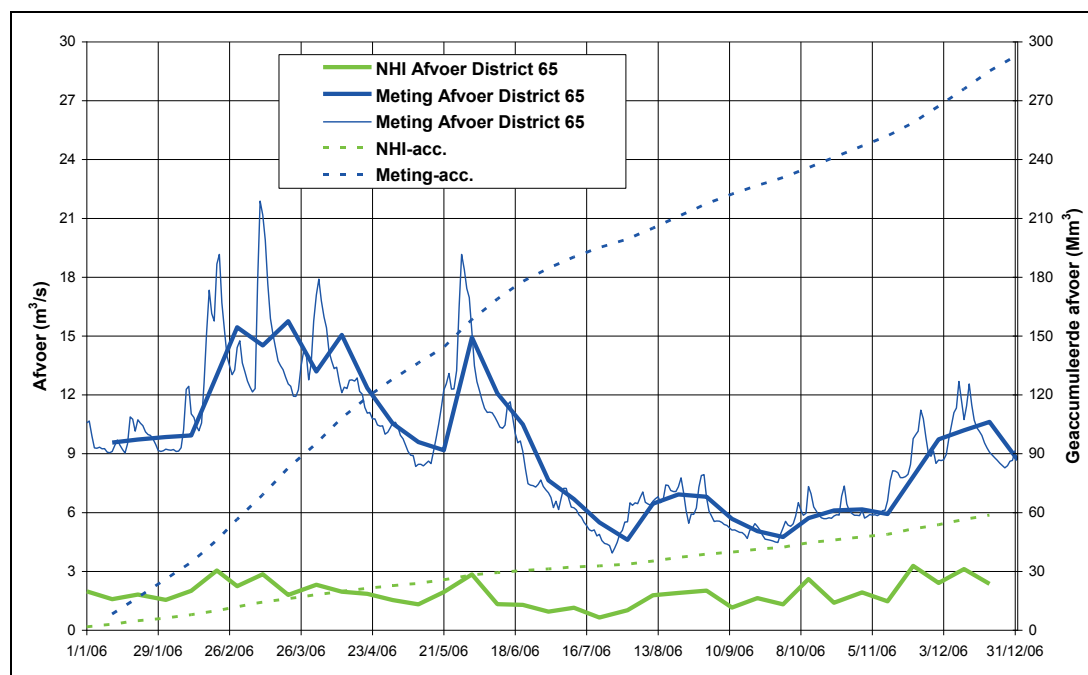
3.3 Vergelijking van afvoeren

District 65 Rechter Maasoever

De vergelijking tussen de gemeten en berekende afvoer van district 65 voor 2003 en 2006 is weergegeven in Figuur 3.4 en Figuur 3.5. De figuren geven aan dat het model de afvoer sterk onderschat. De reden is dat de gemeten afvoer ook het bovenstroomse gebied van de beekjes in Duitsland omvat. Oppervlakken en/of grensoverschrijdende afvoeren zijn nodig om hiervoor te corrigeren. Nader overleg is hierover nodig met het waterschap. De dynamiek van het afvoerloop wordt door het model acceptabel gereproduceerd.



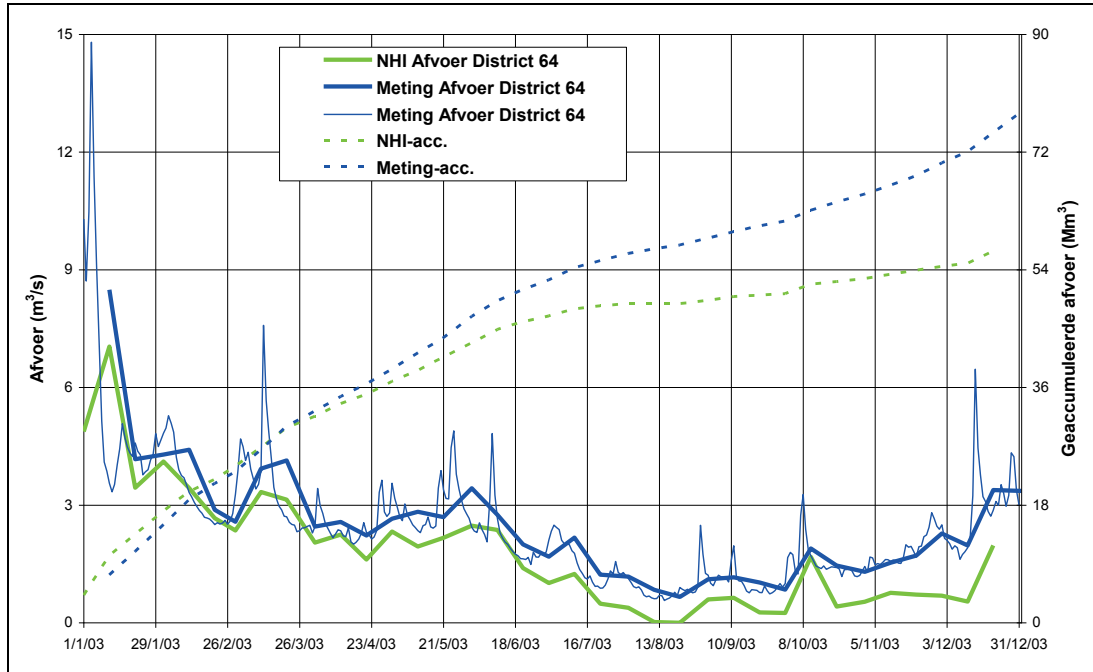
Figuur 3.4 Gemeten en berekende afvoer district 65 Rechter Maasoever, 2003



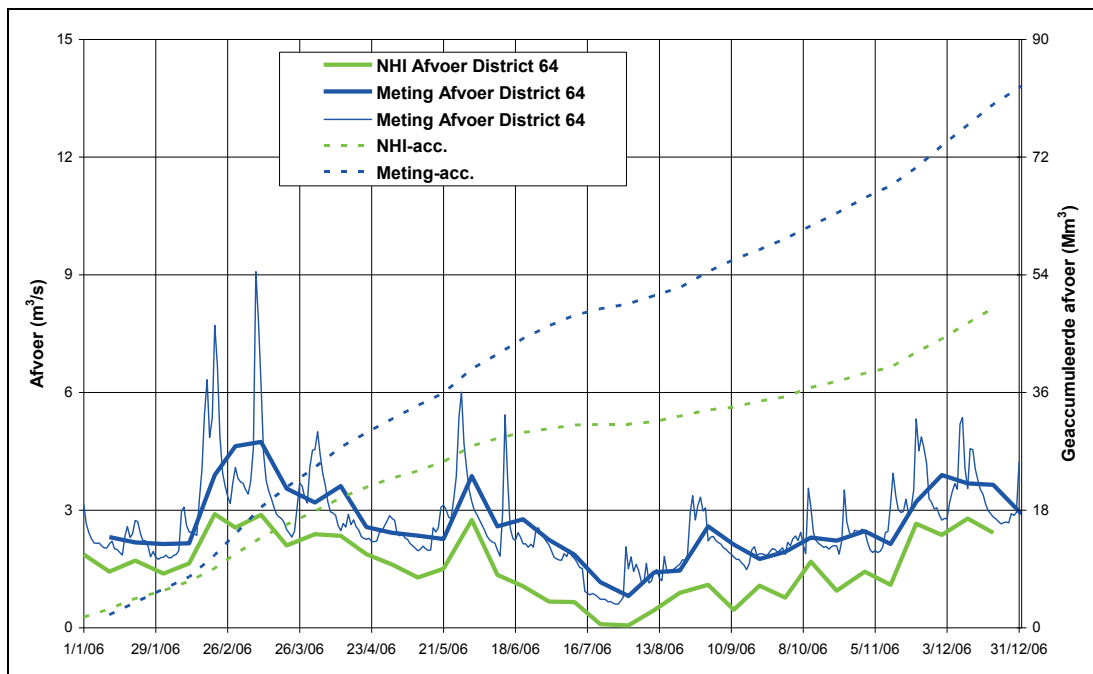
Figuur 3.5 Gemeten en berekende afvoer district 65 Rechter Maasoever, 2006

District 64 De Peel

De gemeten en berekende afvoer van district 64, De Peel is gepresenteerd in Figuur 3.6 en Figuur 3.7. De figuren geven aan dat het model de dynamiek van het afvoerverloop zeer acceptabel weergeeft, maar dat het totaal iets onderschat wordt. De simulatie dient herhaald te worden met een aangepaste randvoorwaarde voor de neerslag alvorens andere instellingen te wijzigen.



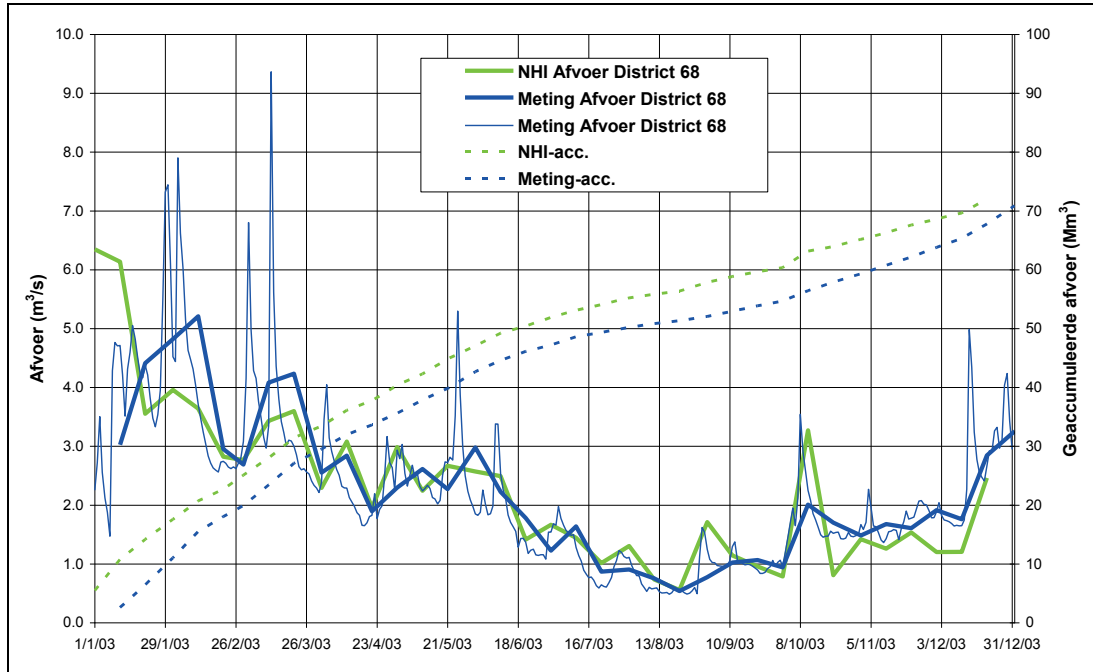
Figuur 3.6 Gemeten en berekende afvoer district 64, De Peel, 2003



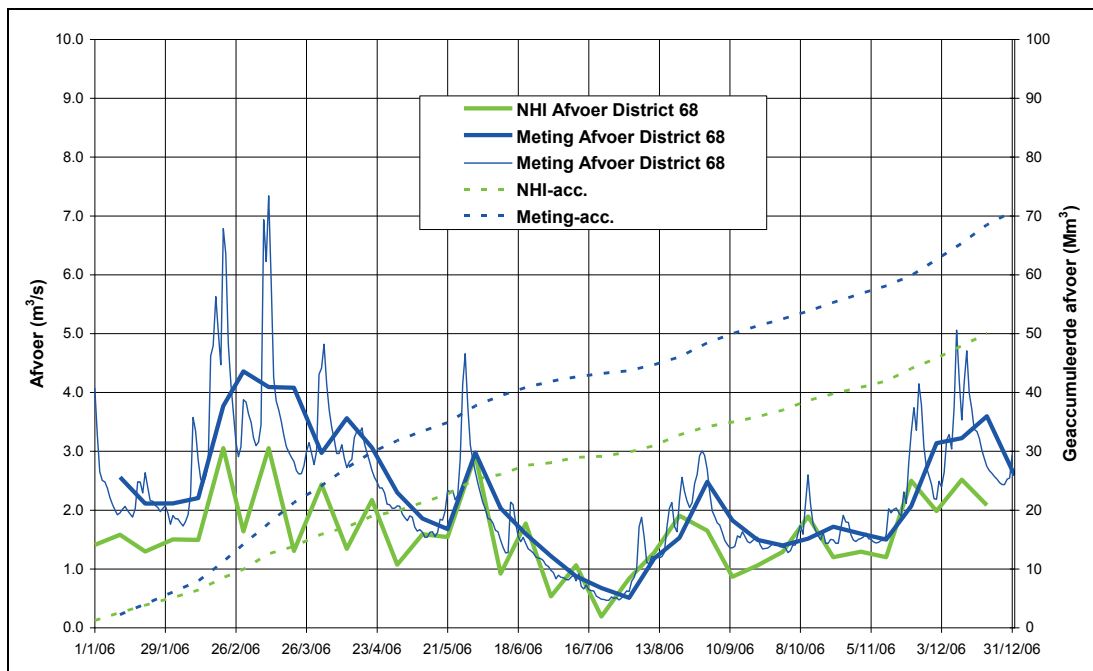
Figuur 3.7 Gemeten en berekende afvoer district 64, De Peel, 2006

District 68 Midden-Limburg

De gemeten en berekende afvoer uit district 68 voor 2003 en 2006 is weergegeven in Figuur 3.8 en Figuur 3.9. De figuren geven aan dat het model het afvoerverloop zoals ook voor district 64 zeer acceptabel reproduceert, terwijl met name voor 2003 de jaarbalans redelijk sluit. Ook hier wordt aanbevolen de test te herhalen met gecorrigeerde neerslag.



Figuur 3.8 Gemeten en berekende afvoer district 68, Midden-Limburg, 2003



Figuur 3.9 Gemeten en berekende afvoer district 68, Midden-Limburg, 2006

3.4 Overzicht

De resultaten voor het oppervlaktewater in het beheergebied van het waterschap de Peel en Maasvallei zijn samengevat in Tabel 3.1. De resultaten tonen aan dat zowel voor 2003 als voor 2006 de verschillen tussen meting en model nog te groot zijn om het model in deze fase van ontwikkeling al in te kunnen zetten voor een betrouwbare simulatie van de waterverdeling op regionale schaal. Hierbij dient een kanttekening te worden gemaakt t.a.v. district 65, waarbij in de hier gepresenteerde vergelijking geen correctie is gemaakt voor de aanvoer vanuit Duitsland. Voor dit beheergebied onderschat het model in het algemeen de afvoer. Verwacht wordt dat met een aangepaste neerslag het modelresultaat significant zal verbeteren. Analyses die zijn uitgevoerd voor de andere waterschappen in Nederland hebben aangetoond dat het model met een te lage neerslagrandvoorwaarde heeft gewerkt. Met een correcte neerslag zal het model meer afvoer genereren. De analyses hebben aangetoond dat het model de dynamiek acceptabel weergeeft.

Tabel 3.1 *Vergelijking tussen gemeten en berekende afvoeren (Mm³) in het waterschap Peel en Maasvallei in 2003 en 2006*

		District	NHI	Meting	Meting - NHI	Meting - NHI (%)
2003	Afvoer	65	61.6	165.8	104.2	63
	Afvoer	64	56.9	78.2	21.3	27
	Afvoer	68	72.0	70.9	-1.1	-2
2006	Afvoer	65	58.7	293.4	234.7	80
	Afvoer	64	48.9	82.8	33.9	41
	Afvoer	68	49.9	70.9	21.0	30

4 Grondwaterstanden

4.1 Inleiding

De grondwaterstanden in het NHI zijn de waarden van de 250 x 250 m roostercel waarin de waarnemingsbuis is gelegen. Door de ruimtelijke middeling in het model is een exacte vergelijking van de hoogte t.o.v. NAP niet zinvol. Daarom is vooral gekeken naar de optredende grondwater fluctuaties en de reproductie hiervan in het model (dynamiek), het uitputtingsverloop en de maximale variatie over het jaar (range). Voorts is gekeken in hoeverre het model in staat is geweest om het 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 (in de figuren rood omcirkeld).

Van een tiental peilbuizen in het beheergebied van de Peel en Maasvallei zijn grondwaterstanden ontvangen, geselecteerd door het waterschap. De geselecteerde peilbuizen zijn weergegeven in Tabel 4.1. De bemonsteringsfrequentie is voor 2003 en 2006 globaal 1 x per 14 dagen. Hierdoor mist het gemeten signaal de hoogfrequente variaties in respons op regenval. Dit houdt in dat de dynamiek van het gemeten en het berekende grondwaterstandverloop soms niet vergeleken kan worden.

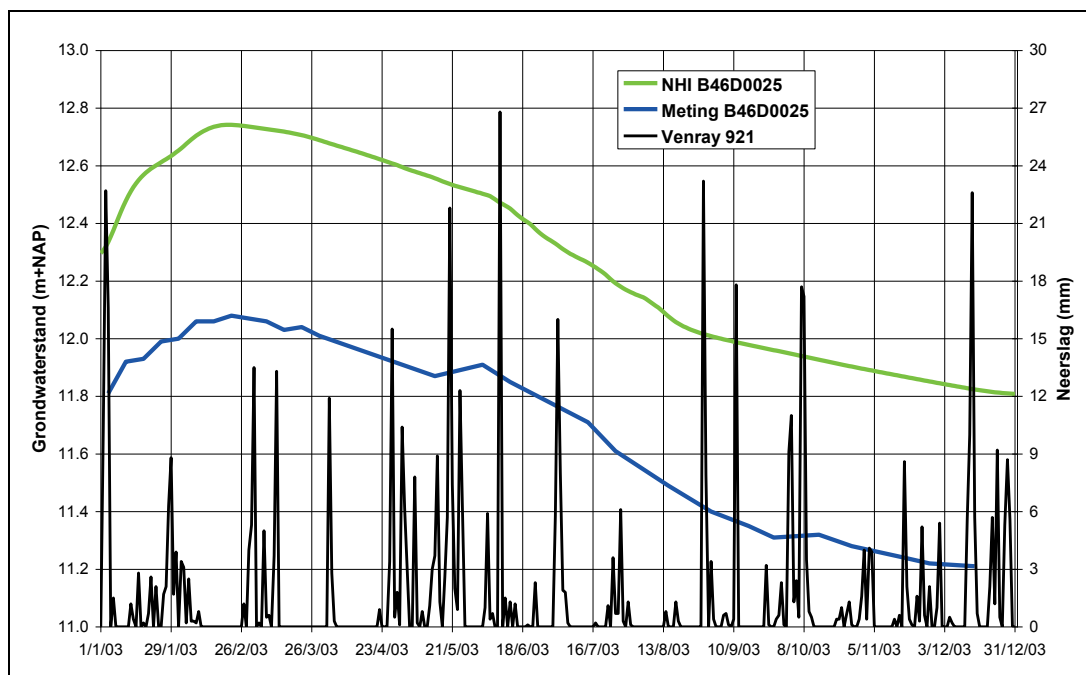
Tabel 4.1 Overzicht van peilbuizen en hun locatie in het waterschap Peel en Maasvallei

Putcode	Xcoor	Ycoor	maaiveld m NAP	Locatie	Gebiedskenmerk
B46D0025	197390	407918	13,65	Gennip-Afferden	bosgebied
B52B0450	190799	391571	28,64	zuidwesten van Venray	Meerselsche Peel
B52D0515	198410	384110	26,53	tussen America en Horst	bij Kabroekse Beek, Peel
B52E0021	205820	395350	14,10	Nationaal Park de Hamert	Wellsche Heide, langs de Maas
B52H0104	211384	383177	21,36	4 km noorden van Venlo	Heidegebied
B57F0079	175830	365080	31,34	Noordwesten Weert	bij Weerter Bosch
B58B0058	196420	374200	31,29	bij Maasbree	de Peel, heidegebied
B58B0103	193560	362920	23,40	oosten van Heythuysen	Natuurreservaat Leudal
B58C0104	186500	353580	28,71	Thorn-noord	bij Maasplassen
B58E0068	205920	369350	23,62	Belfeld	rechter Maasoever

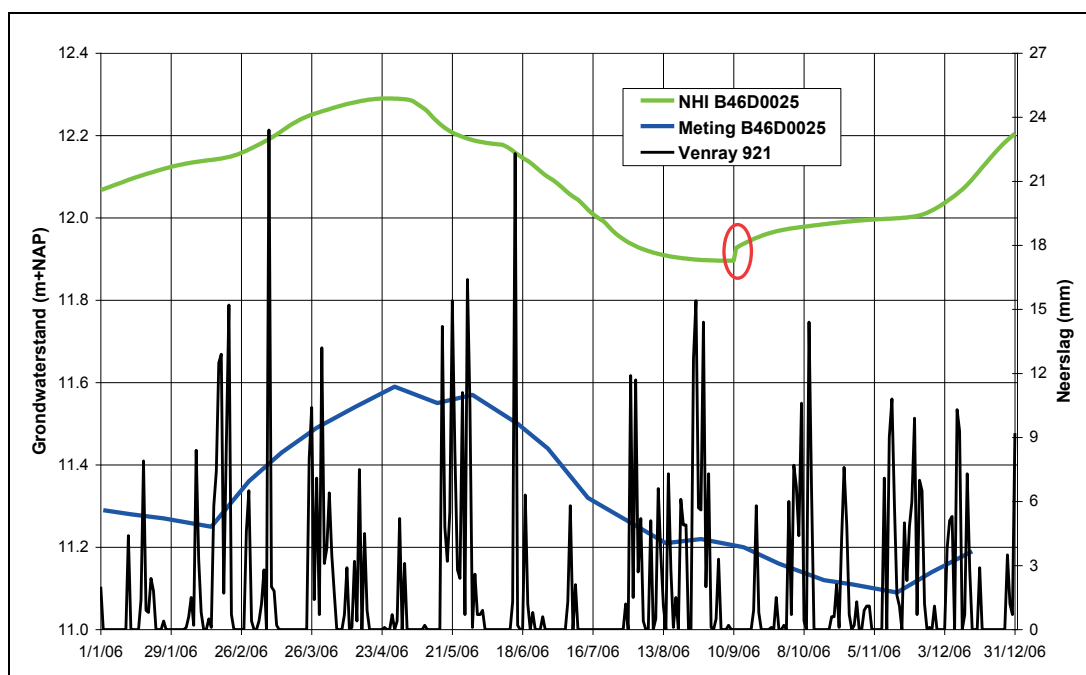
4.2 Vergelijking van gemeten en berekende grondwaterstanden

Peilbuis B46D0025

Peilbuis B46D0025 bevindt zich in Noord Limburg in het bosgebied Broedersbosch tussen Gennip/Heijnen en Afferden 2 km van de rechter Maasoever (rkm 151). De gemeten en berekende grondwaterstanden voor 2003 en 2006 zijn weergegeven in Figuur 4.1 en Figuur 4.2. Ter vergelijking is ook de dagelijkse neerslag weergegeven. De resultaten voor beide jaren laten een goede reproductie zien van het grondwaterstandverloop t.a.v. dynamiek, recessieverloop en range, alleen 6 tot 8 dm verschoven.



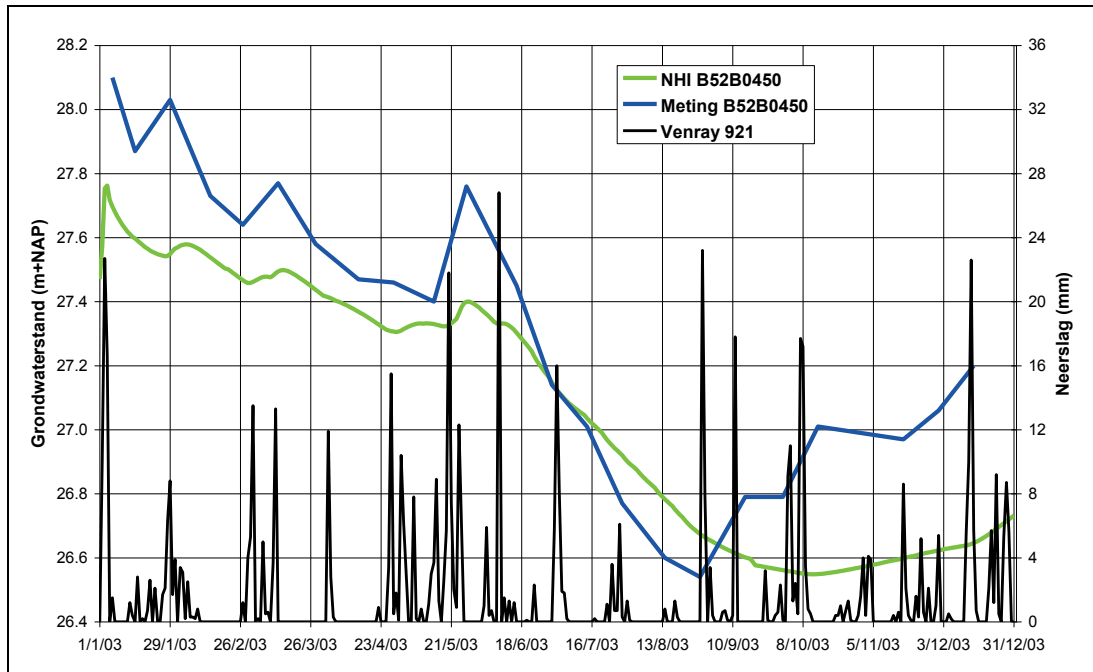
Figuur 4.1 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop in peilbuis B46D0025 in 2003



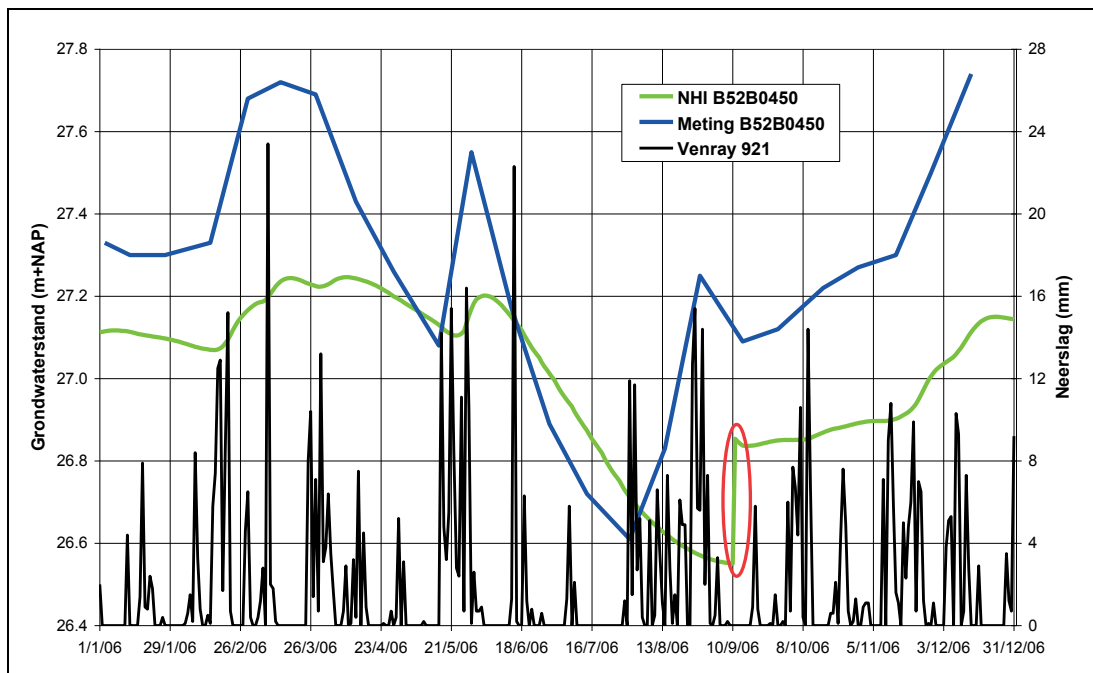
Figuur 4.2 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop in peilbuis B46D0025 in 2006

Peilbuis B52B0450

Peilbuis B52B0450 bevindt zich ten zuidwesten van Venray in de Meerselsche Peel. Het gemeten en berekende grondwaterstandverloop is weergegeven in Figuur 4.3 en Figuur 4.4. De figuren geven aan dat het model het verloop en de respons op de neerslag redelijk reproduceert. De dynamiek wordt enigszins onderschat, evenals de range. Daarom wordt ook het recessieverloop iets te laag berekend.



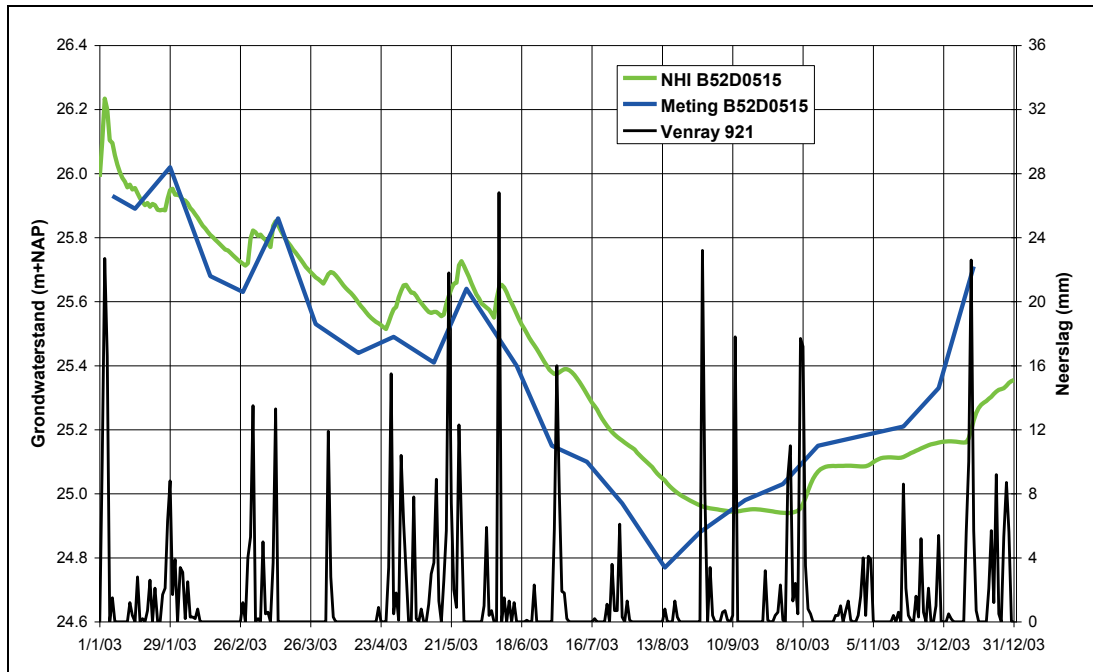
Figuur 4.3 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop in peilbuis B52B0450 in 2003



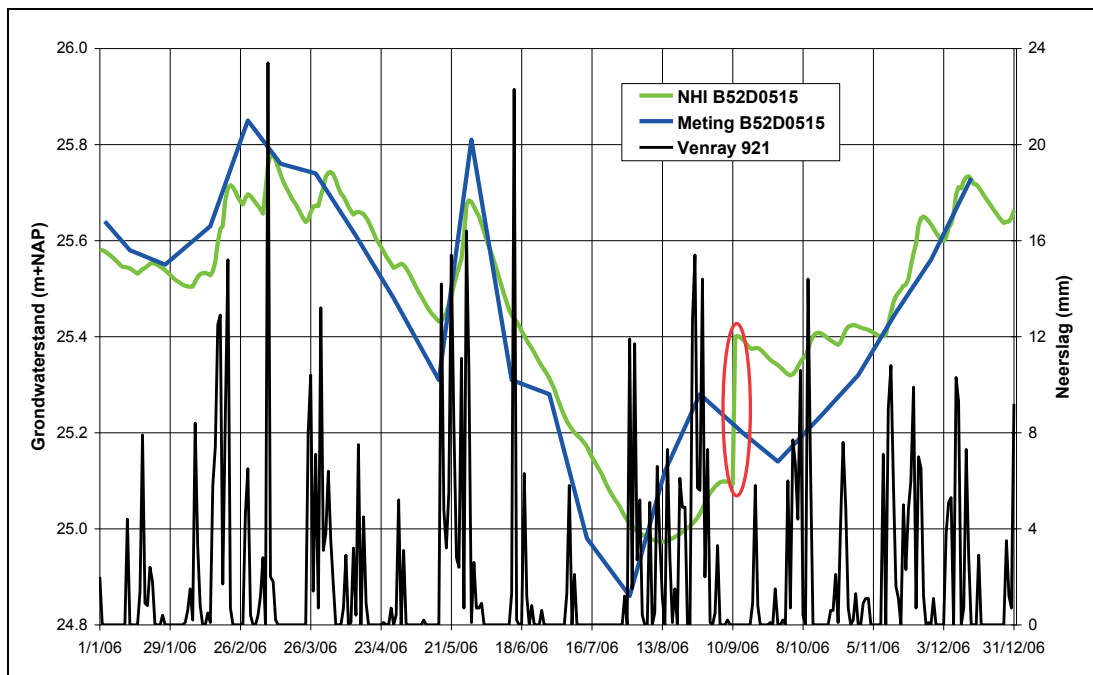
Figuur 4.4 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop in peilbuis B52B0450 in 2006

Peilbuis B52D0515

Peilbuis B52D0515 bevindt zich ten zuidwesten van Horst, richting America, nabij de Kabroeksche Beek in de Peel. De vergelijking tussen de gemeten en berekende grondwaterstanden is weergegeven in Figuur 4.5 en Figuur 4.6. De figuren geven aan dat het model het grondwaterstandverloop acceptabel simuleert qua dynamiek, uitputtingsverloop en range. Alleen lijkt het herstel van de grondwaterspiegel na een droge periode iets achter te lopen bij de metingen.



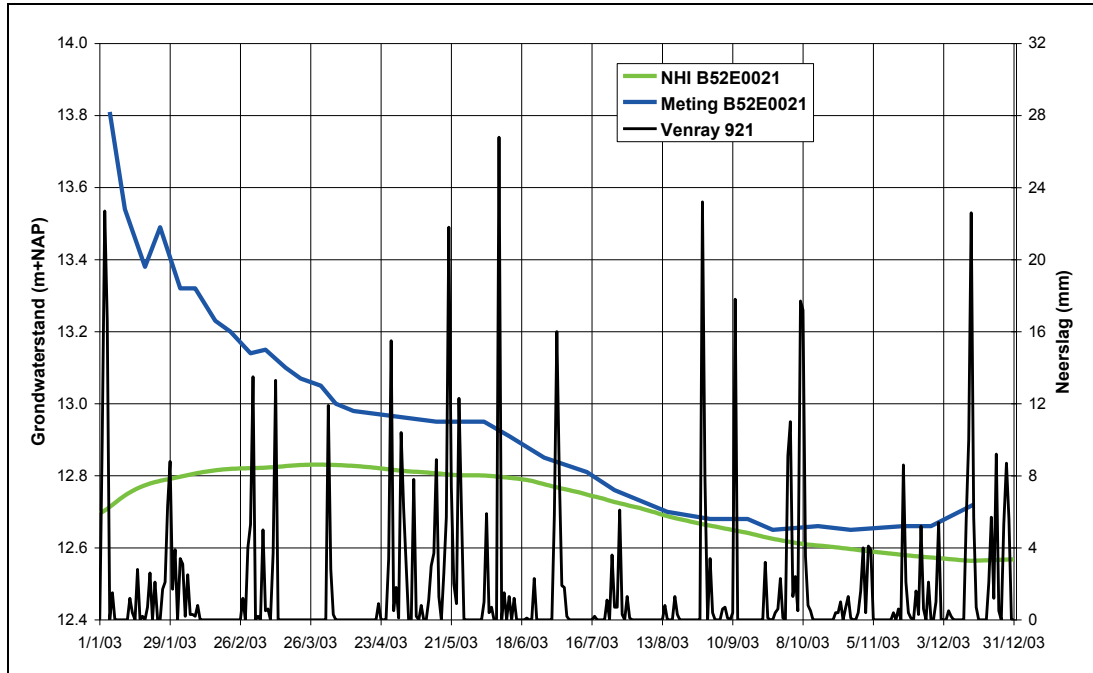
Figuur 4.5 Gemeten en bereend grondwaterstandverloop in peilbuis B52D0515 in 2003



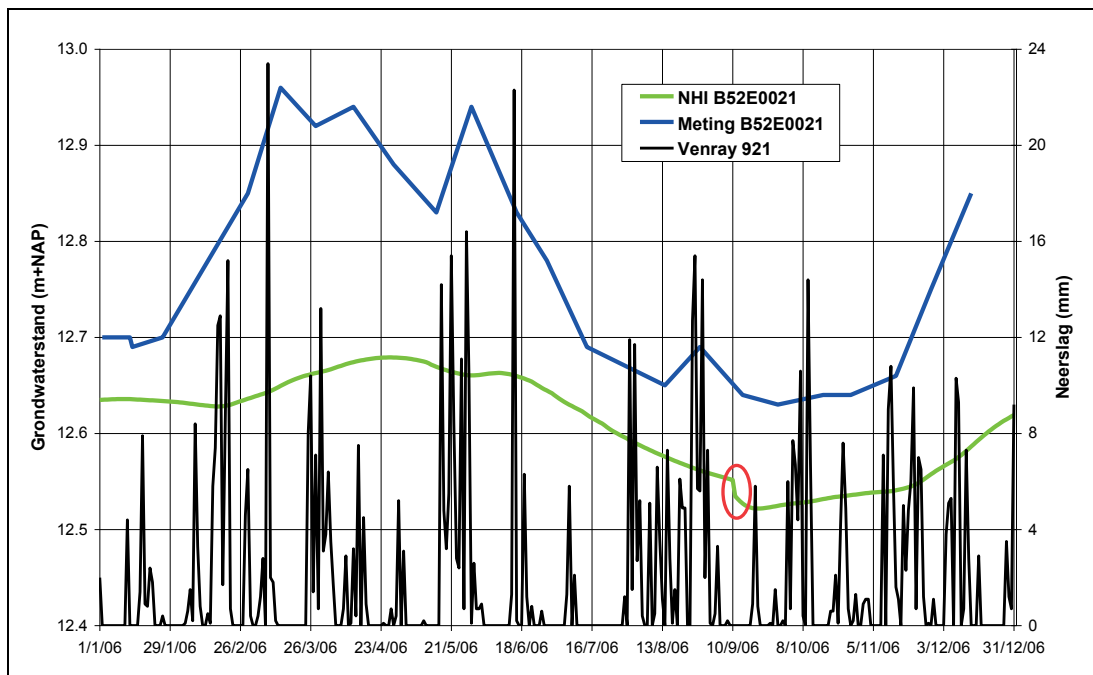
Figuur 4.6 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop in peilbuis B52D0515 in 2006

Peilbuis B52E0021

Peilbuis B52E0021 bevindt zich langs de rechteroever van de Maas (rkm 130) op enkele honderden meters van de rivier bij Well in het Nationaal Park De Hamert op de Wellsche Heide. Het resultaat voor 2003 en 2006 is weergegeven in Figuur 4.7 en Figuur 4.8. Het model berekent nauwelijks enige variatie in de grondwaterspiegel terwijl het gemeten verloop meer de opgetreden waterstanden in de rivier lijkt te volgen. Het model doet dat laatste mogelijk ook, alleen is het waterstandverloop in het model sterk schematisch opgegeven. De gekozen locatie is geen goede test voor de kwaliteit van het grondwatermodel.



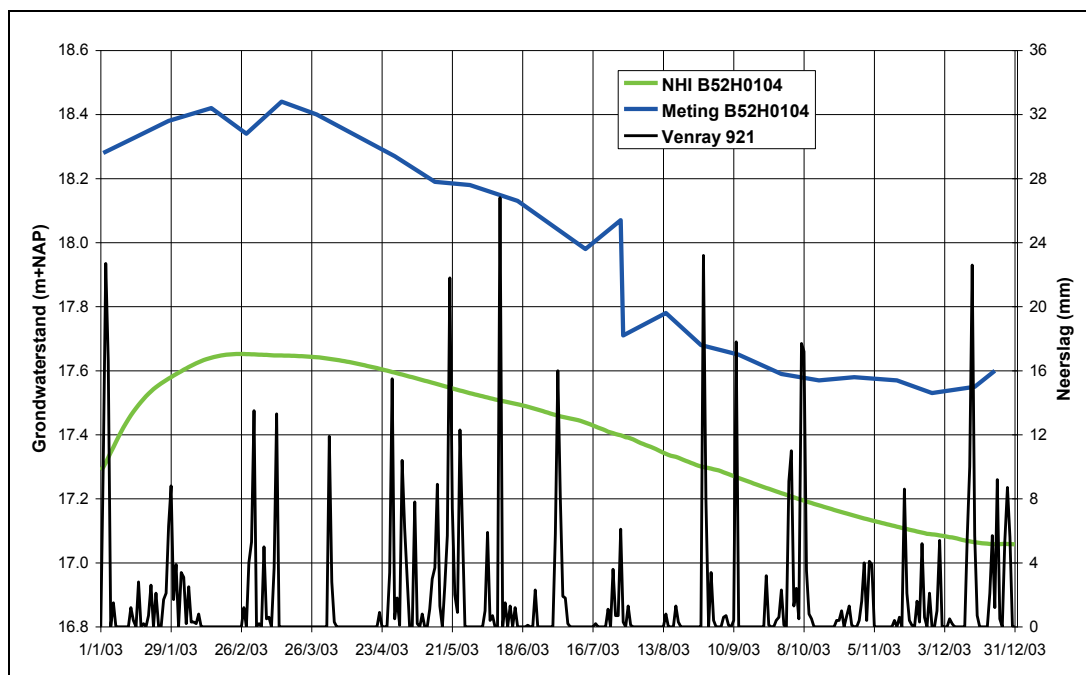
Figuur 4.7 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop in peilbuis B52E0021 in 2003



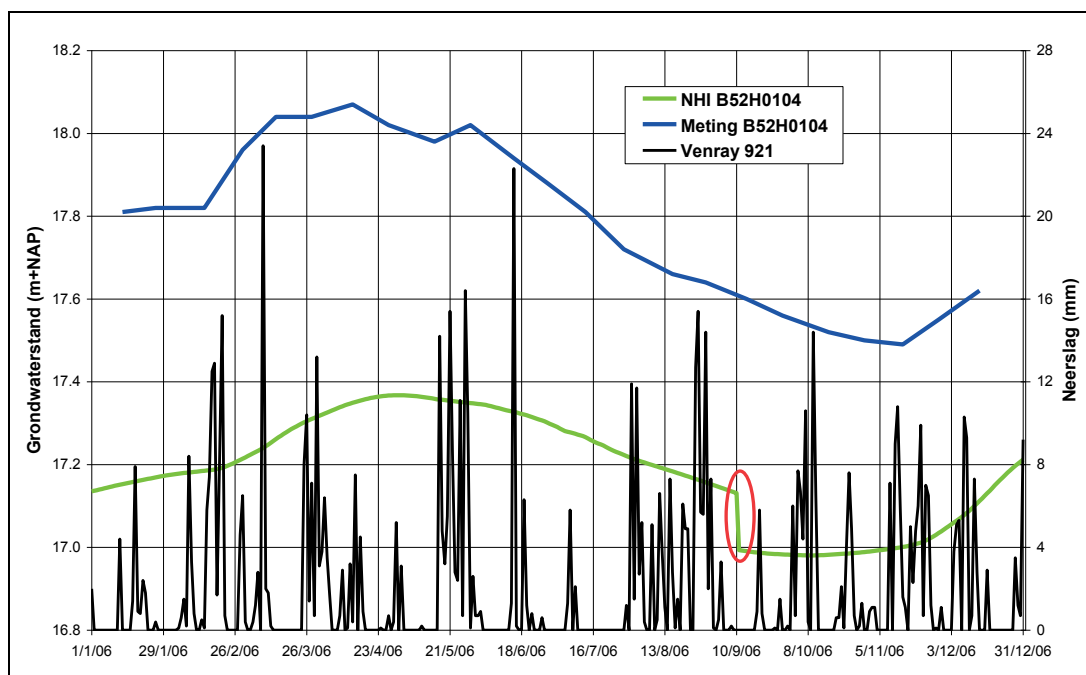
Figuur 4.8 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop in peilbuis B52E0021 in 2006

Peilbuis B52H0104

Peilbuis B52H0104 bevindt op 4 km ten noorden van Venlo aan de rand van de Schandelosche Heide, ongeveer 3 km van de rechter Maasoever (rkm 115). Zoals bij de vorige peilbuizen vertoont ook hier het grondwaterverloop een zeer sterk gefilterde respons op de neerslag. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 4.9 en Figuur 4.10. De figuren geven aan dat het model het verloop goed weergeeft, qua dynamiek, uitputtingsverloop en range. Het berekende niveau is alleen 6 tot 8 dm lager dan is gemeten.



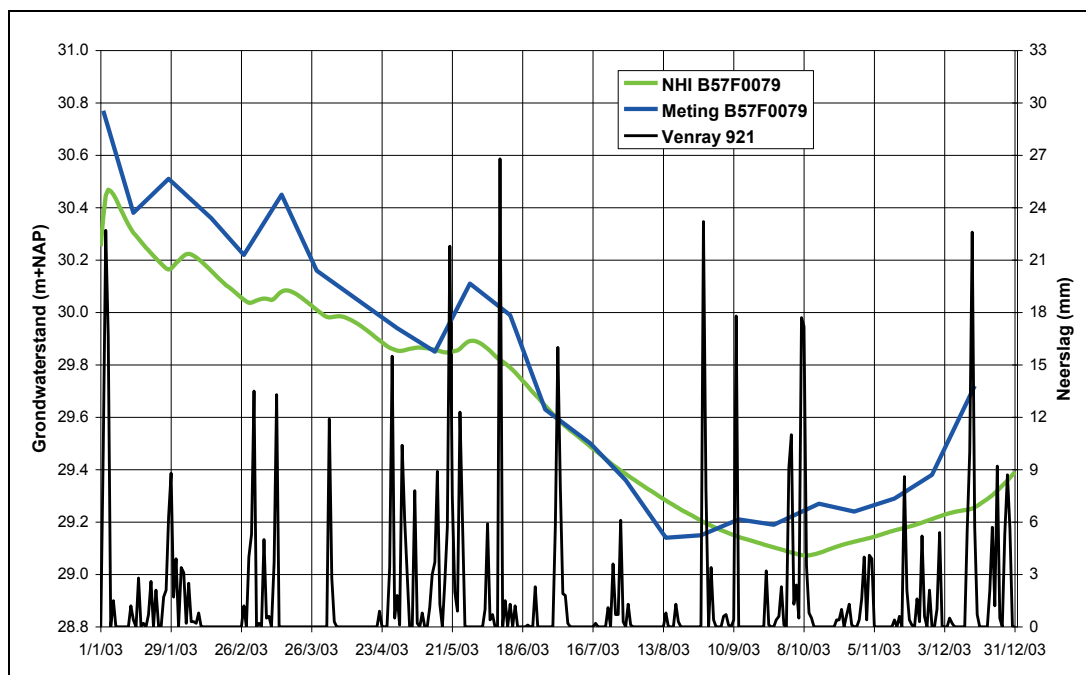
Figuur 4.9 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop in peilbuis B52H0104 in 2003



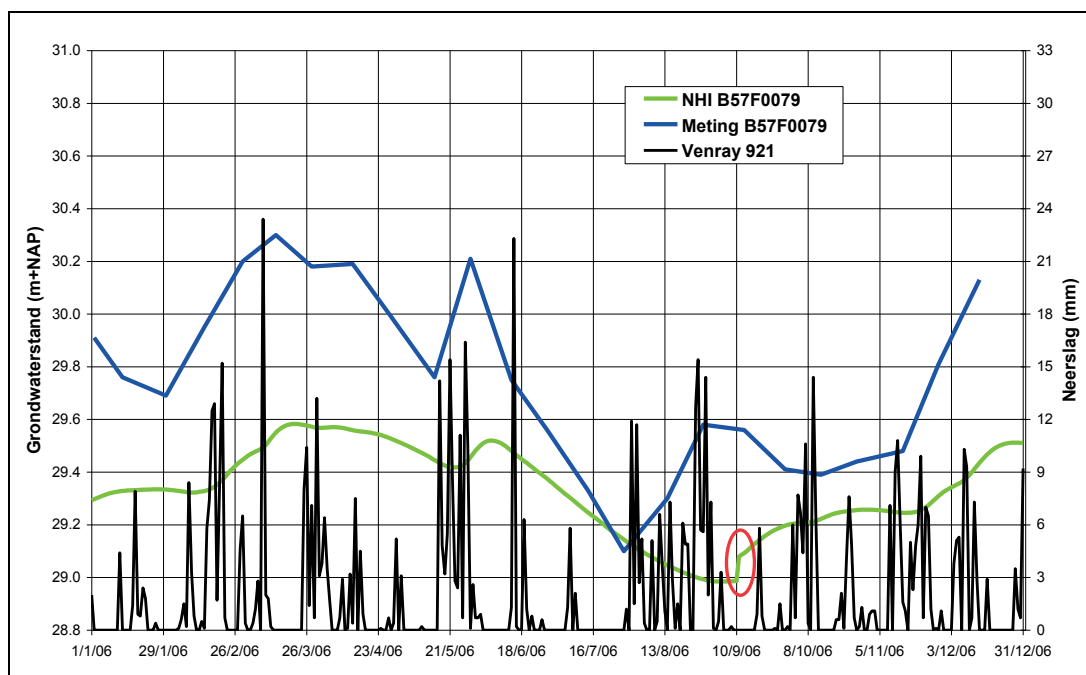
Figuur 4.10 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop in peilbuis B52H0104 in 2006

Peilbuis B57F0079

Peilbuis B57F0079 bevindt zich tussen Weert en het Weerter Bosch, naast de A2. De resultaten voor 2003 en 2006 zijn weergegeven in Figuur 4.11 en Figuur 4.12. Voor 2003 geeft het model het grondwaterstandverloop goed weer. Voor 2006 blijkt dat het model de dynamiek iets onderschat als ook de range, en het herstel in augustus komt te laat.



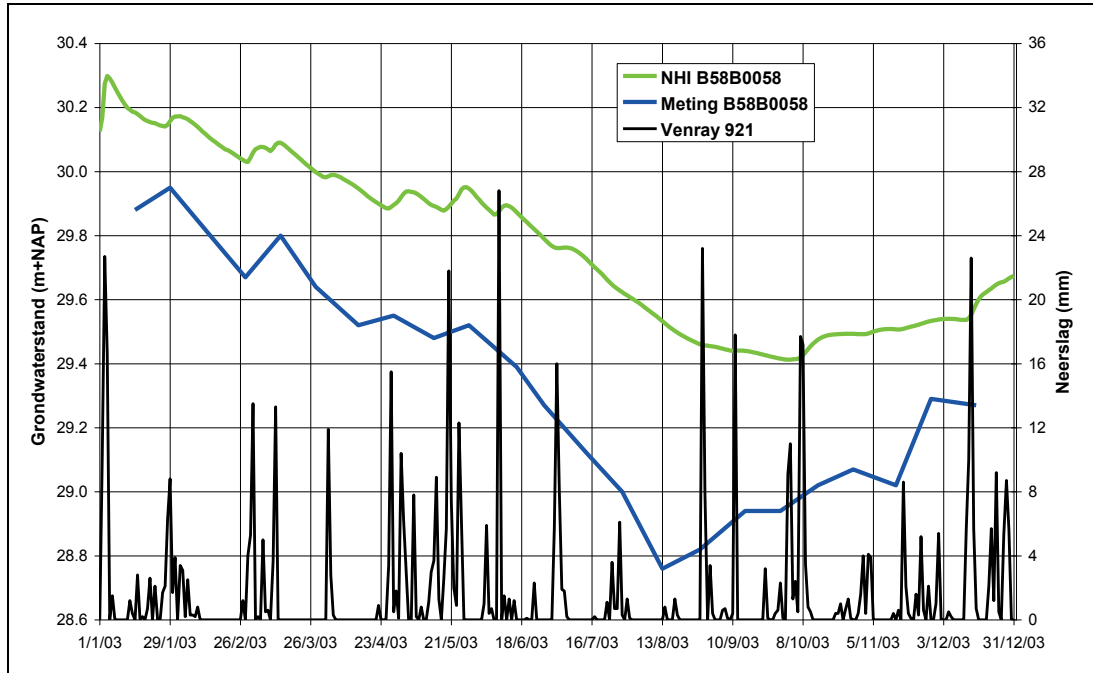
Figuur 4.11 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop in peilbuis B57F0079 in 2003



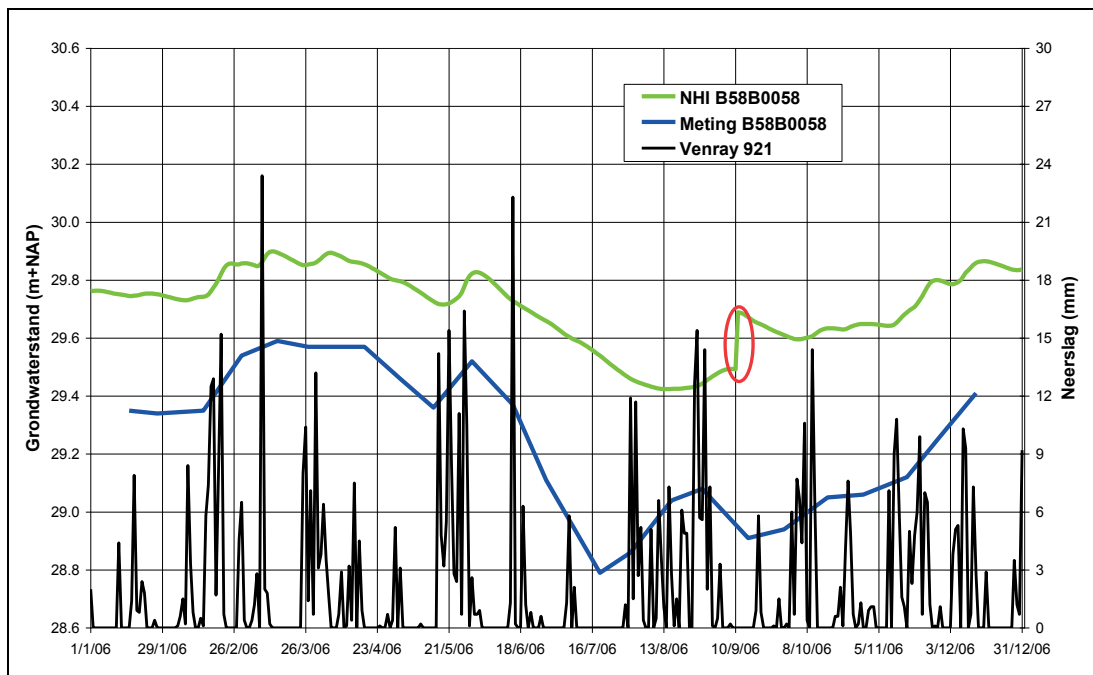
Figuur 4.12 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop in peilbuis B57F0079 in 2006

Peilbuis B58B0058

Peilbuis B58B0058 ligt 3 km westelijk van Maasbree in de Peel. De resultaten zijn gepresenteerd in Figuur 4.13 en Figuur 4.14. De figuren laten zien dat de reactie van het grondwater op de neerslag gefilterd is. Deze reactie wordt door het model goed weergegeven. De berekende range blijft iets achter bij de waarneming, waardoor ook het uitputtingsverloop wordt onderschat.



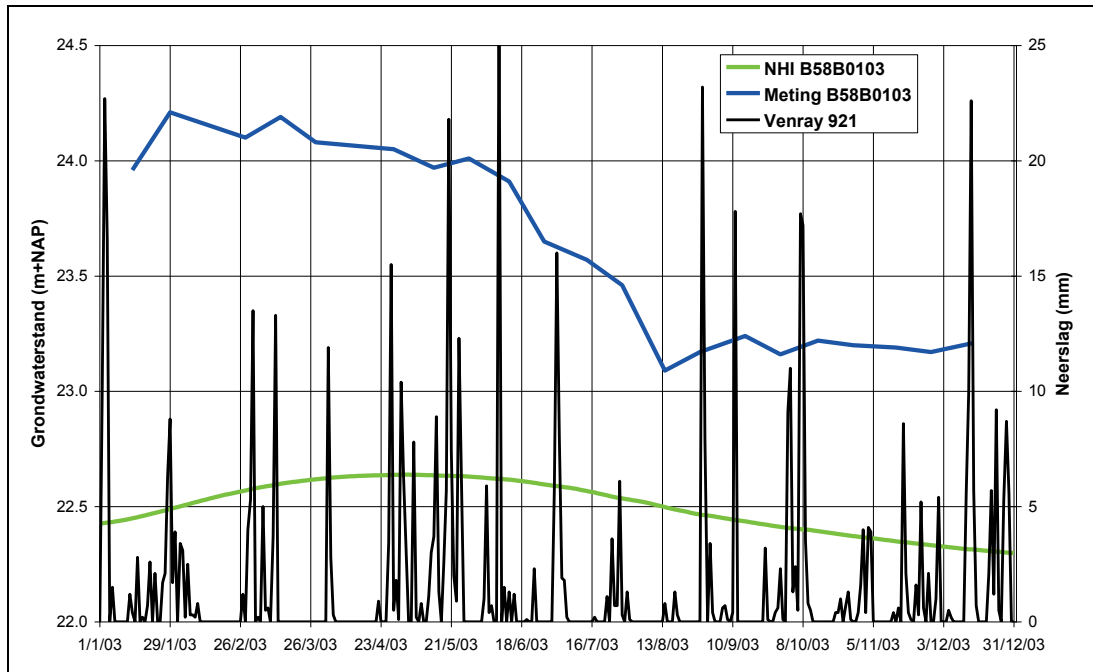
Figuur 4.13 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop in peilbuis B58B0058 in 2003



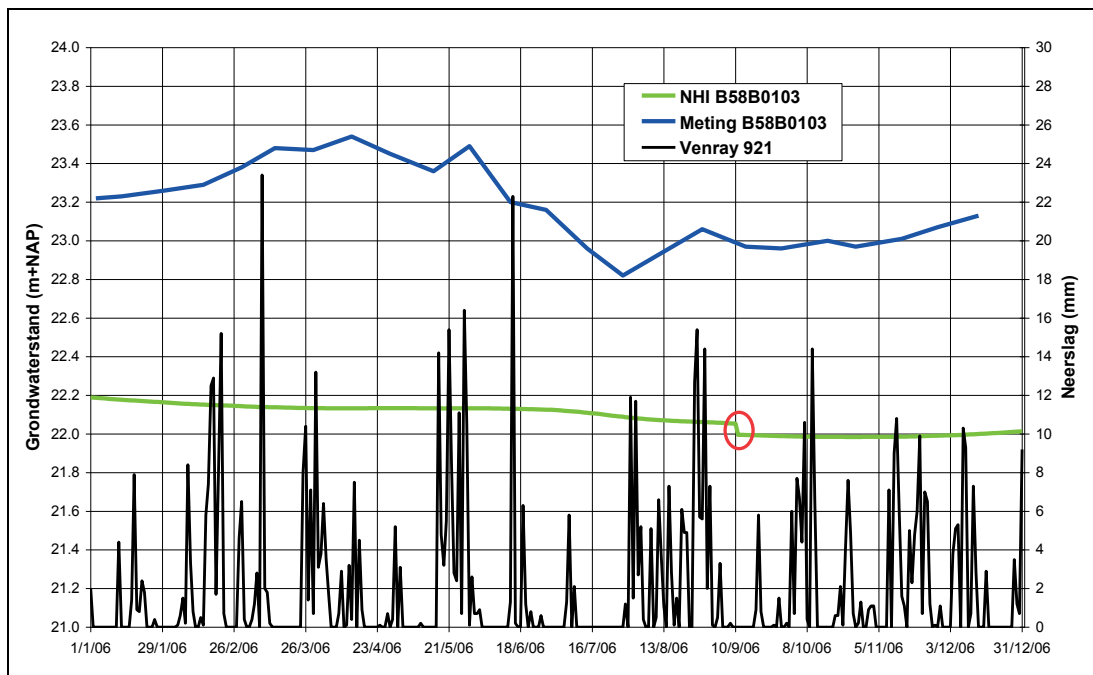
Figuur 4.14 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop in peilbuis B58B0058 in 2006

Peilbuis B58B0103

Peilbuis B58B0103 bevindt zich 2 km oostelijk van Heythuysen in het natuurreservaat Leudal op 4 km van de linkeroever van de Maas (rkm 89), nabij de Neerbeek. Het model berekent een zeer sterk gefilterd grondwaterstandverloop met een range van enkele decimeters. De gemeten range is orde 4 keer groter. Ook de berekende hoogte van de grondwaterspiegel wijkt sterk af van de meting. Opvallend is dat de gemeten grondwaterstand hier boven de opgemeten maaiveldhoogte van 23,40 m+NAP ligt. Dit verdient nader onderzoek.



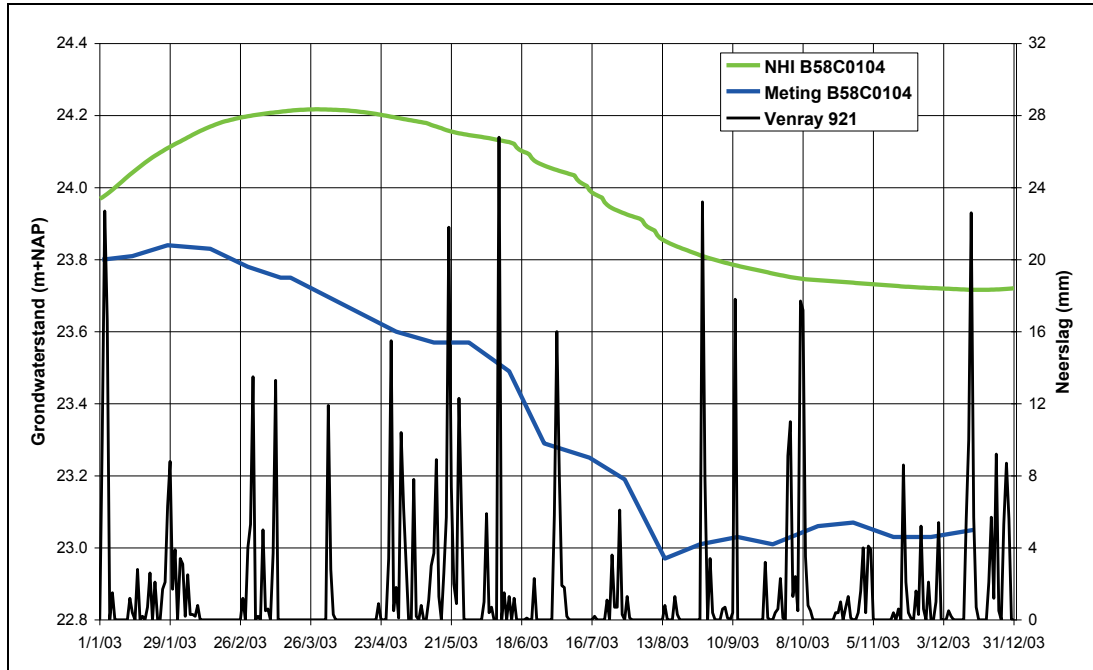
Figuur 4.15 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop in peilbuis B58B0103 in 2003



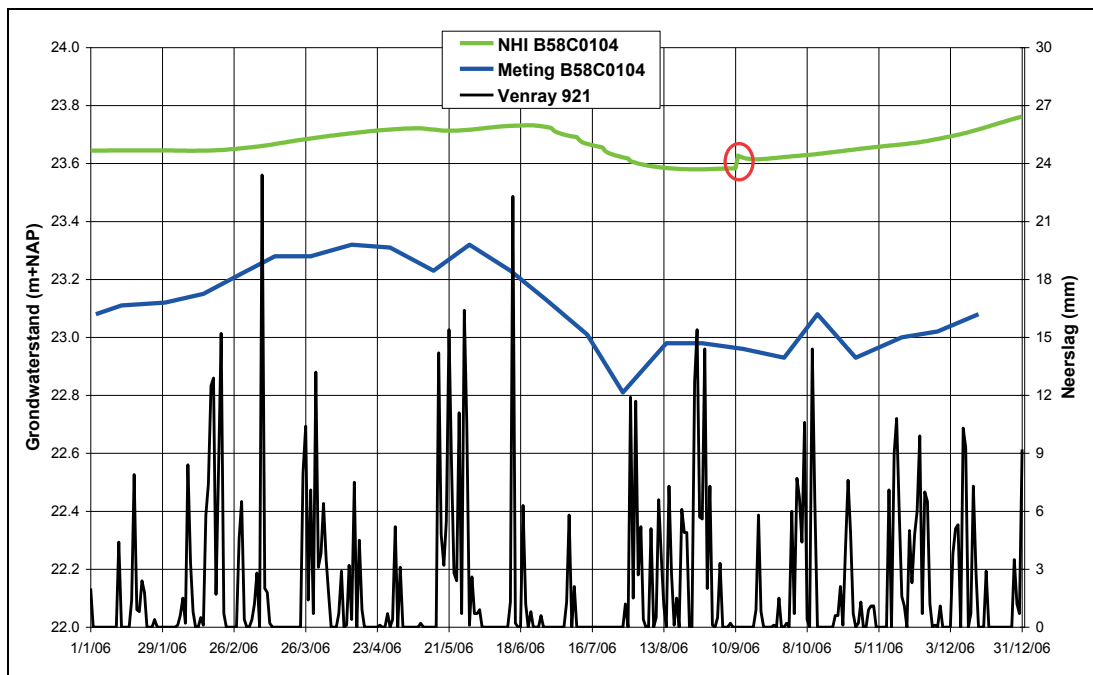
Figuur 4.16 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop in peilbuis B58B0103 in 2006

Peilbuis B58C0104

Peilbuis B58C0104 bevindt zich bij Thorn dicht bij de linker Maasoever (rkm 67) bij de aftakking van het Kanaal Wessem-Nederweert en het Julianakanaal. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 4.17 en Figuur 4.18. Het sterk gefilterde verloop wordt door het model redelijk gereproduceerd op een 5 tot 8 dm hoger niveau. De range wordt iets onderschat. Merk op dat de gemeten grondwaterstand 5 tot 6 m onder het maaiveld ligt. De nabijheid van de plassen langs de Maas zal het grondwaterverloop beïnvloeden.



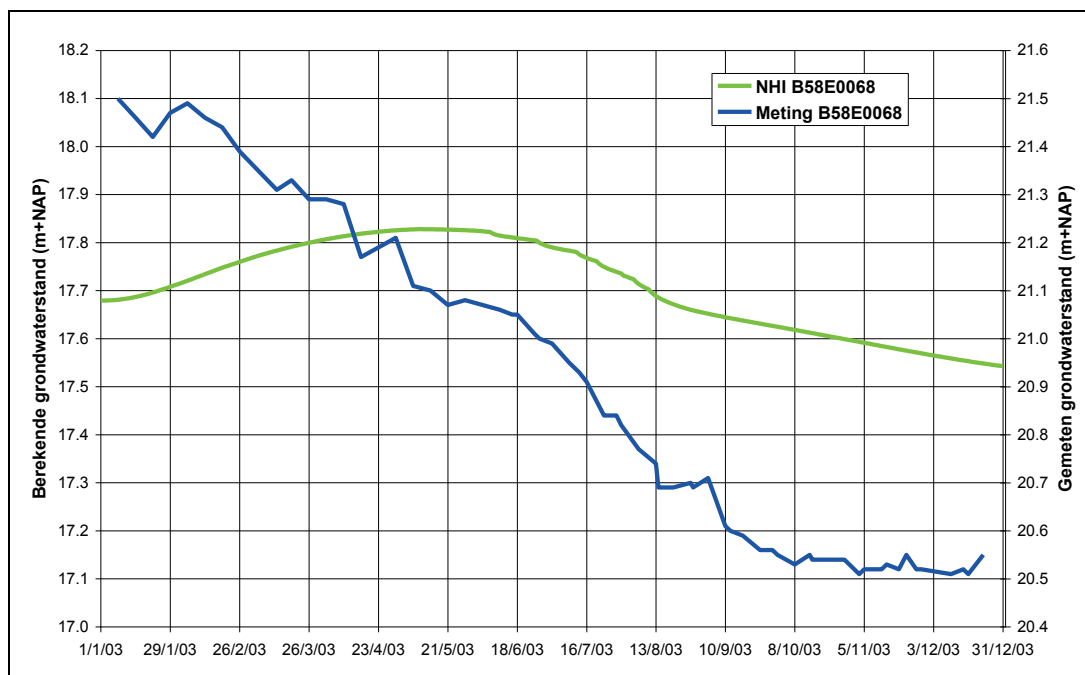
Figuur 4.17 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop in peilbuis B58C0104 in 2003



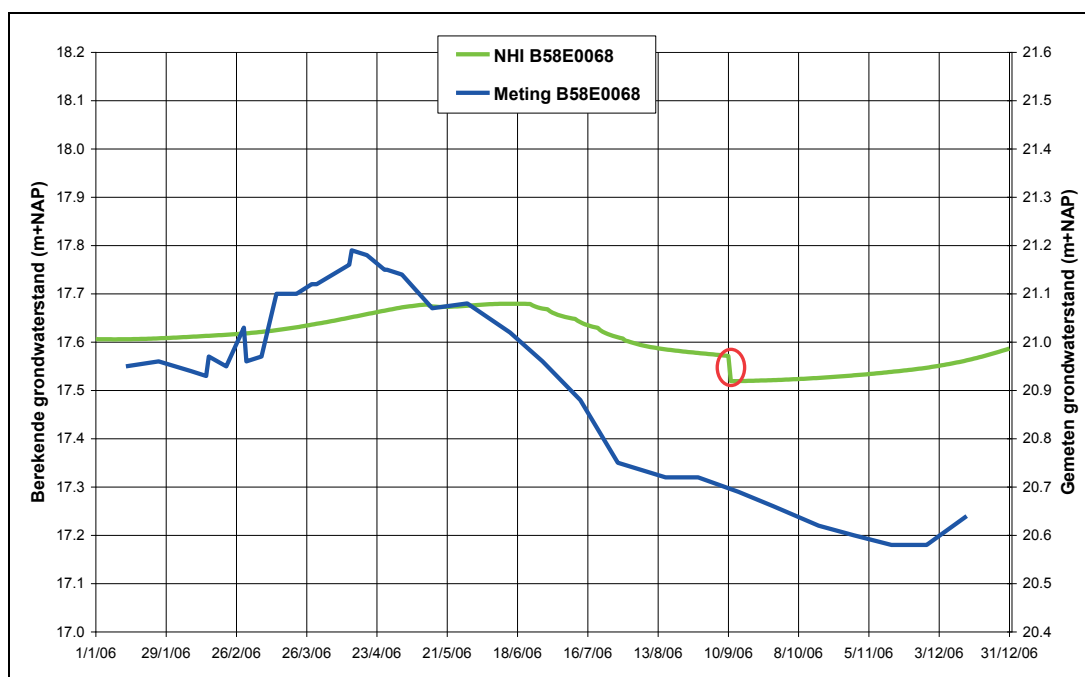
Figuur 4.18 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop in peilbuis B58C0104 in 2006

Peilbuis B58E0068

Peilbuis B58E0068 bevindt zich in Belfeld bovenstrooms van de stuw, langs de rechter Maasoever (rkm 100). De resultaten zijn weergegeven in Figuur 4.19 en Figuur 4.20. De figuren laten een grondwaterverloop zien dat sterk beïnvloed wordt door de nabijheid van de rivier. De opgegeven rivierwaterstanden in het model sluiten kennelijk onvoldoende aan bij de optredende waterstanden. Er is een verschil van 3,5 m tussen de waarneming en de berekening. De range wordt onderschat, waarschijnlijk door de opgegeven oppervlaktewaterniveaus. De locatie van de peilbuis is daarom minder geschikt voor toetsing van de kwaliteit van de grondwatercomponent van het NHI.



Figuur 4.19 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop in peilbuis B58E0068 in 2003



Figuur 4.20 Gemeten en berekend grondwaterstandverloop in peilbuis B58E0068 in 2006

4.3 Samenvatting

In Tabel 4.2 is een overzicht gegeven van de resultaten van de vergelijking tussen de gemeten met de berekende grondwaterstanden op de geselecteerde locaties op basis van de volgende 3 criteria:

- 1 Dynamiek,
- 2 Recessie- of uitputtingsverloop, en
- 3 Range, d.w.z. het 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 het model voor 3 van de 10 locaties goed presteert en voor 2 locaties herijking van het model nodig zou zijn. Het slechte resultaat voor die laatste locaties is echter waarschijnlijk een gevolg van de opgegeven rivierwaterstanden in het model. Voor enkele locaties dient het maaiveldniveau opnieuw gecontroleerd te worden.

Tabel 4.2 Overzicht van evaluatie van NHI grondwaterstanden in Peel en Maasvallei

CODE	Coördinaten		Gebiedskenmerk	Dynamiek	Recessie verloop	Range
	X	Y				
Peel en Maasvallei						
B46D0025	197390	407918	bosgebied	+	+	+
B52B0450	190799	391571	Meerselsche Peel	+/-	+/-	+/-
B52D0515	198410	384110	bij Kabroekse Beek, Peel	+	+	+
B52E0021	205820	395350	Wellsche Heide, langs de Maas	+/-	+/-	-
B52H0104	211384	383177	Heidegebied	+	+	+
B57F0079	175830	365080	bij Weerter Bosch	+/-	+/-	+/-
B58B0058	196420	374200	de Peel, heidegebied	+	+/-	+/-
B58B0103	193560	362920	Natuureservaat Leudal	-	-	-
B58C0104	186500	353580	bij Maasplassen	+/-	+/-	+/-
B58E0068	205920	369350	rechter Maasoever	-	-	-

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Water aanvoer en afvoer

- 1 De resultaten voor het oppervlaktewater in het waterschap Peel en Maasvallei tonen aan dat zowel voor 2003 als voor 2006 de verschillen tussen meting en model nog te groot zijn om het model in deze fase van ontwikkeling al in te kunnen zetten voor een betrouwbare simulatie van de waterverdeling op regionale schaal.
- 2 De afvoer van district 65 (Rechter Maasoever) lijkt door het model sterk te worden onderschat. Een belangrijke reden van het verschil is de grensoverschrijdende afvoer, waarvoor het gemeten afvoerverloop hier nog niet gecorrigeerd is..
- 3 Ook voor de districten 64 (De Peel) en 68 (Midden-Limburg) onderschat het model de afvoer.
- 4 De analyse heeft aangetoond dat het model de dynamiek van het afvoerverloop in het algemeen goed simuleert.
- 5 Het waterschap Peel en Maasvallei geeft aan dat de aangenomen districtsbegrenzungen in het NHI niet correct zijn. Voorts staan in het NHI de inlaten naar de districten 64 en 68 op nul terwijl in de praktijk wel sprake is van aanvoer, ook vanuit België. Ook mist het Distributiemodel de doorvoer van water naar Aa en Maas.

Grondwater

- 6 De kwaliteit van de simulatie van het grondwaterstandverloop door 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.
- 7 De beoordeling van de dynamiek was slechts beperkt mogelijk door de lage bemonsteringsfrequentie (vaak 1 x per 14 dagen of minder) die in de peilbuizen werd toegepast.
- 8 Een aantal locaties van de geselecteerde peilbuizen bevindt zich in de nabijheid van de rivier, waardoor het grondwaterstandverloop beïnvloed wordt door de opgegeven open waterniveaus. Voor de toetsing van de grondwatercomponent van het NHI zijn die locaties minder geschikt.
- 9 De analyse geeft aan dat het sterk gefilterde verloop in veel peilbuizen in het beheergebied door het model redelijk tot goed wordt gereproduceerd. Afwijkingen tussen model en meting treden vooral op bij peilbuizen in de nabijheid van open water met een opgelegd waterniveau.
- 10 In enkele gevallen worden grondwaterniveaus gemeten die boven de opgegeven maaiveldhoogte liggen. Dit dient geverifieerd te worden.
- 11 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.

Eindconclusie

Het NHI in zijn huidige staat is nog niet geschikt voor het uitvoeren van betrouwbare analyses van de waterverdeling op regionaal niveau. Geconstateerd is dat een correcte simulatie van de afvoer en aanvoer, evenals van het grondwaterstandverloop nog niet overal wordt gerealiseerd, maar het resultaat voor dit waterschap is vooral t.a.v. het freatisch grondwater veel beter dan gemiddeld. Om een beter resultaat te bereiken is eliminatie van de grondwaterbug nodig, dienen de gegevens van alle neerslagstations en grensoverschrijdende aanvoeren en doorvoeren in beschouwing te worden genomen en is lokale ijking van het model gewenst. Op eenvoudige wijze is het modelresultaat voor het oppervlaktewater te verbeteren.

5.2 Aanbevelingen

De conclusies leiden tot de volgende aanbevelingen.

- Aanpassing van de begrenzing van de districten.
- Inlaten voor districten 64 en 68 opnemen, evenals de aanvoer naar district 68 vanuit België. Het waterschap levert de gegevens aan.
- Afvoer van de districten schatten op basis van oppervlakteverhoudingen van bemeten gebied en beheergebied/district.
- Invoering van grensoverschrijdende aanvoer van water voor 2003 en 2006. Het waterschap levert de gegevens aan.
- Opname van doorvoer van water naar beheergebied van waterschap Aa en Maas.
- Toetsing van het model met aangepaste neerslagrandvoorwaarde, alvorens andere model instellingen te veranderen.

- Dagelijkse grondwaterstanden zijn nodig om de dynamiek van het grondwater en het uitputtingsverloop te kunnen vergelijken met het NHI-resultaat.
- Controle op de kwaliteit van de grondwaterstanden is nodig, terwijl voorts de opgegeven maaiveldhoogtes gecontroleerd moeten worden.
- 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 geïjkt dient te worden. Het volstaat kennelijk niet om op basis van bodemgegevens het grondwaterverloop overal goed te beschrijven.

6 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 D
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

Ogink, H.J.M. (2010)

Validatie NHI voor Noord Nederland. Jaar 2006
Stowa

Ogink, H.J.M. (2010)

Validatie NHI voor Midden en West Nederland, Jaren 2003 en 2006.
Stowa

Ogink, H.J.M. (2010)

Validatie NHI voor Oost Nederland, Jaren 2003 en 2006.
Stowa

Ogink, H.J.M. (2010)

Validatie NHI voor Zuiderzeeland, Jaren 2003 en 2006.
Stowa

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

Warmerdam, P. (1981)
De invloed van de wind op regenwaarnemingen; een vergelijkend
regenmeteronderzoek.
H2O, Volume 14