

**Toetsingsrapportage
NHI 3.0**



Toetsingsrapportage NHI 3.0

J.C. Hoogewoud
G.F. Prinsen
J.C. Hunink
A.A. Veldhuizen
F.J.E. van der Bolt
W.J. de Lange

1206107-000



Titel

Toetsingsrapportage NHI 3.0

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
NHI stuurgroep	1206107-000	1206107-000-BGS-0011	116

Trefwoorden

Nationaal Hydrologisch Instrumentarium, NHI, grondwater, oppervlaktewater, onverzadigde zone, modellering, toetsing, criteria, toepasbaarheid.

Samenvatting

NHI3.0 is getoetst aan vooraf gestelde criteria en vergeleken met NHI 2.2. NHI3.0 voldoet aan de belangrijkste criteria voor de oppervlaktewaterverdeling en zoutbelasting. Voor de criteria waaraan NHI3.0 niet voldoet zijn de oorzaken onderbouwd. De toepasbaarheid van NHI3.0 voor het Deltaprogramma-Zoetwater (2014) is beoordeeld in een aparte rapportage (Marchand en de Lange 2012). NHI 3.0 is op relevante aspecten beter dan versie 2.2.

In NHI3.0 zijn de schematisering en data significant verbeterd met informatie uit regionale modellen en regionale kennis. De verbeteringen zijn in de toetsing niet direct zichtbaar, maar leiden er toe dat NHI3.0 op de best mogelijke data, kennis en concepten is gebaseerd.

De oppervlaktewaterverdeling en -stroming in het hoofdwatersysteem voldoet aan de criteria. De regionale wateraanvoer is verbeterd ten opzichte van NHI2.2, maar voldoet nog niet aan de criteria. Nieuw, en specifiek voor de toepasbaarheid van NHI, is de toetsing op regionale waterbalansen, die voldoen aan de daarvoor gestelde criteria. De chloride-concentraties in het hoofdsysteem voldoen aan de criteria, de concentraties in grote regionale oppervlaktewateren voldoen niet. Nieuw is de toetsing op zout-vrachten in deelgebieden, die voldoen aan de daarvoor gesteld criteria. De verdamping en berekening voldoen aan de criteria en zijn breder onderbouwd. De karakteristieke parameters voor de ondiepe grondwaterstand, de GXG's en dynamiek voldoen niet aan de criteria. Onderbouwd is dat NHI op schaal van 250 meter cellen niet aan de criteria kan voldoen. De ondiepe grondwaterstand en dynamiek zijn in grote lijnen gelijk gebleven aan NHI2.2. De diepe stijghoogten voldoen grotendeels aan de criteria en zijn verbeterd ten opzichte van NHI2.2.

Voor elk toetsingsonderdeel is de toepasbaarheid van NHI3.0 voor het Deltaprogramma-Zoetwater (2014) beoordeeld. NHI3.0 is goed genoeg waar noodzakelijk. De minder goede onderdelen zijn niet relevant voor het Deltaprogramma-Zoetwater (2014). NHI3.0 heeft voldoende kwaliteit voor toepassing in DP-Zoetwaterverkenning (Marchand en De Lange 2013).

Aanbevolen wordt om de criteria voor de volgende versie van NHI nader te onderbouwen gegeven de schaal van NHI en de kwaliteit van beschikbare metingen.

Titel
NHI 3.0

Opdrachtgever
NHI stuurgroep

Project
1206107-000

Kenmerk
1206107-000-BGS-0011

Pagina's
116

Status en Versie

Versie	Datum	Auteur (ontwikkelaar, PL)	Paraaf	Review Deltares	beheerderParaaf	Goedkeuring RWS-WD	Paraaf
3.0	4 maart '13	J.C. Hoogewoud G.F. Prinsen J.C. Hunink A.A. Veldhuizen F.J.E. van der Bolt W.J. de lange		G.Blom			

Status
definitief

Management samenvatting

Voor toetsing van de fasen van ontwikkeling van het NHI zijn in 2010 door Rijkswaterstaat Waterdienst, in samenwerking met de andere NHI-partners, functionele specificaties en kwaliteitseisen opgesteld. Deze criteria zijn gericht op de toepassing van het NHI in het Deltaprogramma Zoetwaterverkenning en de ondersteuning van de Landelijk Commissie Watervoorziening tijdens droogte. De criteria zijn door de jaren 2010 - 2012 heen toenemend in scherpste, opdat NHI 3.0 in 2012 geschikt zal zijn voor toepassing voor het Deltaprogramma Zoetwaterverkenning. Daarvoor worden in 2013 de berekeningen uitgevoerd voor de Delta beslissingen in 2014.

De toetsing van NHI 3.0 is uitgevoerd op basis van de toetsingsmethode die is gebruikt in eerdere versies. Daarnaast zijn nieuwe onderdelen toegevoegd.

NHI3.0 voldoet aan de belangrijkste criteria voor de oppervlaktewaterverdeling en zoutbelasting. Voor de criteria waaraan NHI3.0 niet voldoet zijn de oorzaken onderbouwd. De toepasbaarheid van NHI3.0 voor het Deltaprogramma-Zoetwater (2014) is beoordeeld in een separaat document (Marchand en De Lange, 2013).

NHI 3.0 is op relevante aspecten beter dan versie 2.2. In NHI3.0 zijn de schematisering en data significant verbeterd met informatie uit regionale modellen en regionale kennis. De verbeteringen zijn in de toetsing niet direct zichtbaar, maar leiden er toe dat NHI3.0 op de best mogelijke data, kennis en concepten is gebaseerd.

De oppervlaktewaterverdeling en -stroming in het hoofdwatersysteem voldoet aan de criteria. De regionale wateraanvoer is verbeterd ten opzichte van NHI2.2, maar voldoet nog niet aan de criteria. Nieuw, en specifiek voor de toepasbaarheid van NHI, is de toetsing op regionale waterbalansen, die voldoen aan de daarvoor gestelde criteria. De chloride-concentraties in het hoofdsysteem, zoals Gouda, voldoet aan de criteria. De zoutconcentraties in de grote regionale wateren zijn qua orde grootte vaak goed, maar voldoen niet aan de gestelde criteria. Nieuw is de toetsing op zout-vrachten in deelgebieden, die voldoen aan de daarvoor gestelde aanvullende criteria. De verdamping en beregening voldoen aan de criteria en zijn breder onderbouwd. De karakteristieke parameters voor de ondiepe grondwaterstand, de GXG's en dynamiek voldoen niet aan de criteria. Onderbouwd is dat NHI op schaal van 250 meter cellen niet aan de criteria kan voldoen. De ondiepe grondwaterstand en dynamiek zijn gelijk gebleven aan NHI2.2. De diepe stijghoogten voldoen grotendeels aan de criteria en zijn verbeterd ten opzichte van NHI2.2.

In onderstaande tabel zijn de resultaten van de toetsing voor NHI 3.0 weergegeven.

Tabel De toetsing van NHI aan de criteria. Oranje, geel en groen geven aan of niet, gedeeltelijk dan wel volledig voldaan wordt aan de criteria. Aanbevolen wordt om de criteria voor de volgende versie van NHI nader te onderbouwen gegeven de schaal van NHI en de kwaliteit van beschikbare metingen.

Indicator	Voldoet aan criterium 2012		Opmerking
	NHI 2.2	NHI 3.0	
Grondwater			
GHG	+/-	+/-	Criteria zijn niet naar NHI schaal onderbouwd
GLG	+/-	+/-	Criteria zijn niet naar NHI schaal onderbouwd
Dynamiek grondwaterstanden	+/-	+/-	Criteria zijn niet naar NHI schaal onderbouwd Grafieken in 37 meetpunten
Potentialen diep grondwater	+/-	+/-	
Onverzadigde zone			
Verdamping metingen	+	+	
Verdamping waterbalans	+	+	
Verdamping satelliet	+/-	+/-	Vergelijk tussen modellen
Dynamiek Berekening	+	+	
Berekening regionaal	+	+	
Oppervlaktewater			
Landelijk afvoer	+	+	
Regionale aanvoer voor waterbalans gebieden	+	+	
Regionaal afvoer	+/-	+/-	Voldoet niet t.a.v. de periode
Chloride			
Concentratie grote regionale wateren	-	-	
Zoutvrachten uit waterbalans eenheden / Polders	-	+	
Concentratie landelijk	-	+	Concentraties 2003 en 2006

(- voldoet niet, +/- voldoet aan een deel van de (samengestelde) criteria, + voldoet)

Voor elk toetsingsonderdeel is de toepasbaarheid van NHI3.0 voor het Deltaprogramma-Zoetwater (2014) beoordeeld in een aparte rapportage (Marchand en de Lange 2013). Hier wordt de conclusie getrokken dat NHI3.0 op de noodzakelijk punten goed genoeg presteert.

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Leeswijzer	1
2 Toetsing verzadigd grondwater	3
2.1 Inleiding	3
2.2 Toetsing in deelgebieden	3
2.3 GXG	4
2.3.1 Wat wordt er getoetst?	4
2.3.2 Methode	4
2.3.3 Criteria	6
2.3.4 Resultaten toetsing	7
2.3.5 Evaluatie haalbaarheid criteria voor GLG, GHG en dynamiek	10
2.3.6 Het uitputtingsverloop	13
2.3.7 Conclusies	13
2.4 Diepe stijghoogten	14
2.4.1 Wat wordt er getoetst?	14
2.4.2 Methode	14
2.4.3 Criteria	14
2.4.4 Resultaten	15
2.4.5 Conclusie diepe stijghoogten	18
2.5 Conclusies grondwater	18
3 Toetsing evapotranspiratie en berekening	19
3.1 Inleiding	19
3.2 Evapotranspiratie gemeten op specifieke locaties	20
3.2.1 Methode	20
3.2.2 Resultaten jaarsommen	22
3.2.3 Resultaten seizoens- en maandsommen	23
3.2.4 Conclusies	24
3.3 Actuele evapotranspiratie per gebied op basis van waterbalansen	24
3.3.1 Methode	24
3.3.2 Resultaten	25
3.3.3 Conclusies	25
3.4 Actuele evapotranspiratie per regio op basis van satellietbeelden	26
3.4.1 Methode	26
3.4.2 Resultaten landelijk	27
3.4.3 Resultaten voor regio's	28
3.4.4 Resultaten op maandbasis in 2006	31
3.4.5 Conclusies	34
3.5 Berekening	35
3.5.1 Methode	35
3.5.2 Resultaten	35
3.5.3 Conclusies	36
3.6 Discussie toetsing en vergelijking evapotranspiratie en berekening	37
3.7 Conclusies toetsing en vergelijking evapotranspiratie en berekening	37

4 Toetsing oppervlaktewater	39
4.1 Inleiding	39
4.2 Afvoeren	40
4.2.1 Wat wordt er getoetst?	40
4.2.2 Methode en criteria	42
4.2.3 Resultaten	44
4.2.4 Conclusie afvoeren hoofdsysteem	47
4.2.5 Resultaten regionale systemen	47
4.2.6 Kanttekeningen toetsing	53
4.2.7 Samenvatting	54
4.3 Peilen	55
4.3.1 Wat wordt er getoetst?	55
4.3.2 Methode en criteria	55
4.3.3 Resultaten	55
4.4 Chloride grote wateren	57
4.4.1 Wat wordt er getoetst?	57
4.4.2 Methode en criteria	57
4.4.3 Resultaten	58
4.4.4 Conclusie	63
4.5 Chloride regionale wateren	64
4.5.1 Inleiding	64
4.5.2 Wat wordt er getoetst?	65
4.5.3 Methode en criteria	65
4.5.4 Resultaten	66
4.5.5 Conclusie	67
4.6 Conclusies oppervlaktewater	68
5 Conclusies & Aanbevelingen	71
5.1 Conclusies	71
5.2 Aanbevelingen	71
6 Literatuur	- 73 -

Bijlage(n)

A Analyse van modeleigen ruis in grondwater	A-1
A.1 Ruis in berekende grondwaterstanden als gevolg van schaal	A-1
A.2 Een 25 m. model vs een 250 m. model	A-1
A.2.1 Inleiding	A-1
A.2.2 Potentialen opschaling ten opzichte van NAP	A-3
A.2.3 GXG (ten opzichte naar maaiveld)	A-4
A.2.4 Discussie	A-6
A.2.5 Conclusie	A-7
A.3 Onzekerheid in niet te kalibreren invoer data	A-7
A.3.1 Variatie in ontwatering (peilen)	A-7
A.3.2 Buisdrainage (diepte en ligging)	A-7
A.3.3 Doorlatendheid en berging van de bodem	A-7
A.3.4 Conclusie	A-7
A.4 Modelruis door grove schematisatie	A-8
A.4.1 Analyse	A-8
A.4.2 Conclusie	A-8
A.5 Ruis in de metingen GHG en GLG	A-9
A.6 Discussie en Conclusie	A-9
B Frequentie verdelingen van gemodelleerde en gemeten grondwaterstanden	B-1
B.1 Inleiding	B-1
B.2 Apriori verschillen tussen LSK en NHI	B-1
B.3 Analyse statistieken	B-1
B.4 Analyse ruimtelijke verdeling	B-3
B.5 Conclusie	B-4
C Kwalitatieve beoordeling uitputtingsverloop	
Meting versus berekening in NHI 3.0: tijd-stijghoogte lijnen	C-1
C.1 Opzet van de vergelijking	C-1
C.2 Flevoland	C-2
C.3 Achterhoek	C-3
C.4 Midden Brabant	C-5
C.5 West Nederland Poldergebied	C-7
C.6 Friesland	C-9
C.7 Groningen (veenkoloniën)	C-11
C.8 Drenthe	C-13
C.9 Overijssel	C-15
C.10 Noord Holland (Waterland)	C-17
C.11 Rivierenland	C-19
C.12 Zuid-Holland	C-21
C.13 West-Brabant	C-23
C.14 Goeree – Overflakkee	C-24
C.15 Conclusie van de vergelijking	C-24

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De ontwikkeling van NHI als nieuw consensusmodel is gestart met de bedoeling dit instrument toe te passen voor lands(deel)dekkende, en in latere fase ook regionale, modellering van de hydrologie ten behoeve van waterverkenningen. Deze verkenningen komen voort uit het Nationaal Bestuursakkoord Water (de Kaderrichtlijn Water, Water Beheer 21e eeuw, droogtestudies), milieuverkenningen (Milieuverkenning en Milieubalans), en diverse thematische evaluaties zoals het Gewenste Grond en Oppervlaktewater Regime (GGOR), Ruimte voor de Rivieren (RvR), het Meststoffenbeleid en Gewasbeschermingsbeleid. Sinds 2011 zijn het Deltamodel en het Deltaprogramma (met vele deelprogramma's) een belangrijke motor voor de verbeteringen en ontwikkelingen binnen NHI geweest.

Bij de ontwikkeling van het NHI was de belangrijkste randvoorwaarde dat het NHI minstens de functionaliteiten en kwaliteit van de voorgangers/bouwstenen (PAWN, hydrologie STONE, LGM/SWAP) zou moeten hebben. Bij de oplevering van NHI 2.0 in 2010 is vastgesteld dat NHI 2.0 al minstens de kwaliteit van het PAWN-instrumentarium heeft, waarbij NHI qua concept en functionaliteiten is verbeterd ten opzichte van deze eerdere instrumenten. Versie 2.0 voldeed echter nog niet aan alle verwachtingen van de opdrachtgevers. In 2010 zijn daarom kwaliteitseisen vastgesteld in de vorm van criteria waar het NHI aan zou moeten voldoen. Deze kwaliteitseisen zijn gericht op de toepassing van het NHI bij de landelijke analyse van de zoetwatervoorziening in het Deltaprogramma. De procedure om aan deze criteria te toetsen is vanaf 2010 geformaliseerd en is tussentijds toegepast om de toepasbaarheid te testen en de procedure te verbeteren. In dit rapport wordt verslag gedaan van de toetsing van NHI 3.0 aan de kwaliteitseisen die gesteld zijn voor het gebruik in het Deltamodel.

1.2 Leeswijzer

Deze rapportage beschrijft de toetsing van NHI 3.0. De modelresultaten worden vergeleken met de criteria die zijn opgesteld door RWS_STOWA en wordt gekeken naar de toepasbaarheid voor het Deltamodel-Zoetwaterverkenning. Daarbij wordt NHI3.0 ook vergeleken met de resultaten van NHI 2.2. De veranderingen in de schematiseringen en de software in NHI 3.0 ten opzichte van NHI 2.2 zijn vastgelegd in Hoogewoud et al, 2012.

Hoofdstuk 2 van dit rapport beschrijft de criteria en toetsing voor het verzadigde grondwater (MODFLOW). Hoofdstuk 3 gaat in op de toetsing voor de onverzadigde zone (metaSWAP). Hoofdstuk 4 beschrijft de toepassing van criteria en de toetsing voor het oppervlakte water (DM en MOZART). Conclusies en aanbevelingen volgen in de hoofdstukken 5 en 6.

2 Toetsing verzadigd grondwater

2.1 Inleiding

Het NHI omvat zowel het verzadigde - en onverzadigde grondwater. In dit hoofdstuk wordt de toetsing van het verzadigde grondwater beschreven. De berekende (freatische) grondwaterstanden en stijghoogtes (in de diepe pakketten) worden vergeleken met metingen uit de DINO-database. De toetsing gebeurt op karakteristieke waarden die de variatie en hoogte van de grondwaterstand beschrijven. In paragraaf 2.2 wordt getoetst aan de hand van de GHG (Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand) en GLG (Gemiddelde Laagste Grondwaterstand).

Tijdens de analyse voor de toetsing in eerder versie van NHI is gebleken dat de karakteristieke waarden (GLG, GHG, etc.) berekend uit metingen op punten niet overal goed zijn te vergelijken met de berekende karakteristieke waarden in het midden van een 250 bij 250 meter cel van NHI. Daarnaast blijkt de opschaling van maaiveld en waterpeilen naar deze celgrootte ook tot significante afwijking van een gerelateerd meetpunt te leiden. Daarom is geanalyseerd (bijlage1) hoe groot de ruis is die ontstaat door opschaling van maaiveld en peilen en door het omrekenen van puntmetingen naar een vlakgemiddelde waarde. De resultaten van deze analyse zijn gebruikt in de toetsing.

De toetsing van het uitputtingsverloop van de grondwaterstand in de zomer (ook wel dynamiek genoemd) heeft voor NHI3.0 niet plaats kunnen vinden. Een nieuwe methode hiervoor op basis van impuls respons relaties is getest op enkele peilbuizen. De methode blijkt de opschaling van puntwaarde naar celgemiddelde goed te kunnen doen. Echter blijkt deze methode een zorgvuldig samengestelde validatie set nodig te hebben voor gebruik in de toetsing van de dynamiek. Deze dataset bestaat momenteel nog niet. De toetsing van de dynamiek is daarom uitgevoerd als in de NHI2.2 namelijk op basis van de GLG en de GHG. Het uitputtingsverloop gedurende de droge zomer van 2003 is kwalitatief beoordeeld aan de hand van grafieken van 37 gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden verspreid over de belangrijkste wateraanvoergebieden in Nederland (bijlage 2).

2.2 Toetsing in deelgebieden

De toetsing van NHI is landelijk uitgevoerd en voor ruim 50 grote deelgebieden. Deze deelgebieden worden idealiter zo gekozen dat:

- geohydrologische systemen zo veel mogelijk beschreven worden in een eigen deelgebied;
- er genoeg ruimtelijke differentiatie is om een beeld te krijgen van de kwaliteit van NHI over de verschillende regio's in Nederland;
- de deelgebieden (meestal) zo groot zijn dat er minimaal 20 meetpunten aanwezig zijn;
- er een scheiding plaats vindt in gebieden met en zonder wateraanvoer.

Om pragmatische redenen is voor de toetsing van het grondwater de indeling in regio's gebruikt zoals die gedefinieerd is voor DP-Zoetwater (Figuur 2.1). Dit is gedaan omdat deze indeling beschikbaar is, aan veel van bovenstaande criteria voldoet en omdat de resultaten van de toetsing rechtstreeks gebruikt kunnen worden voor de toepasbaarheid van NHI voor het Deltaprogramma.

Toetsing NHI 2.1



Figuur 2.1 Gebiedsindeling gebruik bij de toetsing aan criteria voor het grondwater

2.3 GXG

2.3.1 Wat wordt er getoetst?

Voor zowel de berekende grondwaterstand als de gemeten grondwaterstand wordt een GHG en GLG berekend. Het verschil tussen de gemeten en berekende waarde wordt getoetst. Daarnaast wordt ook de gemiddelde langjarige dynamiek, gedefinieerd als het verschil tussen GHG en GLG, berekend en vergeleken.

2.3.2 Methode

2.3.2.1 Rekenperiode

Voor zowel de meetreeksen als de modelwaarden wordt een GHG en GLG bepaald. De GXG's zijn een gemiddelde over een periode van minimaal 8 jaar. Er is gekozen voor de periode april 1998 tot april 2006.

2.3.2.2 Bepalen GHG en GLG uit berekening

Voor de periode 1998-2006 worden de berekende freatische grondwaterstanden op de 14^{de} en 28^{ste} van de maand gesorteerd per jaar. De 3 laagste grondwaterstanden per jaar worden gemiddeld tot de LG3. De HG3 wordt op vergelijkbare wijze berekend uit de 3 hoogste grondwaterstanden per jaar. De aldus berekende HG3's en LG3's worden voor de rekenperiode gemiddeld en resulteren respectievelijk in de GHG en de GLG.

2.3.2.3 Selectie meetreeksen

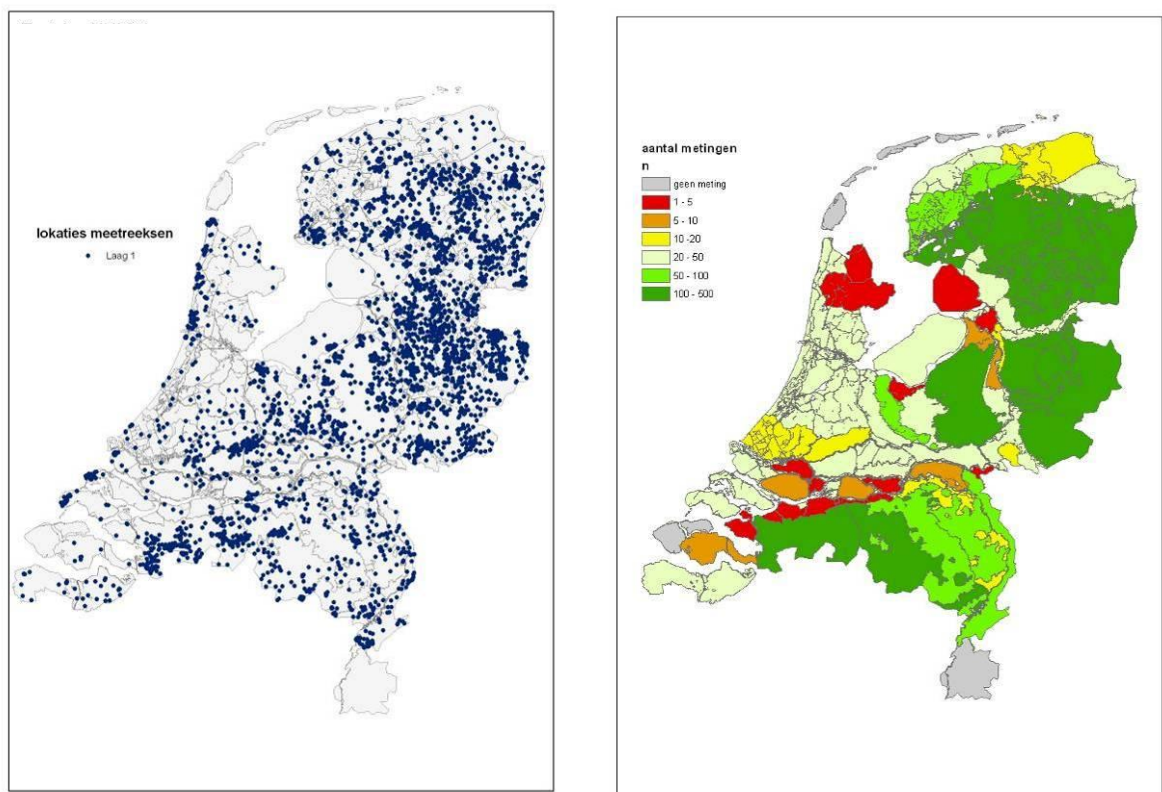
De DINO meetreeksen zijn als uitgangspunt gebruikt voor de toetsing van de grondwaterstanden. Niet elke meetreeks is geschikt om een GHG of GLG mee te bepalen.

Meetreeksen zijn vaak niet compleet en het is soms onzeker of ze wel in het freatisch pakket staan. Daarom is een selectie gemaakt uit de DINO dataset. Als de eisen aan de dataset te hoog worden gesteld, bijvoorbeeld een complete meetreeks voor de beschouwde periode, blijven er te weinig meetreeksen over om NHI te toetsen. De selectie is daarom een compromis tussen de kwaliteit van de meetreeks en genoeg meetreeksen kunnen selecteren om het NHI te toetsen.

De gebruikte selectie criteria zijn:

- Bovenkant filter bevindt zich binnen 2,5 meter van de met NHI 2.2. berekende GLG.
- In de periode 1998-2006 bevat de meetreeks elk jaar minimaal 12 14-daagse waarnemingen.
- De peilbuis bevindt zich niet binnen een straal van 1km van een in NHI 2.2 gemodelleerde onttrekking.
- De peilbuis heeft een afstand van minimaal 12,5 meter tot een hoofdwatgang.

Na toepassing van deze criteria zijn er ongeveer 3500 meetreeksen geselecteerd (figuur 2.2).



Figuur 2.2 Geselecteerde meetlocaties uit DINO voor toetsing aan GHG en GLG(links) en het aantal metingen per (grondwater)regio (rechts)

De metingen zijn toegedeeld aan de regio's in de toetsing. Figuur 2.2 rechts laat zien dat in enkele regio's eigenlijk te weinig (<5) metingen beschikbaar zijn voor een goede toetsing.

2.3.3 Criteria

In 2010 zijn door RWS-STOWA criteria opgesteld voor toetsing van de GXG's (tabel 2.1).

Tabel 2.1 Criteria aan grondwater opgesteld door RWS-STOWA

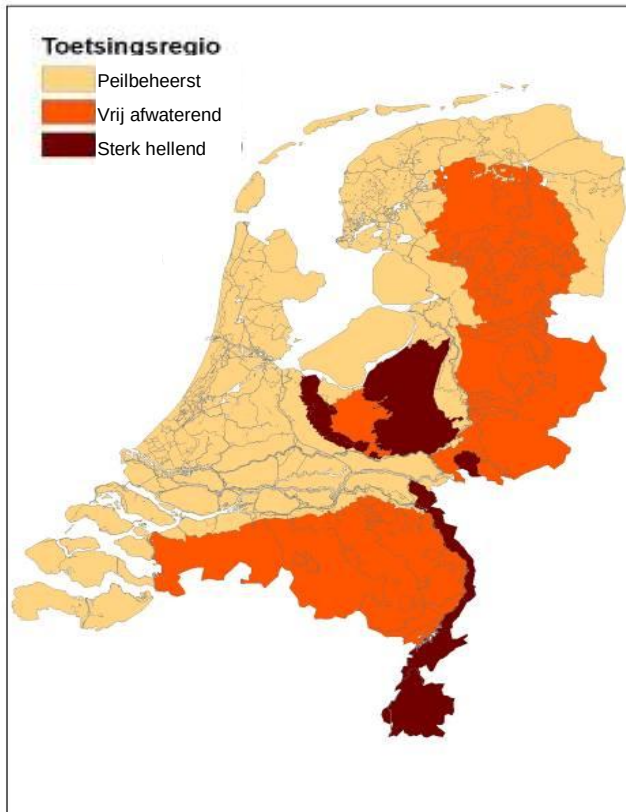
Indicator	Domein	Criterium 2010 & 2011		Criterium 2012
GHG's per district	grondwater	In 80% areaal: peilbeheerst max 25 vrij afwaterend max 50 cm sterk hellend 75cm. Dynamiek 25% afwijking	Dynamiek verdroging (uitputtingsverloop) en vernatting in het groeiseizoen max. 25% afwijking. Geen systematische afwijkingen	In 80% areaal : max 20 en 35 cm in resp. peilbeheerst en vrij afwaterend. in sterk hellend gebied grotere afwijkingen (50 cm). Dynamiek 25% afwijking
GLG's per district	grondwater	In 80% areaal : max 40 en 60 cm in resp. peilbeheerst en vrij afwaterend, in sterk hellend tot 100 cm. Dynamiek 25% afwijking	Dynamiek verdroging (uitputtingsverloop) en vernatting in het groeiseizoen max 25% afwijking. Geen systematische afwijkingen	In 80% areaal : max 30 en 50 cm in resp. peilbeheerst en vrij afwaterend, in sterk hellend tot 100 cm. Dynamiek 25% afwijking

Voor 2012 zijn deze criteria vertaald naar toetsbare criteria (tabel 2.2).

Tabel 2.2 Gebruikte NHI 3.0 criteria voor GHG, GLG en dynamiek

Indicator	Criterium
GHG (landelijk)	In 80% van de meetpunten in een gebied: Peilbeheerst: max. 20 cm afwijking Vrij afwaterend: max. 35 cm afwijking Sterk hellend: max. 50 cm afwijking Afwijking van de mediaan < 15 cm
GLG (landelijk)	In 80% van de meetpunten in een gebied: Peilbeheerst: max 30 cm afwijking Vrij afwaterend: max 50 cm afwijking Sterk hellend: max 100 cm afwijking Afwijking van de mediaan < 15 cm
Dynamiek (GHG-GLG)	In 80% van de meetpunten in een gebied: Afwijking kleiner dan 25% van de gemeten dynamiek Afwijking van de mediaan < 15 cm

Figuur 2.3 laat de indeling in gebiedstypen ruimtelijk verdeeld zien.



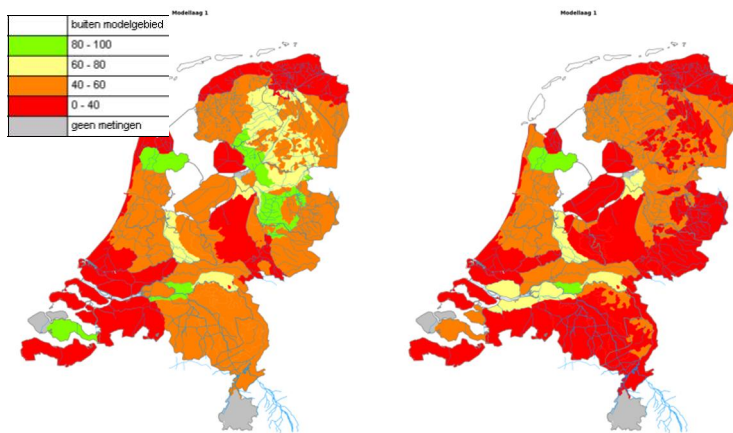
Figuur 2.3 Gehanteerde Indeling in toetsings-regio's toepassen van criteria.

2.3.4 Resultaten toetsing

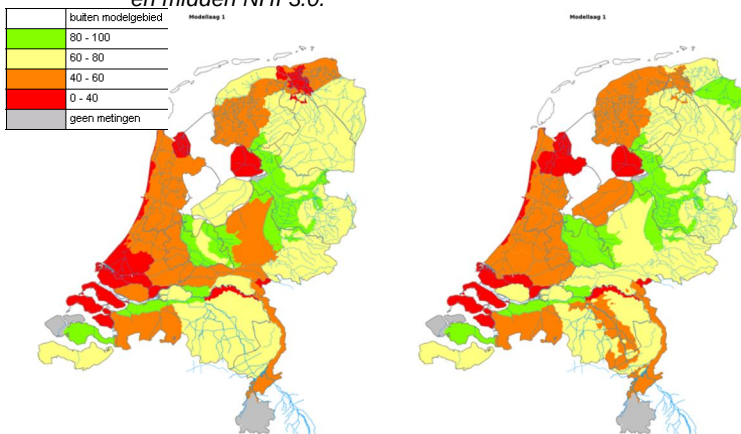
In figuur 2.4 zijn de grondwaterregio's die wel (groen) en niet (geel-rood) voldoen aan de criteria weergegeven. Zowel NHI 2.2 als NHI 3.0 voldoen niet aan de criteria.

NHI versie 3.0 voldoet op 40% van de meetlocaties aan de toetsingscriteria. Dit is vergelijkbaar met versie 2.2 (ook 40%). Landelijk beschouwd zijn de gemiddelde verschillen tussen NHI 3.0 en 2.2 dus beperkt. Er zijn regio's waar NHI 3.0 betere resultaten geeft dan NHI 2.2, maar ook regio's waar NHI 3.0 slechtere resultaten geeft. Een verandering van klasse kan, wanneer de GHG of GLG zich vlak bij de klassegrens bevinden, het effect zijn van een verandering in de GHG of GLG van enkele centimeters.

Ook leidt een (te) klein aantal peilbuizen (zie figuur 2.2) in een gebied tot grotere onzekerheden. In de huidige toetsingsprocedure is geen minimum aantal metingen gehanteerd om een uitspraak voor een regio te doen.



Figuur 2.4 Percentage van de freatische grondwaterstanden die voldoen aan het criterium voor GHG; links NHI2.2 en midden NHI 3.0.

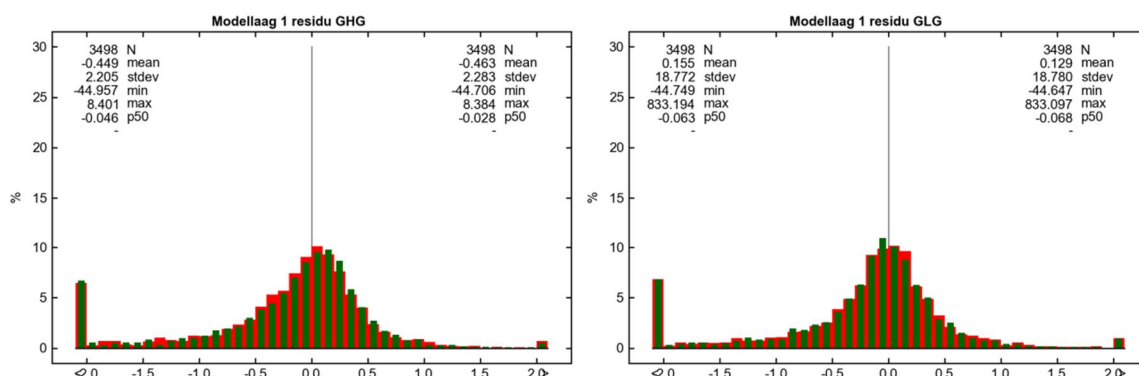


Figuur 2.5 Percentage van de freatische grondwaterstanden die voldoen aan het criterium voor GLG; links NHI2.2 en midden NHI 3.0.

De statische verdeling van de afwijkingen (residuen) is weergegeven in figuur 2.6. De histogrammen hebben hun piek rond de nul meter afwijking. De verdeling is iets scheef, hetgeen verklaard wordt doordat een grondwatermodel in principe wel veel te laag kan zijn, maar niet veel te hoog. De hoge grondwaterstanden worden afgetopt door de ontwateringsmiddelen (drainagebuizen, sloten, kanalen, etc.) en het maaiveld.

Het valt op dat de klasse < -2 meter behoorlijk groot is. Dit wordt veroorzaakt door metingen in Limburg en de Veluwe waar NHI grondwaterstanden tot wel 20 meter te droog berekent. In deze gebieden is de freatische waterstand in NHI niet bruikbaar, maar hindert dat niet omdat de onverzadigde zone zich totaal onafhankelijk daarvan gedraagt. De verticale afstand tussen het freatisch vlak en de onverzadigde zone is groter dan 5 meter hetgeen ervoor zorgt dat er geen terugkoppeling van beneden naar boven plaats vindt. De berekende resultaten voor verdamping zullen er niet door worden beïnvloed.

Gemiddeld berekent NHI3.0 een iets te hoge GHG en een iets te lage GLG, de afwijking van de mediaan is voor de GHG en de GLG is, met 5-7cm, kleiner dan de vereiste 15 cm. NHI3.0 voldoet aan het criterium voor de mediaan. De verschillen in de validatie statistieken tussen NHI 2.2 en NHI 3.0 zijn klein (zie onderstaande figuur en tabel).



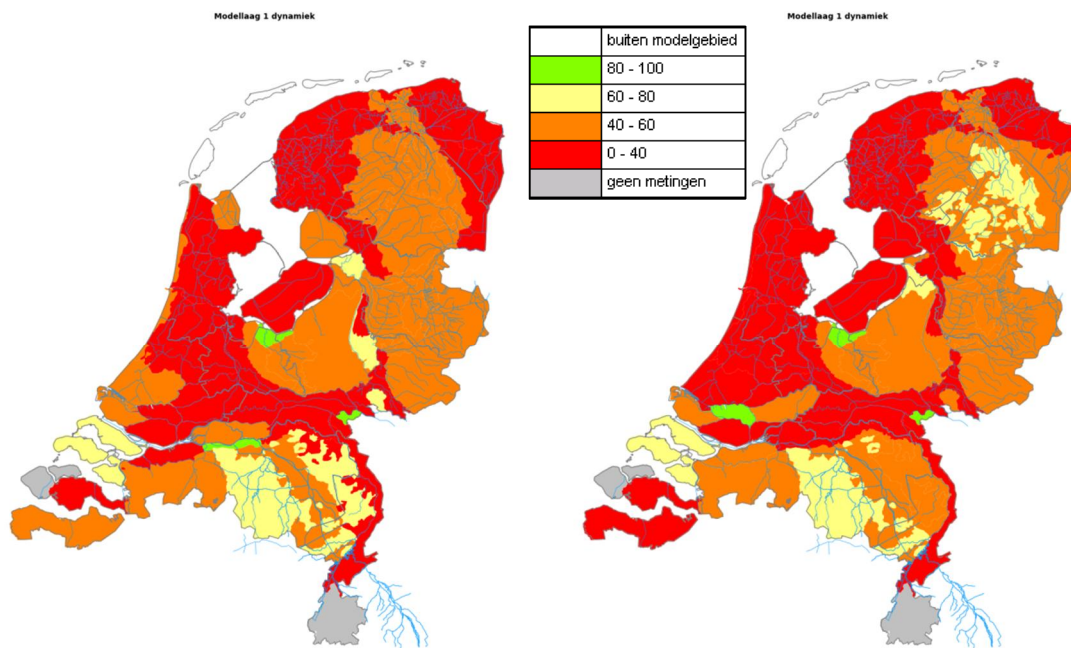
Figuur 2.6 Histogram (NHI2.2 rood; NHI3.0 groen) van de residuen voor GHG (links) en GLG (rechts) in stappen van 0,1 meter. Statistieken voor NHI2.2 links in de figuur en NHI 3.0 rechts.

Tabel 2.2 Resultaten van de toetsing voor NHI 2.2 en NHI 3.0

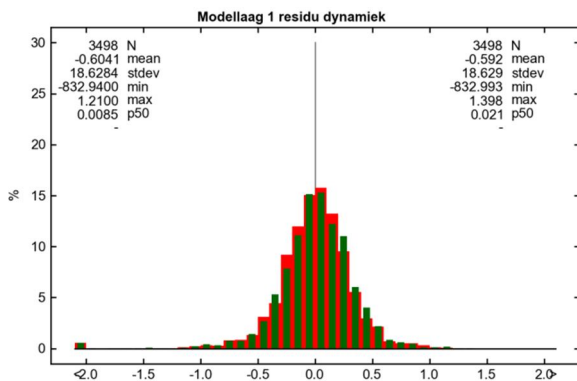
	NHI 2.2		NHI 3.0	
	Afwijking voldoet [%]	Mediaan [m]	Afwijking Voldoet [%]	Mediaan [m]
GHG	52	-0.05	51	-0.03
GLG	65	-0.06	66	-0.07
dynamiek	47	0.01	47	0.02

In 47% van de meetpunten is de afwijking in de berekende dynamiek kleiner dan 25%. De mediaan verschilt nauwelijks van de mediane meetwaarde (statistische maten in figuur 2.8). Gemiddeld is de berekende dynamiek iets te groot. De verdeling is vrijwel gelijk gebleven aan die in NHI2.2. De grondwaterdynamiek voldoet daarmee niet aan de gestelde criteria voor NHI 3.0.

Het valt op dat, in beide versies van NHI, de dynamiek minder goed gaat in redelijk vlakke, kleiige en peilbeheerste gebieden. Dit heeft wellicht te maken met het relatieve criterium. In peilbeheerste gebieden is vaak minder dynamiek aanwezig, en mag de afwijking in de berekende dynamiek dus ook minder groot zijn.



Figuur 2.7 Percentage van het aantal meetpunten waarop NHI voldoet aan de criteria voor dynamiek (GHG – GLG,) Links NHI 2.2, rechts NHI 3.0



Figuur 2.8 Histogram van de verschillen in dynamiek (GHG – GLG) tussen model en meting (stappen van 0,1 m rood NHI 2.2, groen NHI 3.0) Statistieken voor NHI 2.2 links in de figuur en NHI 3.0 rechts.

2.3.5 Evaluatie haalbaarheid criteria voor GLG, GHG en dynamiek

Zoals in de vorige paragraaf is aangegeven voldoet NHI wat GHG, GLG en dynamiek betreft voor een deel niet aan de gestelde criteria. Daarvoor zijn een aantal oorzaken aan te wijzen:

- 1 Het verschil tussen de puntwaarneming representatief voor ca 1-5m² en de celwaarde die het gemiddelde over een oppervlakte van 250 bij 250m² weergeeft;
- 2 Het verlies aan onderscheid in parameter variatie door schematisatie op 250m resolutie;
- 3 Het verschil in de werkelijk optredende oppervlaktewater peilen met de best mogelijke parameterisatie daarvan in NHI;
- 4 De betrouwbaarheid / onnauwkeurigheid van de meetset;
- 5 Het criterium voor dynamiek is relatief (25%), dus als de meting bijna geen dynamiek vertoont mag de afwijking slechts één of enkele cm zijn.

In bijlage A worden deze oorzaken nader uitgewerkt. Hieronder wordt een samenvatting weergegeven. Daarbij zijn oorzaken 1, 2 en 3 beschreven onder “effect van de celgrootte” en oorzaak 4 in “validatie aan onafhankelijke set van betrouwbare metingen”.

Effect van de celgrootte

Om het effect van middeling over de celgrootte van 250x250 meter enigszins te vergelijken met een puntwaarneming (representerend 1-5m²) zijn de resultaten van het regionale MIPWA-model voor noordoost Nederland met rekeneenheden van 25x25 m opgeschaald naar vlakken van 250x250 m. Voor beide celgroottes is de NHI toetsing toegepast voor het volledige modelgebied (Groningen, Friesland, Drenthe en Overijssel). Daarbij is onderscheid gemaakt tussen vlak, overwegend peil beheerst en hellend, veelal vrij afwaterend gebied.

De verschillen in de freatische grondwaterstand berekend op beide modelschalen en bepaald op basis van m+NAP vormen voor zowel een normale verdeling met een standaarddeviatie van 15 tot 25 cm. Daarbij zijn de verschillen in vlakke gebieden kleiner dan in hellende gebieden. Worden de verschillen bepaald ten opzichte van maaiveld, dan neemt de ruis toe. De standaard deviatie bedraagt in dit geval 30-40cm. voor de GXG. De residuen in dynamiek blijken niet wezenlijk anders voor vlakke of hellende gebieden.

Samenvattend

- De standaarddeviatie (ruis) is gelijk voor GHG en GLG;
- De standaarddeviatie (ruis) is 15-25 cm voor stijghoogten (m + NAP);
- De standaarddeviatie (ruis) is 25-40 cm voor grondwaterstanden (m –mv.) ;
- De verschillen tussen vlak en hellend gebied bedragen uitgedrukt in standaard deviatie ongeveer 10cm;
- De ruis in de dynamiek bedraagt 15-20 cm.

Door het opschalen van de resultaten van een model voor cellen van 25x25 m naar cellen van 250x250 m moet rekening worden gehouden met onnauwkeurigheden ofwel ruis. De verdeling van de verschillen en de bijbehorende standaarddeviaties geven een eerste indruk (onderschatting door opschaling vanaf 25 meter in plaats van punt = 1-2 meter) van de onzekerheid waar rekening mee moet worden gehouden bij vergelijken met een gemeten potentiaal of grondwaterstand binnen een cel met de afmetingen 250x250 m. Voor de GXG's bedraagt de standaarddeviatie van de resulterende normale verdeling 30-40 cm, voor de freatische grondwaterstand ten opzichte van NAP is deze kleiner:15-25 cm.

In NHI wordt sommige modelinvoer als gegeven beschouwd, dat wil zeggen dat deze niet gekalibreerd zal worden. Denk hierbij aan meteo-data en peilen van het oppervlaktewater, ligging van buisdrainage etc. Daarom moet bij het vergelijken met metingen ook de onnauwkeurigheid (ruis) in de modelinvoer worden meegenomen. De ruis in de modelinvoer wordt onder andere bepaald door de niet goed bekende, werkelijk optredende oppervlaktewaterpeilen. Ook zijn de drainageniveau's en de aanwezigheid van buisdrainage een bron van ruis. Daarbij komt nog de variatie in de doorlatendheid en berging van de bodem. De grootte van de ruis die hierdoor ontstaat is niet bekend. De afwijking (standaarddeviatie) in de peilen in NHI wordt geschat op 20 cm (binnen 250 meter cel). Ook in de metingen zelf komen onnauwkeurigheden voor zodat bij de vergelijking gemeten-berekend ook rekening moet worden gehouden met een ruis voor de meting. De LSK dataset (de onafhankelijke dataset van Alterra, zie later in deze paragraaf) is een zo goed mogelijke selectie van peilbuizen voor bepaling van GLG en GHG. De nauwkeurigheid waarmee een GLG en GHG daarin bepaald is, bedraagt waarschijnlijk zo'n 20 cm (pers. Mededeling T. Hoogland, Alterra).

De standaarddeviaties voor het opschalen van de celgrootte, de onzekerheid via modelparameters en de foutenmarge in de waarnemingen kunnen worden gecombineerd (M. Bierkens mondelinge mededeling) en kunnen worden gebruikt om criteria af te leiden om de prestaties van een model te toetsen aan metingen. Op deze basis is de totale ruis berekend voor een model met 250 meter celgrootte (tabel 2.4) in vergelijkbare eenheid als de RWS-STOWA criteria, namelijk voor geldend 80% van de waarnemingen.

Tabel 2.3 Maximale afwijking in berekeningsresultaten alleen door opschaling van data en onzekerheid in invoer voor een model met cellen van 250x250 m geldend voor 80% van de waarnemingen

	gebied	GHG	GLG	Dynamiek
Grondwaterstanden	Vlak	55cm	55cm	25cm
	Hellend	70cm	70cm	25cm

Van een model op schaal van het NHI zijn de resultaten dan ook onderhevig aan een onzekerheid met de bandbreedte gegeven in tabel 2.4. Dit nog afgezien van de meetnauwkeurigheid van meting van de grondwaterstand.

De conclusie is dan ook dat de door RWS-STOWA gedefinieerde criteria (tabel 2.1) voor het NHI dan ook feitelijk niet realiseerbaar te zijn. Het is dan ook zeer zinvol om voor de beoordeling van een volgende versie van het NHI te investeren in de verdere onderbouwing van de te hanteren criteria.

Desgewenst zouden ook de GXG's uit de Gt-actualisaties kunnen worden gebruikt voor de toetsing. Omdat dit voorspellingen zijn op basis van een model dat interpoleert tussen in het veld geschatte GXG's is hier gekozen voor toetsing aan de over langere periode frequent gemeten peilbuizen uit DINO. Omdat de GXG's met een hogere resolutie zijn geïnterpoleerd dan NHI rekent ligt vergelijken van ruimtelijke patronen voor de landelijke toepassing ook niet voor de hand.

Validatie aan onafhankelijke set van betrouwbare metingen

Knotters (2013 in prep.) voert in opdracht van STOWA een onafhankelijke validatie uit met behulp van de niet vrij beschikbare LSK dataset die uitsluitend is bedoeld validatie. Deze meetset voldoet aan strengere criteria met betrekking tot de ruimtelijke spreiding van de metingen dan de op DINO gebaseerde set van NHI. Daarnaast is ook de nauwkeurigheid van de GLG en GHG (bepaald met stambuis regressie) bekend. De GXG-waarden zijn al gecontroleerd op juistheid.

De frequentiediagrammen en de ruimtelijke verdelingen van LSK zijn vergeleken met die van NHI (bijlage 2). Overall bezien vertonen de frequentieverdelingen van LSK en NHI veel overeenkomsten. Voor de GLG komen de frequentieverdelingen van NHI en LSK goed overeen. De frequentieverdeling van de GHG is voor NHI vlakker en minder geprononceerd rond de 50 cm piek dan de LSK verdeling. De verschillen in de GHG en GLG zijn in het grootste deel van Nederland random verdeeld, maar er zijn ook regio's met overheersende verschillen: in Brabant (Centrale Slenk) en Noord Limburg berekent NHI overwegend lagere GHG's, in de achterhoek blijkt NHI vooral natter dan de LSK. Voor de GLG's zijn de verschillen minder duidelijk aanwezig i.e. meer random verdeeld.

Een van de oorzaken van de verschillen in de genoemde gebieden kan liggen in het optreden van schijnspiegels bijvoorbeeld in de sterk gelaagde ondergrond in de Centrale Slenk. Het NHI berekent geen schijnspiegels. NHI berekent dan grondwaterstanden systematisch dieper dan gemeten in de LSK dataset. De verschillen tussen LSK en NHI zullen in die situatie voor

de GHG's groter zijn dan voor de GLG's omdat deze laatste meer door het regionale grondwatersysteem worden bepaald.

2.3.6 Het uitputtingsverloop

Het uitputtingsverloop van de freatische grondwaterstand in een droge periode bepaalt in welke mate vochttekorten optreden en daarmee of de wateraanvoerbehoefte van de landbouw adequaat wordt berekend. Voor deze toetsing is een methode in ontwikkeling op basis van impuls-response relaties. Deze methode blijkt een zorgvuldig samengestelde validatie set nodig te hebben die momenteel nog niet bestaat en kan daardoor niet worden toegepast. Het uitputtingsverloop is daarom kwalitatief beoordeeld aan de hand van 37 gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden voor de periode 1996 - 2006 verdeeld over Nederland (bijlage 2). De 37 peilbuizen zijn geselecteerd binnen ca 10 gebieden waarin de landbouw voor de watervraag relevant is. Binnen elk gebied zijn random ca 3 peilbuizen geselecteerd waarin de gemeten grondwaterstand tenminste enigszins een relatie met de berekende grondwaterstand vertoont. De resultaten in bijlage 2 laten zien dat:

- NHI in het merendeel van de gepresenteerde grafieken een dynamiek in de grondwaterstand simuleert die vergelijkbaar is met de metingen.
- Bij metingen die sterk door het oppervlaktewaterpeil worden beïnvloed, berekend NHI meestal meer dynamiek.
- Het uitputtingsverloop, het diep uitzakken in een langere periode met neerslagtekort, wordt door NHI in veel buizen op vrijwel hetzelfde moment en met een vergelijkbare snelheid gerealiseerd als in de peilbuizen gemeten.
- De stijging na een diepe uitzakking wordt in ca. 80% van de gepresenteerde gevallen dicht bij het gemeten moment berekend en ook de snelheid van stijgen (de helling) is vaak vrijwel identiek.
- De lengte van de berekende periode met lage grondwaterstanden komt daardoor ook in vrijwel alle grafieken overeen met de gemeten situatie.
- In enkele meetpunten is een systematische vertraging in de berekende grondwaterstanden te zien van een of enkele decades. Deze vertraging komt in alle grondsoorten en hydrologische omstandigheden voor.
- Binnen de willekeurig geselecteerde buizen wordt de gemeten grondwaterstand vaak goed gesimuleerd, er zijn uitschieters die niet lijken maar ook zijn er buizen die bijzonder goed worden gesimuleerd.

2.3.7 Conclusies

Het NHI 3.0 voldoet op landelijke schaal niet aan de criteria voor GHG, GLG en dynamiek (tabel 2.5). De ruis die optreedt door opschaling van maaiveld, ondergrondparameters naar 250 meter celgrootte en de onzekerheden in actuele peilen tijdens droogte en in de ligging en diepte van drainagesystemen is groter dan de toegestane afwijking. Voor nationale toepassingen met celgroottes van 250x250. met de nu beschikbare invoergegevens en gebruikte metingen, lijken de mogelijkheden voor verbetering gelimiteerd door de modelschaal van NHI.

Tabel 2.4 Resultaten van toetsing van freatisch grondwater.

Indicator	Voldoet aan criterium 2012		Opmerking
	NHI 2.2	NHI 3.0	
Grondwater			
GHG	+/-	+/-	te strikt criterium
GLG	+/-	+/-	te strikt criterium
Grondwaterdynamiek	+/-	+/-	te strikt criterium

(- voldoet niet, +/- voldoet aan een deel van de (samengestelde) criteria, + voldoet)

Op basis van 37 goed verspreide meetpunten is geconcludeerd dat het uitputtingsverloop goed wordt gesimuleerd.

2.4 Diepe stijghoogten

2.4.1 Wat wordt er getoetst?

Het NHI bestaat uit zeven lagen waarin grondwaterstroming berekend wordt. In deze paragraaf wordt beschreven hoe de diepe stijghoogten in de diepe watervoerende pakketten (modellaag 2 tot en met 7) getoetst zijn. Voor de toetsing zijn in de tijd gemiddelde waarden gebruikt.

2.4.2 Methode

De beschouwde periode is april 1998 - april 2006. Dit is dezelfde periode die is beschouwd bij de toetsing van de freatische grondwaterstanden. Alle beschikbare metingen in de aangegeven periode worden lineair gemiddeld tot één gemiddelde stijghoogte per meetpunt.

De DINO meetreeksen zijn als uitgangspunt gebruikt. Niet elke meetreeks is geschikt om een gemiddelde stijghoogte mee te berekenen. Meetreeksen zijn vaak niet compleet en soms staat het filter in een scheidende modellaag, waardoor het niet representatief is. Daarom is een selectie gemaakt uit de DINO meetset. Als er te hoge eisen aan de meetset worden gesteld, bijvoorbeeld een complete meetreeks voor de beschouwde periode, blijven er te weinig meetreeksen over om NHI te toetsen. De selectie is daarom een compromis tussen de kwaliteit van de meetreeksen om toch nog genoeg meetreeksen selecteren om het NHI te kunnen toetsen.

De gebruikte selectie criteria zijn:

- Het filter bevindt zich binnen de in NHI geschematiseerde watervoerende modellagen.
- In de periode 1998-2006 bevat de meetreeks minimaal 12 14-daagse waarnemingen per jaar.
- De meetreeks bevindt zich niet binnen een straal van 1km van een in NHI 2.2 gemodelleerde onttrekking.

Na toepassing van deze criteria zijn er ongeveer 6500 meetreeksen geselecteerd.

2.4.3 Criteria

In samenspraak met RWS waterdienst en STOWA zijn de criteria in Tabel 2.5 vastgesteld. Deze zijn voor WVP1 strenger dan de criteria van 2010 en 2011. Voor dit WVP is nu een afwijking van 50cm in plaats van 100 cm toegestaan. WVP 1 is voor de toetsing pragmatisch vertaald als zijnde modellaag 2 in NHI 3.0. In werkelijkheid kunnen ook andere modellagen deel uit maken van WVP1. Dit verschilt echter per regio en is ook afhankelijk van de

gehanteerde definitie van het WVP. Bij de diepe stijghoogten wordt landelijk getoetst op het aantal metingen dat voldoet en wordt daarnaast de ruimtelijke spreiding in beeld gebracht.

Tabel 2.5 Gebruikte criterium voor NHI 3.0 (diepe) stijghoogten

	criterium
WVP 1 (Modellaag 2)	In 80% van de meetpunten maximaal 50 cm afwijking. Mediaan van de afwijking < 15 cm.
Diepe grondwaterstanden (modellaag 3-7)	In 80% van de meetpunten per modellaag maximaal 100 cm afwijking. Mediaan van de afwijking < 15 cm.

2.4.4 Resultaten

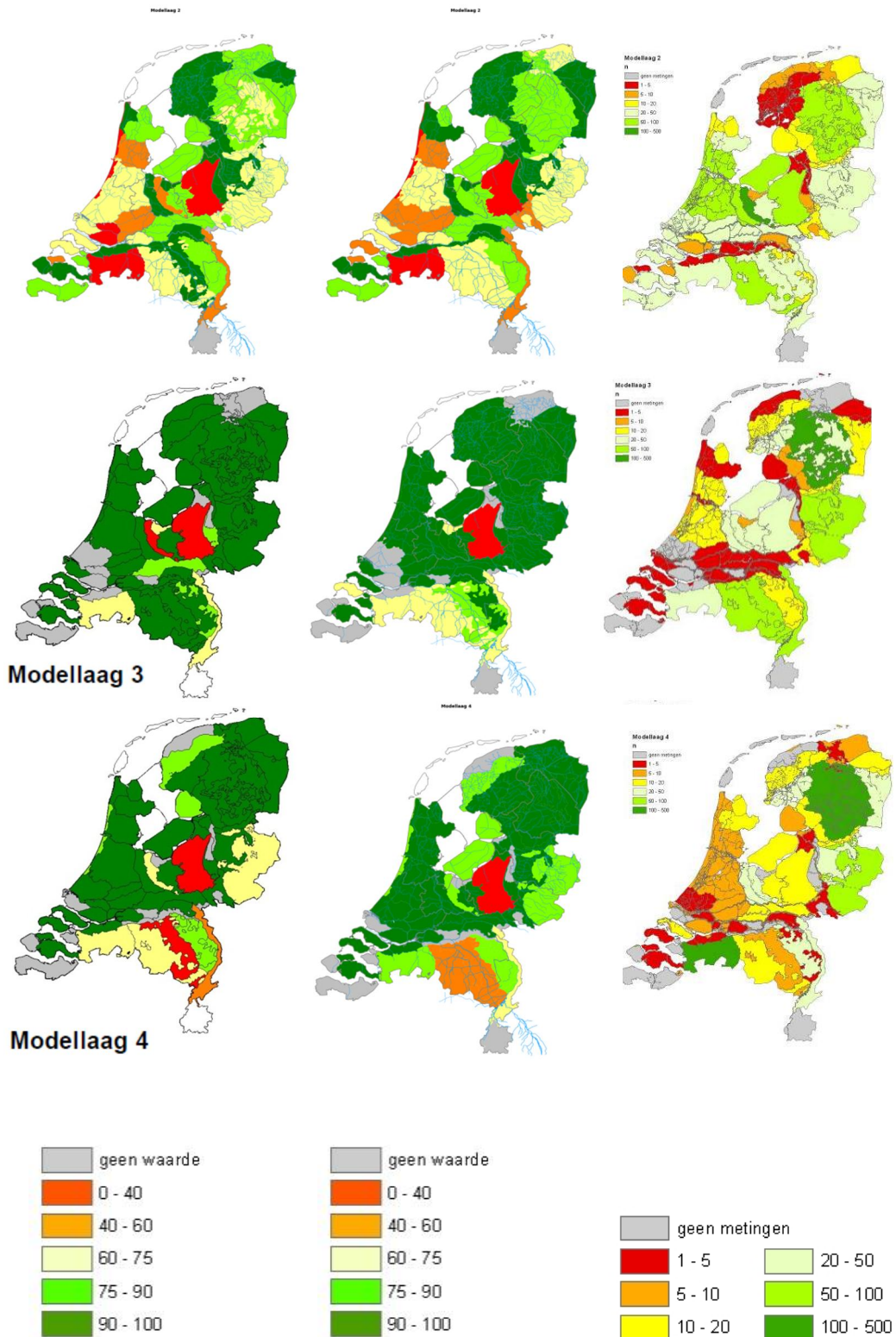
De resultaten van de toetsing voor de diepe stijghoogten zijn weergegeven in Tabel 2.6. Er is een correctie uitgevoerd op diepe stijghoogten in zout grondwater. De ruimtelijke spreiding is weergegeven in Figuur 2.9. De diepe stijghoogten van modellaag 3 tot en met 5 voldoen op landelijke schaal aan de gestelde criteria voor de gemiddelde stijghoogte. De stijghoogten van laag 2, 6 en 7 voldoen met meer dan 70% goed niet aan het criterium. De modellering van de stijghoogten in de diepe lagen is iets verbeterd in NHI 3.0. In de diepe lagen is de schematisering van enkele pakketten door regionale inbreng met name in Brabant ook sterk veranderd.

Verder geldt voor de diepe pakketten dat er maar weinig metingen zijn gebruikt, en de toetsing daardoor minder betrouwbaar is. Voor toepassing van het NHI in de zoetwatervoorziening zijn de resultaten van deze lagen ook minder relevant. Er is geen minimum aantal metingen gesteld om een uitspraak te doen voor een regio. Het is aan te bevelen om hier een goede set waarnemingen op te stellen, wellicht op basis van datasets van regionale modellen.

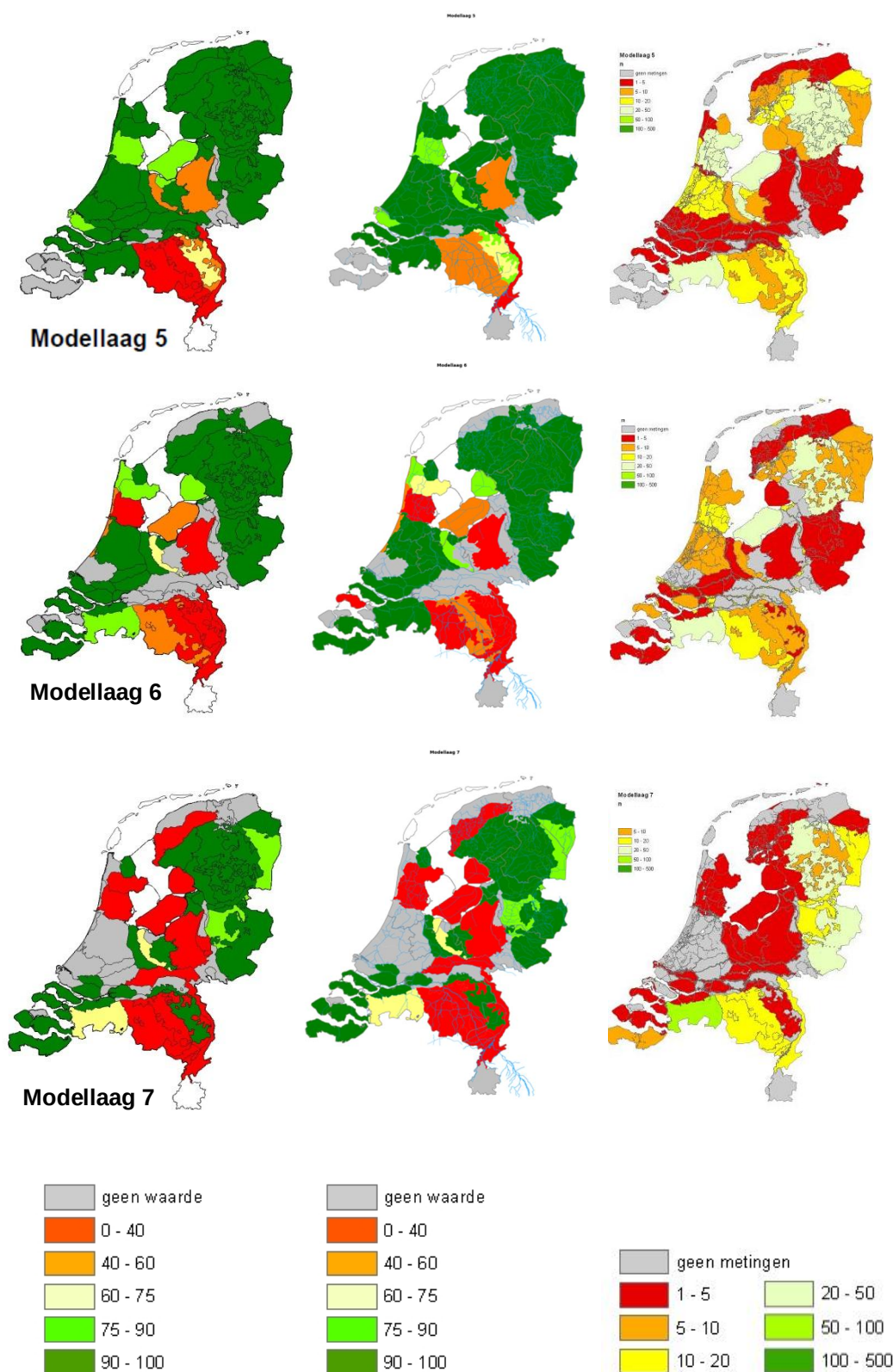
Tabel 2.6 Statistieken van de residuen van de gemiddelde stijghoogten in laag 2 tot 7

Modellaag diepe grondwater	NHI 3.0				NHI 2.2
	Mediaan [m]	Gemiddelde [m]	St. afwijking [m]	Deel metingen dat voldoet aan criterium [%]	Deel metingen dat voldoet aan criterium [%]
Laag 2	-0.01	0.09	0.86	71	70
Laag 3	-0.05	-0.02	0.71	89	87
Laag 4	-0.11	-0.17	0.82	89	86
Laag 5	-0.04	-0.09	0.78	90	82
Laag 6	-0.03	-0.15	1.19	72	72
Laag 7	-0.30	-0.45	0.87	78	74

Modellaag 2 voldoet net niet aan de strengere criteria van 2012. Gelet op de prestaties van NHI 3.0 in het freatische pakket was dit te verwachten. In grote delen van oost Nederland waar de meeste metingen liggen zijn de verschillen tussen modellaag 1 en 2 niet groot.



Figuur 2.9A Per modderlaag het percentage stijghoogten dat voldoet aan het criterium (links NHI 2.2, midden NHI 3.0 en rechts het aantal metingen per gebied).



Figuur 2.9B

Per modellaag het percentage stijghoogten dat voldoet aan het criterium (links NHI 2.2, midden NHI 3.0 en rechts het aantal metingen per gebied)

2.4.5 Conclusie diepe stijghoogten

De diepe stijghoogten van modellaag 3 tot en met 5 voldoen op landelijke schaal aan de gestelde criteria voor de gemiddelde stijghoogte. De stijghoogten van laag 2,6 en 7 voldoen, met waarden tussen 70 en 78% goed, net niet aan het criterium.

2.5 Conclusies grondwater

De met NHI berekende freatische grondwaterstanden (GHG, GLG) voldoen net niet aan de door de opdrachtgevers gedefinieerde criteria, de dynamiek voldoet wel aan het criterium. De ruis die optreedt door opschaling van maaiveld, ondergrondparameters naar 250 meter celgrootte en de onzekerheden in actuele peilen tijdens droogte en in de ligging en diepte van drainagesystemen is aanzienlijk groter dan de toegestane afwijking. Voor nationale toepassingen met celgroottes van 250x250 kan met de nu beschikbare invoergegevens niet meer van het NHI3.0 worden verwacht. NHI3.0 presteert wat freatische grondwaterstanden betreft gelijkwaardig aan NHI 2.2.

De stijghoogten van NHI3.0 zijn licht verbeterd ten opzichte van dan die van NHI2.2 en voldoen met uitzondering van lagen 2 en 6 aan het gestelde criterium. Beide lagen voldoen net niet aan de gestelde criteria. Voor laag 7 (waarvoor weinig metingen zijn) wijkt de mediaan af.

Bij de toetsing is soepel omgegaan met de kwaliteitscriteria voor de meetgegevens om er voor te zorgen dat er voldoende meetpunten zijn en voor veel gebieden uitspraken te kunnen doen. De betrouwbaarheid van de uitspraken is daardoor in deze regionale deelgebieden wel beperkt.

Tabel 2.7 Samenvatting van de toetsing van verzadigd grondwater

Indicator	Voldoet aan criterium 2012		Opmerking
	NHI 2.2	NHI 3.0	
Grondwater			
GHG	+/-	+/-	Huidige criteria niet goed onderbouwd voor de schaal van NHI
GLG	+/-	+/-	Huidige criteria niet goed onderbouwd voor de schaal van NHI
Diep grondwater	+/-	+/-	Huidige criteria niet goed onderbouwd voor de schaal van NHI
Grondwaterdynamiek	+/-	+/-	

(- voldoet niet, +/- voldoet aan een deel van de (samengestelde) criteria, + voldoet)

3 Toesting evapotranspiratie en berekening

3.1 Inleiding

Of NHI 3.0 het gecombineerde gedrag van het landgebruik, landoppervlak en de onverzadigde zone adequaat beschrijft wordt getoetst door de berekende evapotranspiratie en berekening te vergelijken met beschikbare metingen zoals satellietwaarnemingen, en geregistreerde onttrekkingen voor berekening.

De criteria waaraan bij de oplevering in 2012 moet worden voldaan zijn in 2010 vastgelegd (Kwaliteitscriteria voor het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium, Kroon et al, 2010). Deze criteria zijn besproken met diverse overlegorganen en partijen. Met enkele aanscherpingen van de projectgroep NHI zijn deze criteria in verkorte vorm overgenomen in het rapport "Deltamodel; Functionele specificaties en kwaliteitseisen" (Kroon en Ruijgh 2011). Daarbij is onderscheid gemaakt tussen criteria voor grovere modelanalyses (screening) en de criteria voor verfijndere analyses (tabel 3.1). De laatste zijn leidend voor de oplevering van NHI 3.0. Er mag worden afgeweken van de criteria, mits goed is onderbouwd waarom niet aan de criteria kan worden voldaan.

Tabel 3.1 Voor evapotranspiratie en berekening voor het Deltamodel vastgelegde criteria

Indicator	Oorspronkelijke criteria NHI (Kroon et al, 2010)	Bijgestelde criteria Deltamodel (Kroon en Ruijgh, 2011)
Evapotranspiratie	Maandelijks (groeiseizoen) en jaarlijkse evapotranspiratie langjarig gemiddeld en in afzonderlijke droge jaren: landelijke patronen vergelijkbaar met landelijke satellietbeelden, max 30% resp. 25% (landelijk en regionaal) afwijking	1) In 80% van de meetpunten: maandelijks evapotranspiratie groeiseizoen max 25 % afwijking. 2) Gemiddelde verschil NL maximaal 5% per jaar. 3) Landelijke patronen vergelijkbaar met landelijke satellietbeelden, 4) In 80% zoetwaterregio's max 25% verschil per maand in het zomerhalfjaar
Berekening	Max 25% resp. 20% (landelijk en regionaal) verschil met literatuur (LEI-rapportage 2003 of nieuwe info)	1) Berekening in 80% regio's (zoetwater of LEI): max 20% verschil met literatuur. 2) De verhouding tussen de hoogste en laagste jaarsom heeft per regio een maximale verschil van 25% op basis van LEI-gegevens.

In de criteria zijn naast jaarbalansen ook maandbalansen in het groeiseizoen genoemd. Naast toetsing in (recente) gemiddelde jaren, wordt ook aandacht gevraagd voor de prestatie in een extreem droog jaar (1976), met name de reductie van de evapotranspiratie moet plausibel zijn. Tot slot zijn landelijke gemiddelden genoemd en toetsing in deelgebieden. In de volgende paragrafen wordt op basis van beschikbare meet- en datasets zo veel mogelijk tegemoet gekomen aan de toetsing van bovenstaande criteria.

Voor de toetsing van de actuele evapotranspiratie zijn er beperkt data beschikbaar. Directe metingen ontbreken vrijwel: de actuele evapotranspiratie is slechts op een paar plaatsen in

Nederland gedurende een jaar gemeten. Wel kan een landsdekkend beeld worden verkregen door een vergelijking te maken met de evapotranspiratie geschat uit satellietbeelden en op basis van waterbalansen. Daarbij moet er rekening mee worden gehouden dat deze gegevens (ten dele) ook weer gebaseerd zijn op modellen en schattingen waardoor sprake is van een vergelijking in plaats van een toetsing.

Bij de evapotranspiratie wordt eerst gekeken naar de landelijk gemiddelde waarden en waar mogelijk per informatiebron nader in de tijd en ruimte gedifferentieerd. Achtereenvolgens worden de volgende toetsingsresultaten besproken:

- 1.1 Toetsing van de actuele evapotranspiratie op jaarbasis aan metingen op specifieke locaties. Voor de Hupsel wordt ingezoomd op de maandelijkse variatie en wordt de evapotranspiratie in het zomerhalfjaar van het extreem droge jaar 1976 getoetst.
- 1.2 Toetsing van de actuele evapotranspiratie op basis van waterbalansen van stroomgebieden.
- 1.3 Toetsing van de ruimtelijke en temporele verschillen in de actuele evapotranspiratie op basis van (wekelijkse) satellietbeelden voor de jaren 1995, 2003 en 2006. Voor het jaar 2006 is aanvullende informatie beschikbaar over de maandelijkse variatie.

De berekende berekening wordt getoetst aan de mei-tellingen¹ (waarin de toegepaste berekening wordt geïnventariseerd). Ook bij berekening moet er rekening mee worden gehouden dat de beschikbare data beperkingen kennen. Het beeld bestaat dat de landelijke registratie van het LEI een onderschatting vormt van de werkelijke berekening. De berekening is daarom niet alleen getoetst aan deze landelijke dataset, maar is ook aanvullend getoetst aan recente metingen in Noord-Brabant en Flevoland, die als meer representatief worden beschouwd.

Naast de toetsing aan de criteria voor NHI 3.0 zijn ook de eerder voor NHI 2.2. gevonden verschillen ter informatie gepresenteerd.

3.2 Evapotranspiratie gemeten op specifieke locaties

3.2.1 Methode

In de periode 1996-2009 is door Alterra op twaalf specifieke locaties (figuur 3.1) één jaar lang de actuele evapotranspiratie gemeten (Elbers e.a., 2009).

De metelling is een jaarlijks terugkerende vragenlijst voor boeren waarin ze informatie moeten geven over de bedrijfsvoering. Op basis hiervan worden o.a. subsidies vastgesteld.



Figuur 3.1 Locatie van de twaalf meetpunten waar de actuele evapotranspiratie is gemeten (uit: Elbers e.a., 2009)

Voor deze locaties is de gemeten cumulatieve evapotranspiratie (jaarlijkse som in mm) voor een meetperiode van één jaar vergeleken met de voor het corresponderende jaar berekende cumulatieve evapotranspiratie van het NHI in de rekencel waarbinnen de meetlocatie is gepositioneerd.

De berekende evapotranspiratie voor het extreem droge jaar 1976 is vergeleken met de in Hupsel in 1976 gemeten evapotranspiratie. Ook is met behulp van deze dataset de evapotranspiratie (som in mm) in het zomerhalfjaar van 1976 op maandbasis vergeleken met de berekende cumulatieve evapotranspiratie van het NHI. In de periode 1976-1978 is door de toenmalige Landbouwhogeschool Wageningen uitgebreid hydrologisch onderzoek verricht in het stroomgebied van de Hupsel en is onder andere de actuele evapotranspiratie gemeten. De gemeten evapotranspiratie is gekoppeld aan de gemeten afvoeren om de evapotranspiratie per tijdstap op stroomgebiedsniveau te bepalen. Omdat dit gebied als gevolg van een ondiep voorkomende ondoorlatende kleilaag nauwelijks verbinding heeft met een regionaal grondwatersysteem en er nauwelijks wordt berekend is dit een ideaal proefgebied om dergelijke metingen uit te voeren. De gegevens zijn verwerkt in de CHO-TNO publicatie: Verslagen en Mededelingen 28 (1981): "Evaporation in relation to Hydrology", hoofdstuk 5. Deze toetsing wordt voor NHI 3.0 voor het eerst uitgevoerd, deze dataset was eerder niet beschikbaar. De verdampingsreductie in het extreem droge jaar 1976 is aanzienlijk. De vergelijking tussen de gemeten en berekende waarden geeft daarom antwoord op de vraag of het NHI in dergelijke extreem droge perioden de verdampingsreductie plausibel berekend.

Voor deze toetsing zijn de relevante criteria (tabel 3.1):

- 1) In 80% van de meetpunten bedraagt het verschil tussen de gemeten en berekende maandelijkse evapotranspiratie in het groeiseizoen maximaal 25 %.
- 2) Gemiddelde verschil tussen de gemeten en berekende evapotranspiratie voor de evapotranspiratie in een jaar bedraagt gemiddeld voor Nederland maximaal 5%.

Het eerste criterium is in lijn met de oorspronkelijke criteria toegepast voor de afzonderlijke meetlocaties. Door in de Hupsel (één punt) de maanden als afzonderlijke meetpunten te bezien kan dit criterium worden toegepast voor de toetsing van de maanden. Het tweede criterium is relevant wanneer verondersteld wordt dat de 12 meetlocaties een representatieve steekproef vormen om de evapotranspiratie voor Nederland te beschrijven. Bij gebrek aan een grotere dataset gaan we hier van uit voor de toetsing van de jaargemiddelde evapotranspiratie.

3.2.2 Resultaten jaarsommen

De resultaten voor de evapotranspiratie op jaarbasis staan in onderstaande tabel. De berekende evapotranspiratie voldoet voor alle metingen aan het criterium van maximaal 25% afwijking. Het gemiddelde verschil van alle meetpunten bedraagt 3.1% in NHI 3.0. Daarmee wordt in NHI 3.0, net als in NHI 2.2, voldaan aan het criterium voor het jaargemiddelde voor Nederland.

Tabel 3.2 Vergelijking tussen de gemeten en met NHI 3.0 & 2.2 berekende evapotranspiratiesom op 12 locaties (kleurcode geel > 25% afwijking, groen <= 25%).

Naam	Vegetatie	Bodem	Periode	Gemeten (mm)	Berekend (mm)	Vershil (%) 2.2	Vershil (%) 3.0
Bankenbos	Lariks	Zand met keileem	1996	519	559	12	8
Fleditebos	Populier	Klei	1996	636	529	-19	-17
Kampina	Gemengd	Zand	1996	540	536	16	-1
Cabauw	Gras	Liedeerd	1996	567	469	-15	-17
Haastrecht	Gras	Liedeerd	2003-2004	548	544	-12	-1
Langerak	Mais	Liedeerd	2005-2006	530	595	0	12
Molenweg	Aardappel	Poldervaag	2005-2006	474	556	22	17
Dijkgraaf	Mais	Beekeerd	2005-2006	580	578	-14	0
Lutjewad	Wintertarwe	Poldervaag	2006-2007	523	512	15	-2
Oostwaard	Wilgen	Klei	2008-2009	577	654	-3	13
Vredepeel	Bieten	Veldpodzol	2006-2007	558	557	-2	0
Loobos	Grove den	Duinvaag	2006	496	621	22	25
Gemiddelde afwijking						2	3
Aantal meetpunten met verschil > 25%						0	1
Percentage meetpunten met verschil > 25 %						0	8

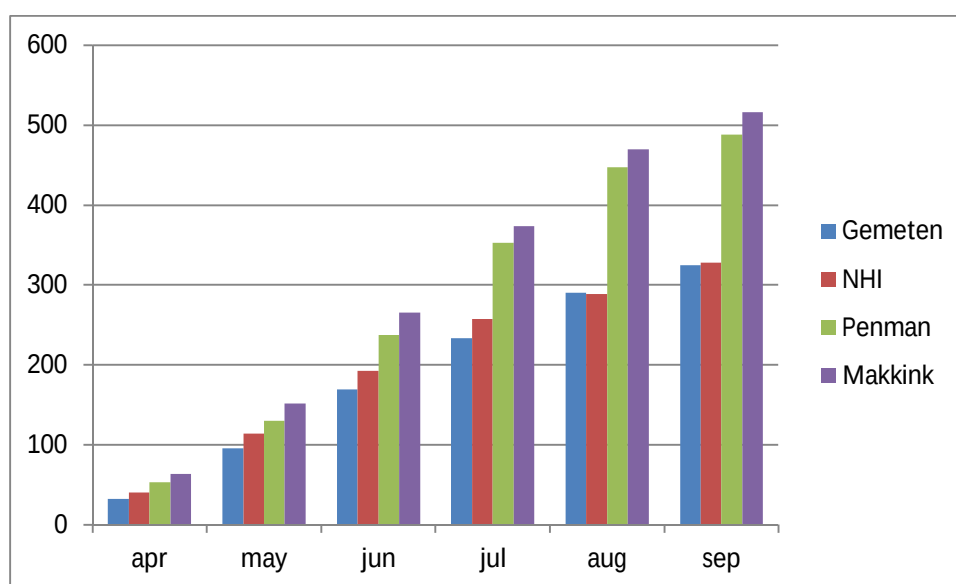
De verschillen tussen gemeten en berekende evapotranspiratie op jaarbasis blijken voor alle punten aan het criterium van 25% te voldoen waarbij de helft van de punten verschillen kleiner dan 10 % heeft. Ieder meetpunt heeft een "eigen verhaal", met name de meetpunten met bos geven zeer verschillende resultaten. De gemeten evapotranspiratie van de populieren van het Fleditebos is zeer hoog is (636 mm in 1996), terwijl in de naaldbossen van Bankenbos (in 1996) en Loobos (in 2006) relatief lage evapotranspiratie is gemeten. In het model wordt juist voor naaldbossen (gedefinieerd als donker naaldbos) een hogere evapotranspiratie berekend en voor populierenbos (gedefinieerd als loofbos) een lagere evapotranspiratie. Uit de metingen blijkt dat het type bos zeer bepalend is voor de actuele evapotranspiratie. De landgebruiksclassificatie van het LGN maakt echter alleen onderscheid tussen loofbos en naaldbos, waardoor er binnen het NHI geen verdere onderscheid kan worden gemaakt. Het hydrologisch relevant onderscheid tussen donker- en licht naaldbos en tussen populierenbos en loofbos kan op basis van LGN niet worden gemaakt.

Ook de bodem speelt bij het verklaren van de verschillen een rol: de graspercelen van zowel Cabauw als Haastrecht liggen op liedeerdgronden (tabel 3.2). In het NHI is weliswaar in beide gevallen sprake van een klei op veen profiel (eenheid 101 respectievelijk 404), maar blijkt eenheid 101 (veengrond bij Cabauw) aanzienlijk droogtegevoeliger te zijn dan eenheid 404 (kleigrond bij Haastrecht). De maïspcelen van Langerak en Dijkgraaf laten voor dezelfde periode jaargemiddeld een acceptabel resultaat zien. De berekende evapotranspiratie van het aardappelen bij Molenweg is in hetzelfde jaar aanzienlijk hoger dan gemeten; de aardappelen worden in het model berekend, in het rapport over de metingen wordt berekening niet genoemd. Om meer inzicht te krijgen in de overeenkomsten en verschillen

van NHI en de meetlocatie is een uitgebreide vergelijking per locatie noodzakelijk waarbij schematisering, data en waterbalansen worden vergeleken.

3.2.3 Resultaten seizoens- en maandsommen

In figuur 3.2 met de cumulatieve evapotranspiratie op maandbasis blijkt dat de evapotranspiratie door het NHI aanvankelijk (tot juni/juli) wordt overschat, maar dat in de maand augustus de evapotranspiratie wordt onderschat, waardoor cumulatief over het zomerhalfjaar de berekende evapotranspiratie goed overeenkomt met de gemeten. De gemeten verdampingsreductie (Eac t.o.v. EPenman) bedraagt 33 %, de berekende ETact t.o.v. ETref) bedraagt 36 % en benaderd de gemeten reductie goed.



Figuur 3.2 Vergelijking van de gemeten en berekende cumulatieve actuele evapotranspiratie, alsmede de (potentiële) Penman en Makkink evapotranspiratie voor de periode apr-sep 1976 voor de meetlocatie Hupsel

De gemeten evapotranspiratie in het zomerhalfjaar voor Hupsel bedraagt 325 mm, de berekende evapotranspiratie komt daar met 328 mm zeer dicht in de buurt (tabel 3.3). Hiermee wordt voor het zomerhalfjaar ruimschoots voldaan aan het toetsingscriterium van 25%.

Tabel 3.3 De gemeten en met NHI 3.0 berekende evapotranspiratiesom voor het zomerhalfjaar van 1976 voor Hupsel (kleurcode geel > 25% afwijking, groen <= 25%).

Naam	Periode	Gemeten (mm)	Berekend (mm)	Vershil (%) 2.2	Vershil (%) 3.0
Hupsel	April 1976	33	41	n.a.	25
Hupsel	Mei 1976	63	73	n.a.	16
Hupsel	Juni 1976	74	79	n.a.	8
Hupsel	Juli 1976	64	65	n.a.	1
Hupsel	Augustus 1976	57	31	n.a.	-45
Hupsel	September 1976	34	40	n.a.	15
Hupsel	Zomer 1976	325	328	n.a.	1

Op maandbasis blijkt de berekende evapotranspiratie de gemeten evapotranspiratie met 1 tot 10 mm per maand te overschatten behalve voor de maand augustus, wanneer de droogte op

zijn hoogtepunt is: de berekende evapotranspiratie is dan 26 mm (45 %) lager dan de gemeten evapotranspiratie waardoor het totaal voor het zomerhalfjaar goed overeenkomt. De onderschatting in augustus lijkt het gevolg te zijn van de structureel iets hogere evapotranspiratie in de voorgaande periode waardoor de hoeveelheid beschikbaar water te vroeg wordt gebruikt. Deze terugkoppeling zorgt er voor dat de evapotranspiratie en het verdampingstekort in 1976 voor de Hupsel voor het zomerhalfjaar adequaat worden gesimuleerd. Om na te gaan hoe structureel (andere locaties en andere jaren) dit veronderstelde modelgedrag optreedt is het noodzakelijk dezelfde of vergelijkbare gedetailleerde analyses voor andere datasets uit te voeren.

De Hupsel is een hydrologisch eenvoudig gebied zonder regionale interactie waardoor de simulaties de werkelijkheid redelijk goed zouden kunnen beschrijven. De Hupsel kan daardoor worden beschouwd als het ideale proefgebied om de in NHI gesimuleerde actuele evapotranspiratie te toetsen. Aan de andere kant is de Hupsel door deze bijzonder situatie niet zonder meer representatief voor de rest van Nederland waar grotere verschillen in gesimuleerde hydrologische balansen termen dan in Hupsel waarschijnlijk lijken.

3.2.4 Conclusies

Bij de toetsing van de berekende (actuele) evapotranspiratie op jaarbasis aan op specifieke locaties gemeten evapotranspiratie voldoet NHI 3.0 aan de gestelde criteria.

De met NHI 3.0 berekende evapotranspiratie van het extreem droge zomerhalfjaar 1976 in het stroomgebied van de Hupsel benadert de metingen. De berekende verdampingsreductie voor deze extreem droge zomer komt eveneens nagenoeg overeen met de gemeten verdampingsreductie. Het model lijkt de verdampingsreductie in dergelijke extreem droge perioden adequaat te beschrijven. Het blijkt evenwel dat in de maand augustus, als de droogte op zijn hoogtepunt is, de verdampingsreductie door het model behoorlijk wordt overschat, terwijl er eerder in het groeiseizoen sprake is van een onderschatting. In de maand augustus wordt niet voldaan aan de eis van het (25%)-criterium, wanneer de maanden als afzonderlijke metingen worden beschouwd wordt over het zomerseizoen gezien voldaan aan het (80/25%)-criterium.

3.3 Actuele evapotranspiratie per gebied op basis van waterbalansen

3.3.1 Methode

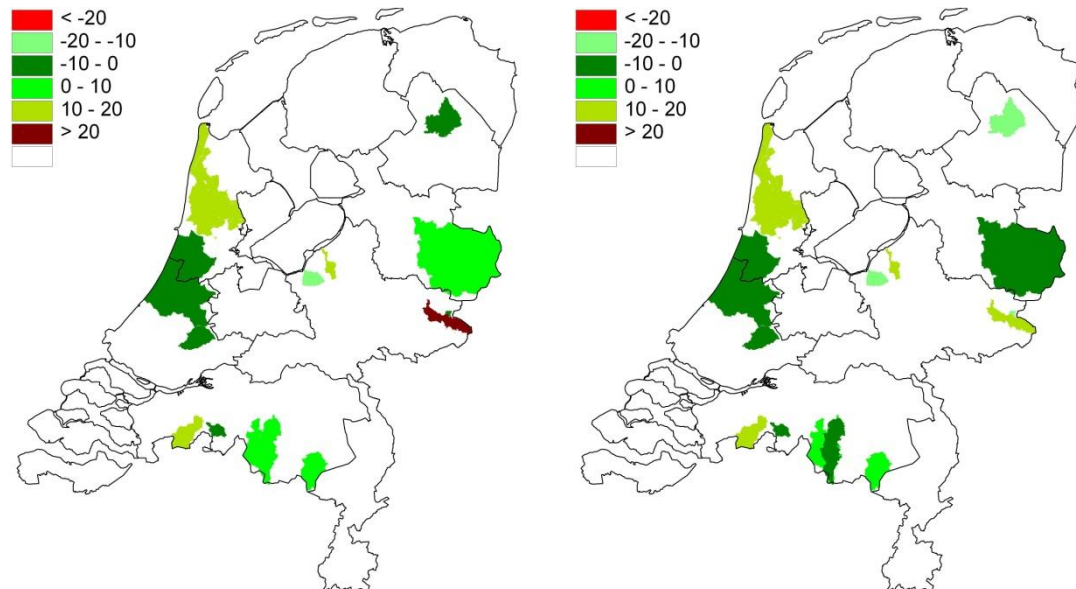
Voor vijftien deelstroomgebieden in Nederland hebben Massop e.a. (2005) op basis van metingen waterbalansen opgesteld waarbij ook de langjarige actuele evapotranspiratie is geschat. Er is sprake van een schatting omdat alle fouten in de waarnemingen en de balans in de evapotranspiratie als rest post terecht zijn gekomen. De voor de waterbalansperiode geschatte jaargemiddelde evapotranspiratie (mm/jaar) in een gebied wordt vergeleken met de door het NHI berekende evapotranspiratie voor de verzameling rekencellen die binnen deze waterbalansen eenheid liggen.

Voor deze toetsing zijn de criteria (tabel 3.1):

- 1) In 80% van de meetpunten bedraagt het verschil tussen de gemeten en berekende maandelijkse evapotranspiratie in het groeiseizoen maximaal 25 %.
- 2) Gemiddelde verschil tussen de gemeten en berekende evapotranspiratie voor de evapotranspiratie in een jaar bedraagt gemiddeld voor Nederland maximaal 5%.

Het eerste criterium is toegepast voor de afzonderlijke deelstroomgebieden door deze als afzonderlijke meetlocaties te beschouwen. Omdat wordt getoetst op een grovere tijdschaal (jaar) dan waarvoor het criterium is opgesteld is het criterium aangescherpt naar 20%.

Het tweede criterium is relevant wanneer verondersteld wordt dat de balansgebieden een representatieve steekproef vormen om de evapotranspiratie voor Nederland te beschrijven. Bij gebrek aan een grotere dataset maken we deze veronderstelling hier opnieuw.



Figuur 3.3 Vergelijking van de gemeten en berekende evapotranspiratie (verschil in %) per waterbalansgebied voor NHI 3.0 (links) en NHI 2.2 (rechts).

3.3.2 Resultaten

In figuur 3.3 en tabel 3.4 staan de resultaten van de vergelijking op jaarbasis. Op één na simuleert NHI 3.0 voor alle afzonderlijke balansgebieden een evapotranspiratie die voldoet aan het aangescherpte eerste criterium van 20%. Voor 10 van de 15 gebieden is het verschil kleiner dan 10%, voor één gebied bedraagt het verschil 21%. Voor de 15 balansgebieden wordt voldaan aan het (80/20%-)criterium.

Het gemiddelde verschil bedraagt over alle gebieden bedraagt 3,7% en blijft binnen de toegestane bandbreedte van 5% van het tweede criterium.

De fouten in de afzonderlijke balansgebieden vallen tegen elkaar weg wanneer wordt gemiddeld over de balansgebieden. Dit bevestigt dat voor het toetsen op een andere ruimteschaal andere criteria aan de orde zijn en dat voor grotere gebieden en tijdschalen strengere criteria kunnen worden geëist.

3.3.3 Conclusies

De voor de waterbalansperioden berekende jaargemiddelde evapotranspiratie voldoet vergeleken met beschikbare langjarige waterbalansen in de 15 balansgebieden op jaarbasis aan het verscherpte 80/20%-criterium.

Wanneer de balansgebieden representatief voor Nederland worden verondersteld wordt ook aan het 5%-criterium voldaan.

Tabel 3.4 Vergelijking tussen de gemeten en berekende evapotranspiratie (jaarsommen in mm) voor 15 waterbalansgebieden (Massop e.a., 2005). Kleurcode geel > 25% afwijking, , groen <= 25%.

Balansgebied	Areaal (ha)	Periode	Gemeten (mm)	Berekend NHI 3.0 (mm)	Vershil NHI 2.2 (%)	Vershil NHI 3.0 (%)
Krimpenerwaard	13679	1991-2002	575	570	-6	-1
Schermerboezem	71000	1977-1997	456	528	12	16
Rijnland	100000	1991-2002	560	543	-7	-3
Hupsel	669	1984-1993	527	495	-11	-6
Dommel Reusel stuw Hondsberg	16000	1980-1999	510	548	5	8
Dommel Kleine Aa/Dommeltje Smalwater	23739	1977-1997	500	531	5	6
Drenthse Aa	22374	1993-2001	603	544	-13	-10
Beerze	24674	1986-1998	526	527	-2	0
Dommel Kleine Dommel Rul	20514	1980-1999	478	519	5	9
Groenlosche Slinge	18800	1997-2002	465	563	14	21
Chaamse Beek	4989	1996-2000	583	569	-4	-2
Aa of Weerijis	14820	1996-2000	484	554	11	15
Schuitenbeek	7406	1988-1994	663	553	-19	-17
Hierdense beek	4815	1994-1998	447	532	17	19
Regge en Dinkel	13420	1996-2000	540	546	-3	1
Gemiddelde afwijking					0	4
Aantal balansgebieden met verschil > 25 %					0	0
Percentage balansgebieden met verschil > 25 %					0	0

3.4 Actuele evapotranspiratie per regio op basis van satellietbeelden

3.4.1 Methode

Voor 1995 en 2003 (jaarsom t/m oktober en het zomerhalfjaar) wordt de berekende evapotranspiratie vergeleken met ETLook-beelden. Dit zijn door Waterwatch met behulp van het model ETLook op basis van satellietwaarnemingen geschatte evapotranspiratiebeelden. Geschat, omdat de bewerkingen van ETLook een modelconcept bevatten zodat de resultaten van 2 modellen worden vergeleken waardoor overeenkomsten en verschillen kunnen worden geïdentificeerd zonder dat er een waardeoordeel aan kan worden toegekend.

Begin 2013 zijn ook de ETLook-beelden op maandbasis voor het jaar 2006 beschikbaar gesteld. De cumulatieve evapotranspiratie (som in mm) volgens ETLook is voor het zomerhalfjaar van 2006 zowel op seizoen basis als op maandbasis vergeleken met de berekende cumulatieve evapotranspiratie van NHI 3.0.

De geschatte evapotranspiratie (mm) van ETLook wordt vergeleken met de door het NHI berekende evapotranspiratie voor de verzameling rekencellen die binnen een STOWA-grondwaterregio liggen. Voor deze 68 regio's worden de geschatte evapotranspiratiehoeveelheden gemiddeld en met de resultaten van NHI 3.0 vergeleken. Deze vergelijking is ook op nationaal niveau gemaakt.

De volgende criteria zijn relevant (tabel 3.1):

- 2) Gemiddelde verschil tussen de gemeten en berekende evapotranspiratie voor de evapotranspiratie in een jaar bedraagt gemiddeld voor Nederland maximaal 5%.
- 3) Landelijke patronen zijn vergelijkbaar met landelijke satellietbeelden,
- 4) In 80% van de STOWA-regio's bedraagt de verschil per maand in het zomerhalfjaar maximaal 25 %.

Het tweede criterium wordt toegepast om het verschil tussen twee berekende verdampingbeelden te vergelijken. Vergelijken aan de overeenkomst in patronen (criterium 3) is niet specifiek geformuleerd en is globaal beschouwend benut. De vergelijking in de regio's analoog aan het 4^e criterium biedt meer concrete informatie.

Evenals bij de toetsing voor de evapotranspiratie o.b.v. waterbalansen, worden bij deze vergelijking eerst de jaarsom en de som voor het zomerhalfjaar beschouwd. Door het ontbreken van ETLook-gegevens voor november en december wordt deze vergelijking beperkt tot de maanden jan-okt, omdat de maanden november en december een lage evapotranspiratie kennen vormt de som voor de eerste 10 maanden van dat jaar en redelijke indicatie van de jaarsom. Daarna is gedifferentieerd naar de 68 regio's voor de grondwatertoetsing waarbij zowel jaarsommen als de som in het zomerhalfjaar (1 april – 30 september) en de maandsommen in het zomerhalfjaar worden vergeleken. Daarbij is het 4e criterium onveranderd toegepast op deze gedetailleerdere gebiedsindeling.

3.4.2 Resultaten landelijk

In tabel 3.5 is voor 1995, 2003 en 2006 de vergelijking gepresenteerd tussen de berekende evapotranspiratie op basis van satellietbeelden en de met NHI 3.0 berekende evapotranspiratie. In tabel 3.6 zijn ter vergelijking de resultaten van NHI 2.2. herhaald (de ETLook-data van 2006 waren toen nog niet beschikbaar). De met NHI 3.0 berekende evapotranspiratie voldoet in het zomerhalfjaar van 2003 niet aan het gestelde criterium (maximale verschil van 5% tussen ETLook en NHI) voor de evapotranspiratie op jaarbasis en voor alle overige perioden wel, ook voor de jaarsom van 2003.

Tabel 3.5 Vergelijking van de 'gemeten' en berekende evapotranspiratie, de waarden zijn landelijke gemiddelden voor de periode januari-oktober en april-september voor 1995, 2003 en 2006, NHI 3.0. Kleurcode geel > 5% afwijking, groen <= 5%).

Periode	gemeten (mm)	berekend (mm)	verschil (mm)	verschil (%)
Jan-okt 1995	489	489	0	0.0
Apr-sep 1995	385	404	19	4.9
Jan-okt 2003	518	513	-5	-0.9
Apr-sep 2003	472	427	-45	-9.5
Apr-Sep 2006	444.8	432.2	12.6	-2.8
Jan-Okt 2006	515.5	509.5	6.0	-1.2

Tabel 3.6 Vergelijking van de 'gemeten' en berekende evapotranspiratie, landelijk gemiddeld voor de periode januari-oktober en april-september voor 1995 en 2003, NHI 2.2. Kleurcode geel > 5% verschil, groen <= 5%).

Periode	gemeten (mm)	berekend (mm)	verschil (mm)	verschil (%)
Jan-okt 1995	489	491	2	0.4
Apr-sep 1995	385	400	15	3,9
Jan-okt 2003	518	516	-2	-0,4
Apr-sep 2003	472	423	-49	-10,4

3.4.3 Resultaten voor regio's

In de tabellen (3.7 en 3.8) en figuren (3.4 t/m 3.7) zijn de resultaten voor 1995, 2003 en 2006 gegeven voor de toetsing per regio.

Tabel 3.7 Vergelijking van de 'gemeten' en berekende evapotranspiratie, per regio voor de periode januari-oktober en april-september voor 1995, 2003 en 2006, NHI 3.0. Kleurcode geel > 20% verschil, groen <= 20%).

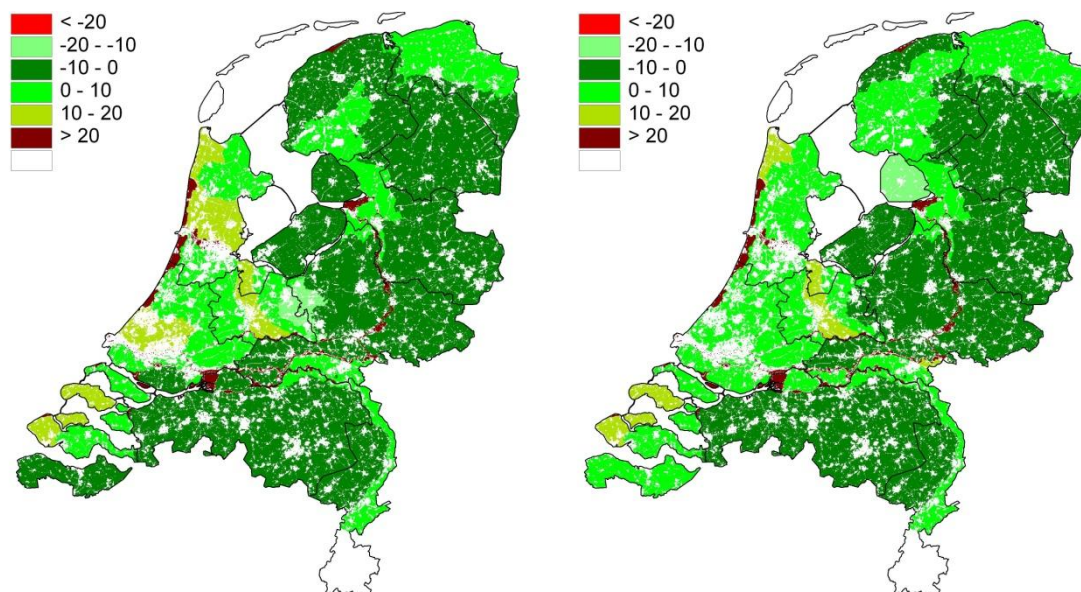
Periode	% regio's met verschil < 10 %	% regio's met verschil < 25 %
Jan-okt 1995	85	97
Apr-sep 1995	65	98
Jan-okt 2003	79	98
Apr-sep 2003	45	90
Jan-Okt 2006	89	100
Apr-Sep 2006	82	100

Tabel 3.8 Vergelijking van de 'gemeten' en berekende evapotranspiratie, per regio voor de periode januari-oktober en april-september voor 1995 en 2003, NHI 2.2. Kleurcode geel > 20% verschil, groen <= 20%).

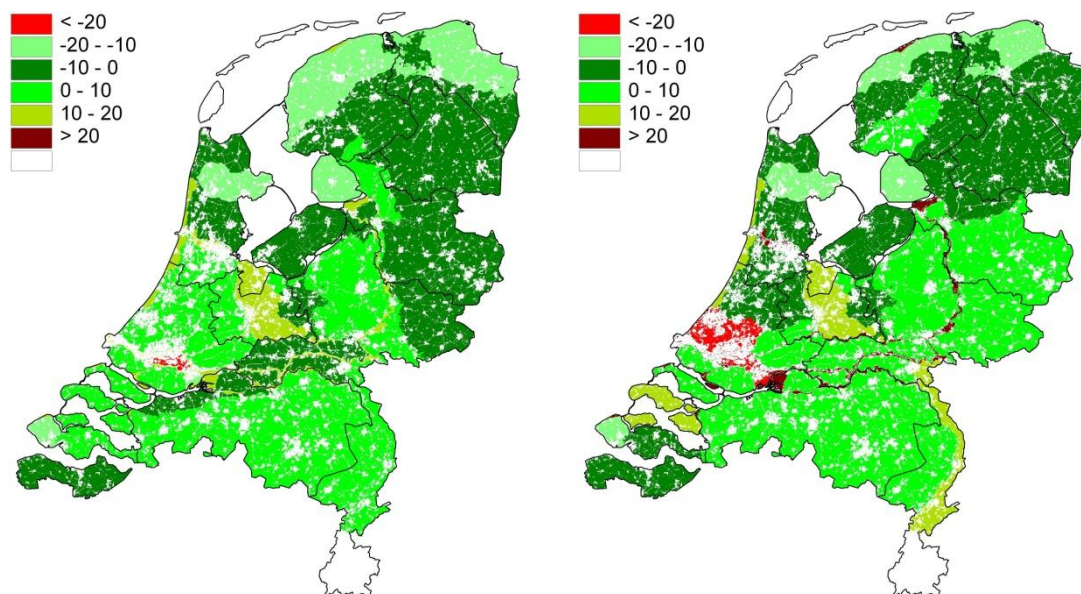
Periode	% regio's met verschil < 10 %	% regio's met verschil < 25 %
Jan-okt 1995	90	97
Apr-sep 1995	73	97
Jan-okt 2003	79	94
Apr-sep 2003	35	89

De met NHI 3.0 en ETLook berekende regio-specifieke evapotranspiratie verschillen bij hanteren van het 80/25%-criterium weinig, zowel jaargemiddeld (jan-okt) als voor het zomerhalfjaar (apr-sep). Opvallend is dat in veel gebieden de verschillen kleiner dan 10% zijn, de verschillen tussen de jaren zijn hier echter meer uitgesproken.

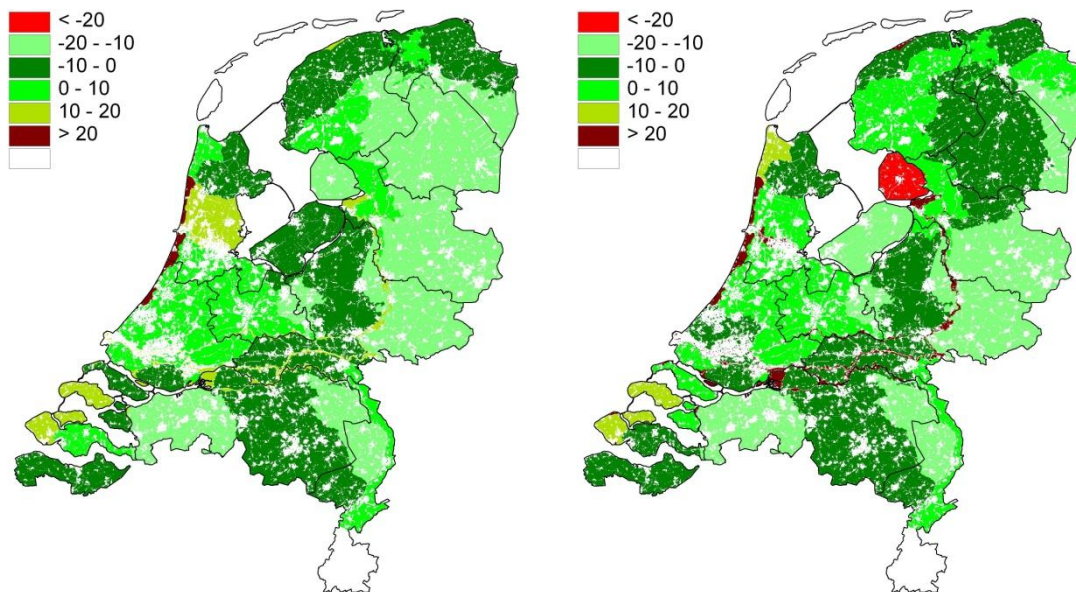
De verschillen voor het zomerhalfjaar zijn bij gebruik van het 10%-criterium voor alle drie de jaren groter dan op jaarbasis. Dat zou een bevestiging kunnen vormen voor het eerder geconstateerde en beschreven terugkoppelingsmechanisme in NHI3.0.



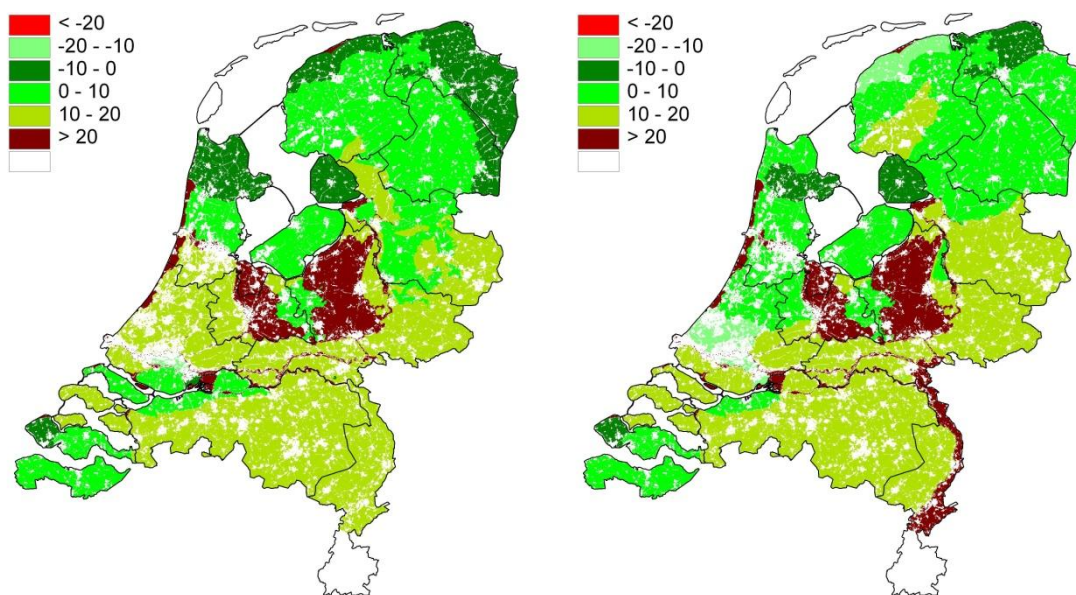
Figuur 3.4 Vergelijking van de 'gemeten' en berekende evapotranspiratie (verschil in %) per regio voor de periode jan-okt 1995 (NHI 3.0 links, NHI 2.2 rechts).



Figuur 3.5 Vergelijking van de 'gemeten' en berekende evapotranspiratie (verschil in %) per regio voor de periode jan-okt 2003 (NHI 3.0 links-niet beschikbaar, NHI 2.2 rechts).



Figuur 3.6 Vergelijking van de 'gemeten' en berekende evapotranspiratie (verschil in %) per regio voor de periode apr-sep 1995 (NHI 3.0 links, NHI 2.2 rechts).



Figuur 3.7 Vergelijking van de 'gemeten' en berekende evapotranspiratie (verschil in %) per regio voor de periode apr-sep 2003 (NHI 3.0 links, NHI 2.2 rechts).

Vergelijken van de patronen in verschillen in evapotranspiratie ten opzichte van de ETLook beelden binnen de gebieden blijkt niet eenvoudig, de verschillen zijn niet gelijk voor de balansperioden noch voor de jaren 1995 en 2006. In de zomer van 2003 vallen met name de verschillen in de droge zandgebieden (Veluwe, Utrechtse Heuvelrug en duinen) op. De Biesbosch en het Land van Vollenhove springen er in alle vergelijkingen uit. Het zou goed zijn een meer gedetailleerde vergelijking van de verschillen op gebiedsniveau te maken om de modelconcepten te analyseren en verbeteren.

Voor het zomerhalfjaar van 2003 is, hoewel daar geen criterium voor is gegeven, ook de verdampingsreductie (berekend als $1 - E_{act}/E_{pot}$) volgens de satellietbeelden bepaald (tabel

3.9). Deze bedroeg 19,0 %. De verdampingsreductie van het NHI, berekend als $1 - \text{ETact}/\text{ETref}$, bedroeg voor diezelfde periode 20,3 % en is vrijwel gelijk.

Tabel 3.9 Vergelijking van de 'gemeten' en berekende verdampingsreductie voor het zomerhalfjaar van 2003.

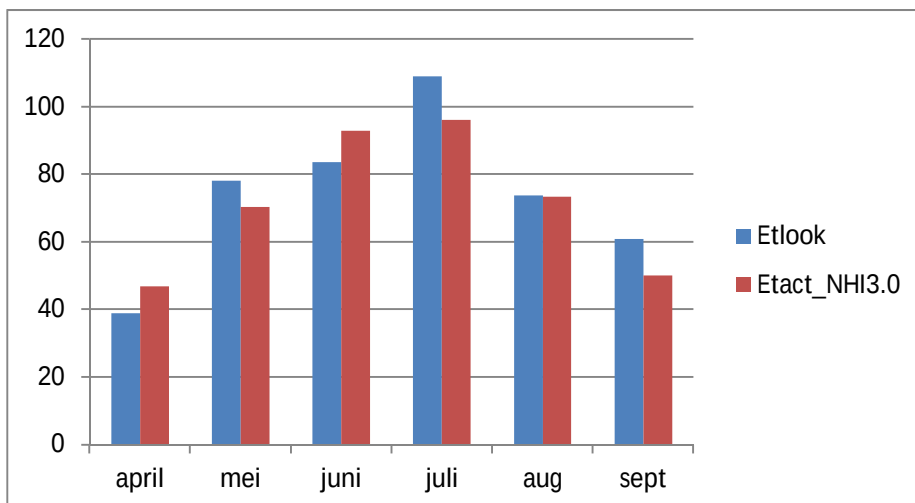
Periode	Actuele evapotranspiratie (mm)	Potentiele/Referentie evapotranspiratie (mm)	Verdampingsreductie (%)
Satelliet	472	583	19
NHI 3.0	427	536	20

3.4.4 Resultaten op maandbasis in 2006

In tabel 3.10 staat de vergelijking tussen ETLook en NHI 3.0 per maand in de zomerperiode van 2006. In figuur 3.8 is deze vergelijking per maand ook grafisch weergegeven.

Tabel 3.10 Vergelijking van de maandsommen (mm) van de evapotranspiratie voor het zomerhalfjaar van 2006 over Nederland tussen ETLook en NHI 3.0. Kleurcode geel > 25% verschil, groen <= 25 en voor de laatste kolom geel > 20% verschil, groen <= 20%.

Periode	ETLook (mm)	NHI3.0 (mm)	verschil (mm)	verschil (%)	% Gebieden met verschil > 25%
April 2006	39	47	-8	21	26
Mei 2006	78.2	70.4	7.8	-10	2
Juni 2006	83.6	93	-9.4	11	23
Juli 2006	109	96.2	12.8	-12	13
Aug 2006	73.9	73.4	0.5	2	0
Sep 2006	61	50.2	10.8	-18	27
Apr-Sep 2006	444.8	432.2	12.6	-3	0
Jan-Okt 2006	515.5	509.5	6.0	-1	0



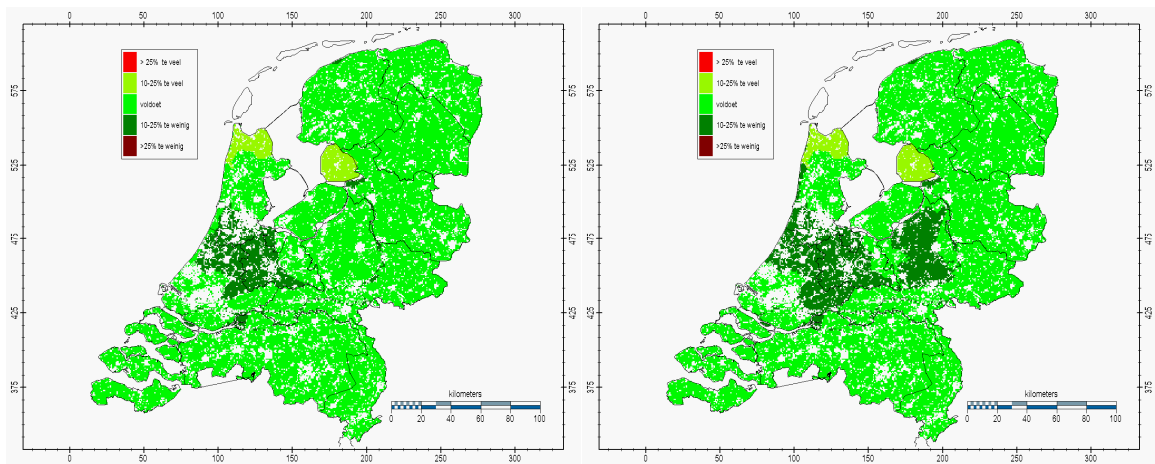
Figuur 3.8 Vergelijking van de maandsommen (mm) van de evapotranspiratie voor het zomerhalfjaar van 2006 over Nederland tussen ETLook en NHI 3.0

Gemiddeld over het zomerhalfjaar onderschat het NHI de evapotranspiratie met 3% ten opzichte van ETLook. Daarmee zijn de verschillen op landelijke schaal kleiner dan 5%. Bovendien is voor alle deelgebieden het verschil in evapotranspiratie op jaar- dan wel halfjaar basis niet groter dan 25%.

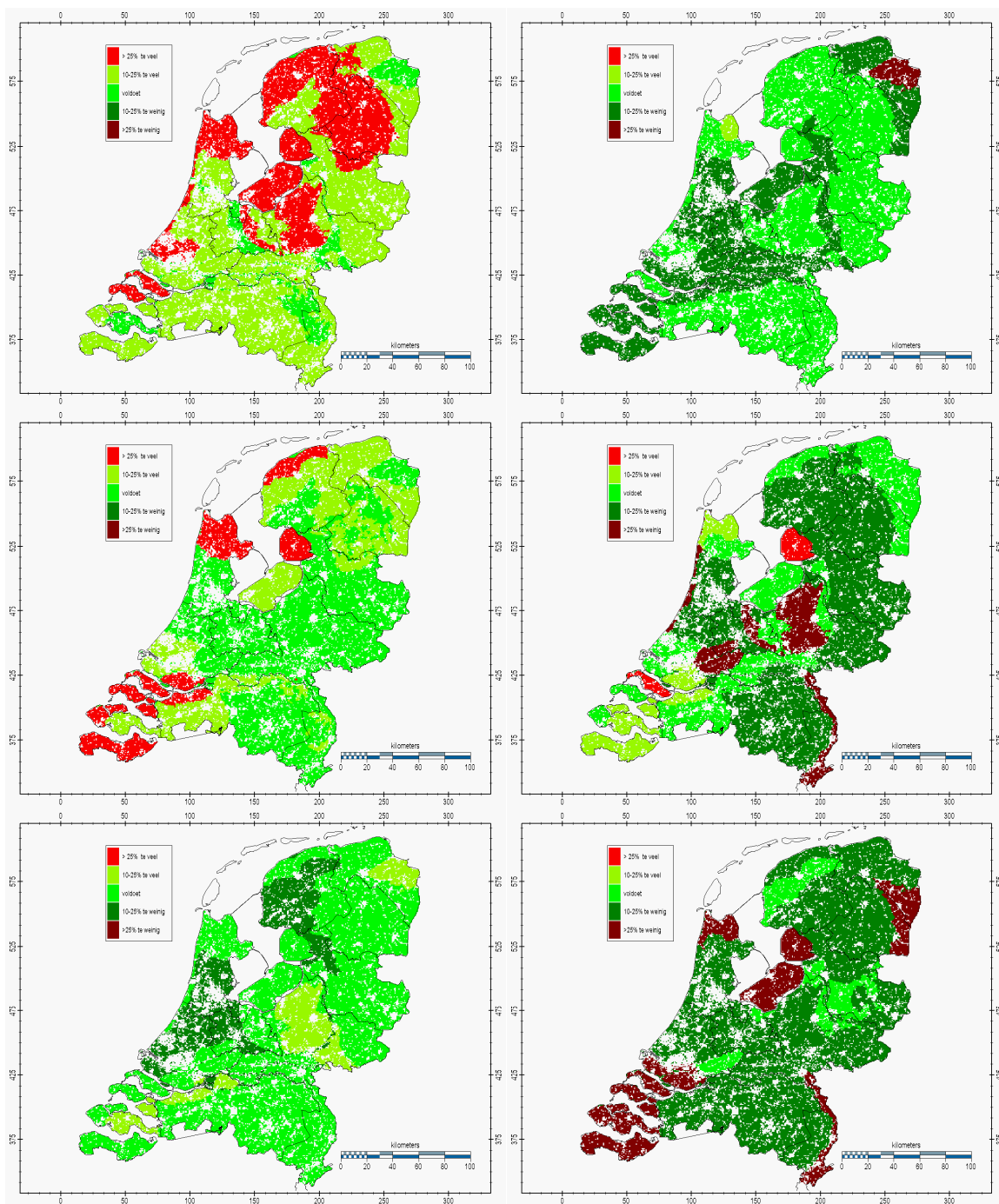
Per maand blijken de procentuele verschillen tussen ETLook en NHI 3.0 aanzienlijk groter en zijn ze regelmatig groter dan 25 %. De absolute verschillen zijn echter beperkt (maximaal 12 mm/maand i.e. 0.4 mm/dag). En omdat de richting van de maandelijkse fout vrijwel maandelijks wisselt (als gevolg van het terugkoppelingsmechanisme?) zien de verschillen tussen ETLook en NHI3.0 wanneer die grafisch worden gepresenteerd (figuur 3.8) er dan ook alleszins acceptabel uit.

Alleen de maanden mei, juli en augustus voldoen aan het criterium dat niet meer dan 20 % van de gebieden een verschil vertoont van minder dan 25 %. Hieruit blijkt dat de verschillen tussen ETLook en NHI in ruimte en tijd flink variëren.

Dit blijkt ook uit figuur 3.9. Er kunnen vele oorzaken zijn voor de verschillen: in april en september kan de lengte van het groeiseizoen een rol spelen, in de droogste maand (juli) de uitputting van de bodemvochtvoorraad in de onverzadigde zone en op andere momenten wellicht de gewasontwikkeling. Opvallend is evenwel dat aan het einde van het groeiseizoen de verschillen relatief gering zijn: kennelijk is er ook voor dit sprake van compenserend gedrag van het systeem.



Figuur 3.9 Vergelijking van de met NHI3.0 en voor ETLook berekende evapotranspiratie voor jan-okt 2006 (links) en apr-sep 2006 (rechts)



Figuur 3.10 Vergelijking van de met NHI3.0 en voor ETLook berekende evapotranspiratie voor de maanden april (linksboven) t/m september 2006 (rechtsonder)

3.4.5 Conclusies

Uit de vergelijking van de evapotranspiratie berekend met NHI 3.0 aan de evapotranspiratie zoals berekend met ETLook kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Landelijk gemiddeld op jaarbasis verschilt de evapotranspiratie van NHI voor alle 3 de jaren (1995, 2003 en 2006) niet meer dan 5 % van de evapotranspiratie van ETLook.
- Voor het jaar 2003 bedraagt de afwijking gemiddeld over het zomerseizoen meer dan 5 %, voor de andere jaren is in het zomerseizoen het verschil kleiner dan 5%.

- Voor het jaar 2006 is ook op maandbasis vergeleken; de gemiddelde afwijking blijkt voor geen enkel van de 68 STOWA-regio's groter te zijn dan 25 %.
- Voor de 68 STOWA-regio's verschilt de met NHI 3.0 berekende evapotranspiratie voor alle jaren en zomerhalfjaren in minder dan 80 % van de regio's meer dan 25% van ETLook.
- In het zomerhalfjaar van 2006 verschilt de verdamping voor 3 van de 6 maanden meer dan 25%. De absolute hoeveelheden zijn beperkt en omdat de richting van het verschil wisselt is het verschil voor het zomerhalfjaar en voor het jaar klein.

3.5 Berekening

3.5.1 Methode

Voor de toetsing wordt de met het NHI berekende beregeningshoeveelheid (uit grond- en oppervlaktewater) per jaar vergeleken met beschikbare gegevens van het LEI en van de provincies Brabant en Flevoland. De LEI-gegevens zijn gebaseerd op mei-tellingen voor de jaren 2001-2005. De betrouwbaarheid van deze gegevens is niet bekend, de indruk bestaat dat de opgegeven hoeveelheden structureel zijn onderschat en dat de verschillen met de werkelijkheid groot kunnen zijn. Verondersteld wordt dat op basis van deze dataset wel een reële indruk wordt verkregen van de dynamiek in berekening van jaar tot jaar. Voor de LEI-gegevens is de vergelijking gemaakt voor de jaren 2001 tot en met 2005. Om de berekende beregeningshoeveelheden te toetsen (en de veronderstelling te valideren dan wel falsifiëren dat de LEI data de berekening aanzienlijk onderschatten) zijn aanvullend recent beschikbaar gekomen gegevens gebruikt van de provincies Noord-Brabant en Flevoland. Door de provincie Noord-Brabant zijn naar eigen zeggen betrouwbare beregeningshoeveelheden voor grondwaterberekening opgegeven voor de jaren 2003 en 2006. Door waterschap Zuiderzeeland is de totale berekening (uit grond- en oppervlaktewater) geschat voor 2003

De volgende criteria zijn vastgesteld voor berekening (tabel 3.1):

- 1) Berekening in 80% regio's (zoetwater of LEI): max 20% verschil met literatuur.
- 2) De verhouding tussen de hoogste en laagste jaarsom heeft per regio een maximale verschil van 25% op basis van LEI-gegevens.

3.5.2 Resultaten

De geregistreerde berekening voor de periode 2001 tot en met 2005 en de berekende beregeningshoeveelheid is weergegeven in Tabel 3.11. Voor NHI 3.0 bedraagt de gemiddelde jaarlijkse berekende beregeningshoeveelheid voor die periode 242 miljoen m³ per jaar. Deze berekende beregeningshoeveelheid is bijna 4 keer groter dan de geregistreerde hoeveelheid van 70 Mm³. De verhouding tussen de hoogste en laagste beregeningshoeveelheid bedraagt voor de registratie 4,6 en voor het model 4,7; een verschil van 2%. Dit houdt in dat het NHI 3.0 voldoende in staat is om de dynamiek in de berekening te berekenen.

Tabel 3.11 Vergelijking van de 'gemeten' (LEI) en berekende beregeningshoeveelheid

Jaar	Geregistreerd (Mm ³)	NHI 2.2 (Mm ³)	NHI 3.0 (Mm ³)
2001	53	281	271
2002	52	135	100
2003	160	492	471
2004	51	204	178
2005	35	216	191
Gemiddeld (2001-2005)	70	266	242
Hoogste/Laagste	4,6	3,6 (verschil -22%)	4,7 (verschil 2%)

De vergelijking met LEI gegevens voor de afzonderlijke jaren laat inderdaad een systematisch grote verschil tussen de berekende en geregistreerde hoeveelheid zien. Omdat de geregistreerde hoeveelheid naar verwachting een forse onderschatting van de beregeningshoeveelheden in de praktijk geeft wordt voor de toetsing van de beregeningshoeveelheden grotere waarde gehecht aan de gegevens van Noord-Brabant en Flevoland.

In Noord-Brabant is de berekening uit grondwater voor de jaren 2003 en 2006 geregistreerd. In de onderstaande tabel 3.12 is de vergelijking tussen berekend en gemeten weergegeven. De resultaten van het NHI blijken nauwelijks af te wijken van de metingen. NHI 3.0 voldoet voor deze dataset in 2003 en 2006 aan het gestelde criterium voor berekening.

Tabel 3.12 Vergelijking van de 'gemeten' (provincie Noord-Brabant) en berekende beregeningshoeveelheid.

Jaar	Gemeten (Mm ³)	NHI 2.2 (Mm ³)	NHI 3.0 (Mm ³)
2003	70	64 (verschil -9%)	71 (verschil 1%)
2006	60	59 (verschil -2%)	63 (verschil 5%)

In Flevoland is de totale berekening voor 2003 ingeschat. In de onderstaande tabel is de vergelijking tussen berekend en gemeten weergegeven. De berekende beregeningshoeveelheid is voor Flevoland in 2003 iets afgenomen ten opzichte van NHI v2.2 en is nagenoeg gelijk aan de door de provincie geschatte beregeningshoeveelheid voor dit jaar. NHI 3.0 voldoet ook voor de dataset van Flevoland in 2003 aan het criterium voor berekening.

Tabel 3.13 Vergelijking van de 'gemeten' (provincie Flevoland) en berekende beregeningshoeveelheid.

Jaar	Gemeten (Mm ³)	NHI 2.2 (Mm ³)	NHI 3.0 (Mm ³)
2003	84	90 (verschil 7%)	84 (verschil 0%)

3.5.3 Conclusies

De dynamiek van de berekening tussen nattere jaren en drogere jaren getoetst op basis van de landelijke registratie door LEI voldoet aan het daarvoor gestelde criterium.

Uit de toetsing aan beregeningsgegevens van Noord-Brabant en Flevoland blijkt dat NHI 3.0 voor deze gebieden en jaren ruimschoots voldoet aan de criteria, en is verbeterd t.o.v. NHI 2.2. Dit is waarschijnlijk het gevolg van een iets betere inschatting van het beregende areaal.

Dat de overeenkomst van de beregeningshoeveelheden voor deze 2 gebieden zo goed is, bevestigt ook dat de LEI-dataset de berekening fors onderschat en niet bruikbaar is voor toetsing van de onttrokken hoeveelheden.

3.6 Discussie toetsing en vergelijking evapotranspiratie en beregning

De toetsing van evapotranspiratie en beregning aan criteria wordt uitgevoerd om (samen met de toetsing van de GxG's) het modelgedrag in "onverzadigde zone" te toetsen. Dat vormt een zeer beperkte invulling, voor de stroomgebieden waarvoor waterbalansen zijn opgesteld kunnen bijvoorbeeld de volledige balansen worden vergeleken. Het is de moeite waard de mogelijkheden te verkennen om meer balansposten en toestandsvariabelen te gebruiken voor het toetsen en de daartoe beschikbare data structureel te verzamelen en te verbeteren. Het is zaak te investeren in het verzamelen van betrouwbare meetgegevens om de onverzadigde zone te toetsen.

De criteria zijn opgesteld voor het toetsen van NHI. De betrouwbaarheid ten opzichte van de metingen kan daadwerkelijk als een toetsing worden gebruikt, deze analyse zou in kracht winnen wanneer de onzekerheden in metingen en modelresultaten in de vergelijking worden betrokken. De analyse voor de balansgebieden gaat (omdat de fouten van alle informatiebronnen cumuleren in de restpost evapotranspiratie) gepaard met grotere onzekerheden en krijgt hoewel deze nog steeds als toetsing kan worden gebruikt al meer het karakter van een vergelijking. Voor de afleiding van de evapotranspiratie op basis van satellietgegevens wordt ook een model gebruikt waardoor hier sprake is van uitsluitend een vergelijking.

Om de verschillen tussen de metingen en de modellen te analyseren om de modellen te kunnen verbeteren is het noodzakelijk voor de meetlocaties aanvullende informatie te verzamelen en meer gedetailleerd (de oorzaken van) de verschillen te kunnen verkennen, liefst op identieke tijd en ruimteschalen waarbij en naar de dynamiek, en naar patronen en naar balansen op verschillende tijd- en ruimteschalen wordt gekeken. Het is hiervoor noodzakelijk de met NHI berekende evapotranspiratie voor de rekeneenheden per dag weg te schrijven.

Op kleinere tijd- en ruimte-eenheden toegepast worden onzekerheden/fouten minder uitgemiddeld dan voor grote tijd- en ruimte-eenheden. De criteria voor toetsing zijn (in tijd en ruimte) schaalafhankelijk, de bestaande criteria houden daar rekening mee maar niet bekend is of deze criteria daadwerkelijk kunnen worden gerealiseerd dan wel voldoende scherp zijn gedefinieerd om onderscheidend te kunnen zijn. Het afleiden van relatieve en/of absolute criteria voor de verschillende tijd- en ruimteschalen zou beter kunnen worden onderbouwd. Daarbij moeten vanzelfsprekend ook de doelen van de toepassing nadrukkelijk worden beschouwd.

3.7 Conclusies toetsing en vergelijking evapotranspiratie en beregning

NHI 3.0 voldoet voor de uitgevoerde toetsen met beschikbare data aan de gestelde criteria voor evapotranspiratie.

Bij de toetsing van de berekende (actuele) evapotranspiratie op jaarbasis aan op specifieke locaties gemeten en met behulp van waterbalansen voor gebieden afgeleide evapotranspiratie voldoet NHI 3.0 aan de gestelde criteria:

- De met NHI 3.0 berekende evapotranspiratie van het extreem droge zomerhalfjaar 1976 in het stroomgebied van de Hupsel benadert de metingen. De berekende

verdampingsreductie voor deze extreem droge zomer komt eveneens nagenoeg overeen met de gemeten verdampingsreductie.

- Voor het stroomgebied van de Hupsel laat NHI 3.0 in de zeer droge zomer van 1976 op maandbasis resultaten zien die opnieuw voldoen aan het criterium.
- De voor de waterbalansperioden berekende jaargemiddelde evapotranspiratie voldoet vergeleken met beschikbare langjarige waterbalansen in de 15 balansgebieden op jaarbasis aan het verscherpte 80/20%-criterium.
- Wanneer de balansgebieden representatief voor Nederland worden verondersteld wordt ook aan het 5%-criterium voldaan.

Uit de vergelijking van de evapotranspiratie berekend met NHI 3.0 aan de evapotranspiratie zoals berekend met ETLook worden mbv de criteria de volgende conclusies getrokken:

- Behalve voor de (droge) zomer van 2003 verschilt de landelijk gemiddelde evapotranspiratie van NHI op jaarbasis en voor het zomerhalfjaar voor alle 3 de jaren (1995, 2003 en 2006) niet meer dan 5 % van de evapotranspiratie van ETLook.
- De met NHI 3.0 berekende evapotranspiratie voor de 68 onderscheiden grondwatergebieden voldoet aan de gestelde criteria voor vergelijking met de op basis van satellietdata berekende evapotranspiratie voor deze gebieden.
- De vergelijking laat in droge maanden en zomerhalfjaren aanzienlijke verschillen zien.

De met het NHI 3.0 berekende beregeningshoeveelheden voldoen aan de gestelde criteria:

- De berekende dynamiek van de berekening in droge en natte jaren is getoetst op basis van een landelijke registratie en voldoet aan het gestelde criterium.
- Uit de toetsing aan betrouwbare gegevens van Noord-Brabant en Flevoland blijkt dat NHI 3.0 voor deze gebieden en jaren ruimschoots voldoet aan de criteria.

Tabel 3.14 Samenvatting toetsing en vergelijking van NHI aan de criteria voor de onverzadigde zone

Indicator	Voldoet aan criterium 2012		Opmerking
	NHI 2.2	NHI 3.0	
Onverzadigde zone			
Evapotranspiratie: toetsing aan metingen	+	+	
Evapotranspiratie: toetsing aan waterbalans gebieden	+	+	
Evapotranspiratie: vergelijking met satelliet based model	+/-	+/-	Zomer 2003 voldoet niet
Berekening: toetsing dynamiek nationaal	+	+	Toetsing op absolute getallen niet mogelijk door gebrek aan betrouwbare gegevens
Berekening: toetsing hoeveelheid regionaal	+	+	

(- voldoet niet, +/- voldoet aan een deel van de (samengestelde) criteria, + voldoet)

4 Toetsing oppervlaktewater

4.1 Inleiding

De toetsing van oppervlaktewater is vooral gericht op de aan- en afvoeren op belangrijke punten in het oppervlaktewatersysteem. Voor 'kranen' in het hoofdwatersysteem en het regionale systeem toetsen we of de resultaten van de NHI-modelberekeningen in redelijke mate kloppen met beschikbare metingen. Omdat de oppervlaktewater aanvoeren en afvoeren een resultante zijn van de regionale waterbalans en watervraagberekeningen, draagt een goede match van berekende aan- en afvoeren met gemeten aan- en afvoeren bij aan vertrouwen in het model. Dit is belangrijk voor de analyse van droogte met het NHI.

In dit hoofdstuk wordt NHI voornamelijk getoetst op berekende aan/afvoeren en oppervlaktewaterpeilen. Voor het hoofdsysteem wordt alleen voor de grote meren en stuwpanden een peil berekend. Vaak is het peil namelijk invoer van de modellering. Chloride wordt beperkt getoetst, vanwege onvoldoende beschikbaarheid van betrouwbare meetgegevens. Voor locaties in het benedenrivierengebied worden de chlorideconcentraties uit Sobek-berekeningen in NHI als randvoorwaarden gebruikt. In het kader van het Deltamodel is de performance van Sobek voor chlorideberekeningen in het benedenrivierengebied nader geanalyseerd en gerapporteerd (Gao, 2012). Voor de overige oppervlaktewateren worden de chlorideconcentraties met het NHI berekend. Dit gebeurt in het NHI op verschillende ruimtelijke schaalniveaus, te weten het waterverdelingsnetwerk in DM, de Mozart districten en de Mozart local surface waters. Ook met het LSM kunnen chlorideberekeningen worden gemaakt.

De kwaliteit van de beschikbare meetgegevens verdient een extra opmerking. In de STOWA-toetsing van NHI 2.0 is gebleken dat in sommige gevallen de kwaliteit of de frequentie van de metingen te wensen overliet. Aansprekende voorbeelden zijn gevallen waar een kunstwerk de scheiding vormt tussen het beheersgebied van verschillende waterschappen, en waarbij de waterschappen verschillende afvoerseries voor het debiet over hetzelfde kunstwerk aanleverden (bijvoorbeeld Gaarkeuken en Bodegraven). Ook voor de Oranjesluizen (Markermeer-Noordzeekanaal) zijn via twee routes meetgegevens verkregen die verschillend zijn. Voor de toetsing van NHI is echter geen aparte validatie van meetgegevens gepland. Er is wel gefilterd op de metingen gebruikt bij de STOWA toetsing (Ogink, 2010) die als betrouwbaar zijn gekwalificeerd.

Een ander belangrijk aspect waar bij de toetsing rekening mee moet worden gehouden is dat er in de praktijk soms sprake is geweest van afwijkend beheer. Voor Rijnland is bijvoorbeeld in 2003 eenmalig de Tolhuissluisroute voor wateraanvoer gebruikt. Dit beheer is echter geen standaard beheer en daarom niet in de beheersregels van het NHI geïmplementeerd. Wel kan dit optioneel als maatregel met het NHI worden doorgerekend. Bij de vergelijking van modelresultaten met metingen moet met dergelijke fenomenen rekening worden gehouden. Een zinvolle vergelijking is alleen mogelijk voor locaties waarvan het beheer in de praktijk overeenkomt met het in het model geïmplementeerde beheer.

4.2 Afvoeren

4.2.1 Wat wordt er getoetst?

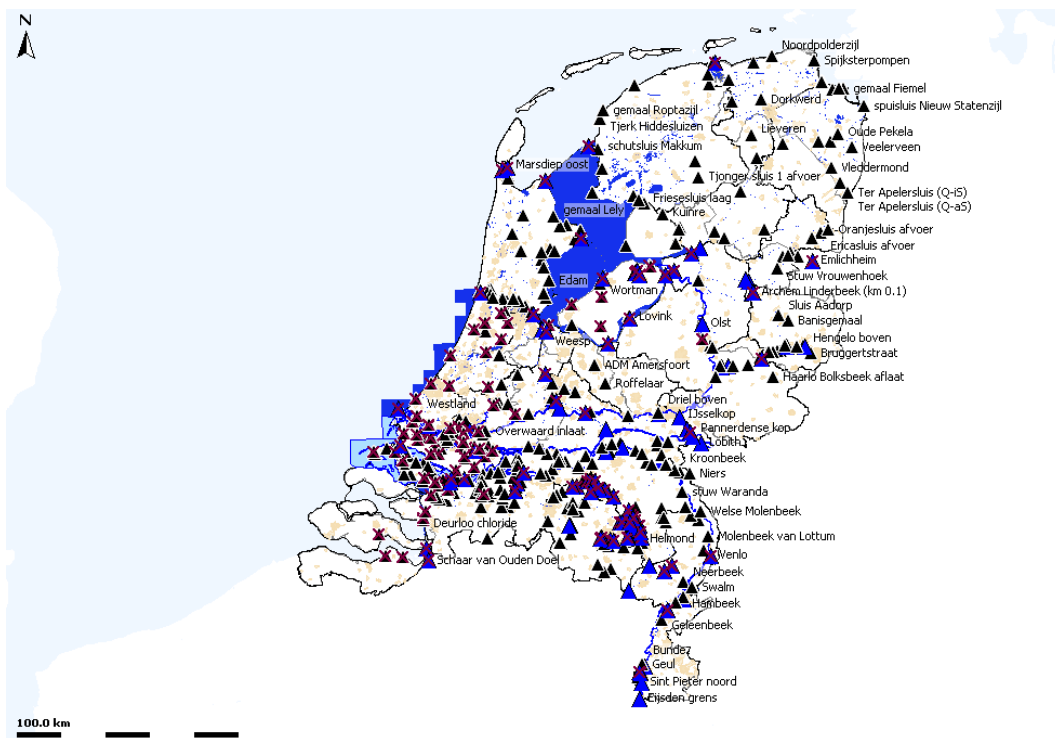
Voor toepassen van NHI in regionale en landelijke droogtestudies is het belangrijk dat de aan- en afvoeren op belangrijke inlaat- en lozingslocaties en doorvoerpunten goed overeenkomen met metingen. Hierbij heeft 'goed overeenkomen' betrekking op de totale afvoer of aanvoer, maar ook op de dynamiek in de afvoer, op de timing van pieken en overgang van aanvoer naar afvoer en andersom.

Belangrijke kranen in het hoofdwatersysteem zijn weergegeven in Figuur 4.1. Niet voor elke kraan zijn meetgegevens beschikbaar. Figuur 4.2 geeft een overzicht van de locaties waarvoor debietmetingen beschikbaar zijn (waterschapslocaties en DONAR-meetlocaties). Het blijkt dat (nog) niet voor alle hoofdkranen en nevenkranen in het hoofdwatersysteem meetdata in de database beschikbaar is. Voor het regionale oppervlaktewatersysteem zijn er wel veel metingen, maar deze metingen zijn niet altijd direct te vergelijken met NHI uitkomsten. Soms beslaat een meting bijvoorbeeld een stroomgebied dat te klein is en corresponderen de debieten in het DM-netwerk niet met de meetpunten. Voor de toetsing van de berekende afvoeren zijn vooral debieten in het DM netwerk opgenomen. Met de beschikbare meetpunten in het regionale oppervlaktewatersysteem worden vooral de inlaat of afvoer van één district of enkele districten getoetst. De nadruk bij de toetsing ligt ook op de toetsing van balansgebieden. Hierbij wordt getoetst hoe goed de totale aanvoer naar of afvoer uit een balansgebied berekend met NHI overeen komt met de metingen. Omdat de DM schematisatie het hoofdoppervlaktewatersysteem tamelijk schematisch weergeeft, is het ook verstandig om de toetsing tot balansgebieden te beperken en niet te veel in detail te willen gaan, omdat die mate van detail niet in de schematisatie zit. Met de Sobek schematisatie van het LSM is daarentegen wel meer ruimtelijk detail in het waterverdelingsnetwerk geschematiseerd. Daarmee wordt het mogelijk om in de toekomst wel in meer detail resultaten met metingen te gaan vergelijken, al stelt dat uiteraard ook hogere eisen aan het goed modelleren van het beheer van kunstwerken, zodat details over ruimtelijke verdeling van aanvoer en afvoer ook goed in het model zijn opgenomen. Voor het LSM een aparte rapportage opgesteld (Prinsen 2012).

Voor een goede vergelijking met de NHI 2.2 resultaten worden in de toetsingsrapportage en de figuren altijd de resultaten van NHI 2.2 en NHI 3.0 getoond, en worden beide vergeleken met de metingen.



Figuur 4.1 Kranen in het hoofdwatersysteem



Figuur 4.2 Overzicht beschikbare debietmeetlocaties, NHI-FEWS oppervlaktewater database

4.2.2 Methode en criteria

De basis van de toetsing zijn de bruikbare meetgegevens uit Donar en uit regionale inventarisaties, die in een FEWS-database zijn gezet. Hierin zijn o.a. meetreeksen opgenomen die door regionale waterbeheerders zijn overgedragen tijdens de bespreking van de regionale toetsing van NHI 2.0 (Ogink, 2010), en ook een aantal DONAR lokaties (2011).

In een FEWS-omgeving kunnen resultaten van NHI runs geïmporteerd worden en wordt automatisch rapporten met figuren en tabellen gegenereerd. In die rapporten worden NHI resultaten vergeleken met metingen en wordt een overzicht van performance indicatoren gegeven.

De resultaten van NHI 2.2 en NHI 3.0 voor oppervlaktewater worden aan de hand van figuren en tabellen voor zowel 2003 als 2006 toegelicht. Ook wordt een globaal overzicht gegeven in kaart en tabelvorm.

Voor toetsing van NHI zijn de kwaliteitseisen van RWS-Waterdienst vertaald in bruikbare criteria om de berekende afvoeren te toetsen. In Tabel 4.2 staan de door RWS aangegeven kwaliteitseisen.

Tabel 4.1 RWS kwaliteitseisen (uit Functionale specificatie en kwaliteitseisen Deltamodel sept. 2011)

	Oorspronkelijke RWS kwaliteitseis	Aangescherpte RWS kwaliteitseis
Oppervlaktewater Waternverdeling Hoofdkranen	In 75% van de lokaties max. 33% afwijking in basisafvoer, pieken/dalen en dynamiek. Timing van pieken en dalen max. 2 decaden verschoven	In 80% van de lokaties max. 25% afwijking in basisafvoer, pieken/dalen en dynamiek. Timing van pieken en dalen max. 2 decaden verschoven
Oppervlaktewater Regionale watervraag per waternverdelings- punt en doorvoerpunt	In 75% van de lokaties max. 33% afwijking voor aanvoer en max. 20% voor afvoer (basisafvoer, pieken en dalen, dynamiek). Timing van pieken en dalen, max. verschuiving van 2 decaden.	In 80% van de lokaties max. 25% afwijking voor aanvoer en max. 10% voor afvoer (basisafvoer, pieken en dalen, dynamiek). Timing van pieken en dalen, max. verschuiving van 2 decaden.
Oppervlaktewater Chloride concentraties	In 75% van de metingen max. 50% afwijking (bereik 150-500 mg), in lagere bereik grotere toegestane afwijking (75%), in hogere bereik kleinere afwijking (25%). Adequate modellering rond inlaatpunten extra belangrijk.	In 80% van de metingen max. 50% afwijking (bereik 150-500 mg), in lagere bereik grotere toegestane afwijking (50%), in hogere bereik kleinere afwijking (10-15%). Adequate modellering rond inlaatpunten extra belangrijk.

Deze kwaliteitseisen zijn vertaald in kwantitatieve toetsingscriteria voor NHI 3.0 gebruikmakend van de Nash-Sutcliffe efficieny en het percentage cumulatieve afwijking.

Een belangrijk criterium voor de toetsing is de Nash-Sutcliffe efficiency indicator (NS) die als volgt is gedefinieerd:

Met

- X_i = meetwaarde op tijdstip i
- Y_i = schatting op tijdstip i
- N = het aantal tijdstappen
- X_{gem} = het gemiddelde van de meetwaarden
- NS = efficiency indicator

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

De NS-waarde is maximaal 1,0. In dat geval is er een perfecte fit tussen model en meting. De waarde van 0,5 wordt door de wetenschappelijk klankbordgroep NHI aanbevolen als richtwaarde. Voor NHI 2.2 is de waarde 0,2 gehanteerd als criterium; op basis van vergelijking van de grafieken is toen geconstateerd dat in de meeste gevallen al een plausibel verband in de dynamiek bestaat tussen berekende en gemeten verdeling. Bij een NS waarde van 0,0 is de gemiddelde waarde van de metingen een net zo goede voorspeller. Bij negatieve Nash-Sutcliffe waarden is het gemiddelde van de metingen een betere voorspeller dan het model. Afwijkingen worden door het Nash-Sutcliffe criterium kwadratisch gewogen,

dus een slechte dynamiek (verschillen tussen model en metingen in de timing van pieken en dalen) komt tot uiting in een lage score. Anderzijds komt een systematisch verschil ook naar voren in een lagere score.

Voor NHI 3.0 zijn de criteria aangescherpt op basis van de aangescherpte kwaliteitseisen van Tabel 4.1. Waar in vorige NHI-versies voor de Nash-Sutcliffe waarden alleen werd getoetst dat voor 80% van de meetlocaties een NS-index van minstens 0,2 gehaald werd, is daar nu aan toegevoegd dat bovendien voor minstens 60% van de locaties de NS-index minstens 0,5 moet zijn (tabel 4.2). Het criterium m.b.t. cumulatieve afwijkingen is ook strenger geworden. In vorige versies is getoetst op maximale cumulatieve afwijkingen voor aanvoeren en afvoeren van respectievelijk 33% en 20%; dat is nu geworden 25% en 10%. Bij de bespreking van de resultaten wordt hier nog op teruggekomen.

Tabel 4.2 Criteria voor aan- en afvoeren balansgebieden in NHI 3.0.

	Criterium
Aanvoeren en afvoeren (balansgebieden, aanvoer/afvoer ≥ 5 m ³ /s)	- Afvoeren: - voor 80% van de locaties is de NS-index minstens 0,2 en bovendien voor 60% van de locaties is de NS-index minstens 0,5 en - voor 80% van de locaties is de afwijking cumulatieve jaarafvoer minder dan 10%. - Aanvoeren: - voor 80% van de meetlocaties is de NS-index voor het zomerhalfjaar minstens 0,2 en bovendien is voor 60% van de meetlocaties de NS-index minstens 0,5 en - voor 80% van de locaties is de afwijking cumulatieve aanvoer zomerhalfjaar minder dan 25%.
Aanvoeren en afvoeren (< 5 m ³ /s)	- Voor de locaties met kleine aan en afvoeren geldt voor het cumulatieve criterium een soepeler waarde: - Maximale afwijking cumulatieve jaarafvoer 33% - Maximale afwijking cumulatieve aanvoer zomerhalfjaar 50%

Zoals in paragraaf 4.2.1. gesteld, wordt vooral gekeken naar de totale aanvoer en afvoer van balansgebieden, en niet zozeer naar individuele meetlocaties. De meeste balansgebieden komen daarmee boven het criterium van 5 m³/s (waar dat niet het geval is, wordt dat in de tabel aangegeven). Bij de toetsing is vooral gekeken naar het relatief droge jaar 2003 en naar het jaar 2006. Het jaar 2006 is minder droog dan 2003, maar heeft een bijzondere opeenvolging van droge perioden (juni-juli) en een zeer natte augustusmaand, waardoor het bijzonder geschikt is om het model te vergelijken met metingen.

4.2.3 Resultaten

Hoofdkranen en nevenkranen Rijkswateren

Tabel 4.3 geeft een overzicht van de resultaten voor alle beschikbare hoofd- en nevenkranen met metingen, en aantal aanvullende meetlocaties in de rijkswateren. Hierin zijn de afzonderlijke NS-scores voor 2003 en 2006 gemiddeld tot één gemiddelde NS-score. Datzelfde geldt ook voor de score met betrekking tot de cumulatieve afwijking in vergelijking

met de metingen. Enkele grafieken van de af- en aanvoeren bij de hoofd en nevenkranen zijn in deze rapportage weergegeven, de complete set is beschikbaar in een html-rapportage. De tabel wordt hieronder eerst toegelicht, alvorens een selectie van relevante, betrouwbare, onafhankelijke locaties wordt vastgesteld en getoetst.

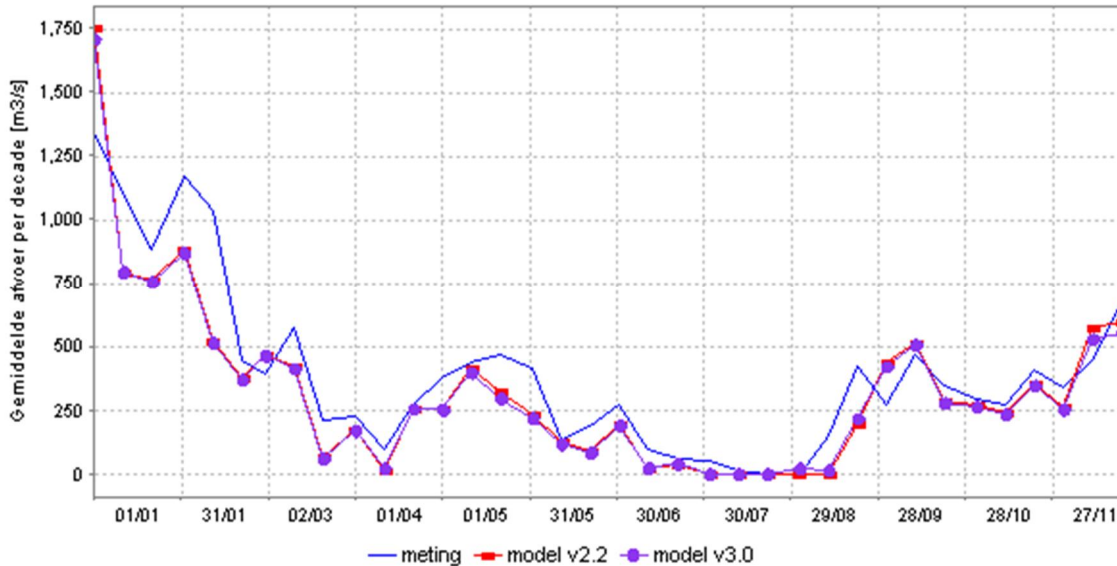
Tabel 4.3 Resultaten hoofd- en nevenkranen rijkswateren, gemiddeld 2003 en 2006 voor NHI 3.0
 (groen voldoet aan het criterium, oranje voldoet niet, grijs is buiten beschouwing gelaten)

Locatie	NHI 3.0		NHI 2.2	
	Resultaat NS	Cum afwijking (%)	Resultaat NS	Cum afwijking (%)
H1 Driel	0.99	-4.55	0.99	-4.50
H2 Haringvlietsluizen	0.84	-27.25	0.83	-27.80
H3+H4 Den Oever + Kornwerderzand	0.58	18.20	0.59	16.25
h6 Hagestein	0.99	-6.05	0.99	-5.95
h7 Oranjesluizen	-0.39	-58.85	-0.39	-58.85
h8 IJmuiden	-0.65	31.20	-0.38	27.05
Borgharen Grensmaas	1.00	5.65	1.00	5.65
Sint Pieter Noord	0.99		0.99	
Bunde (Julianakanaal; niet in kranenkaart)	-0.37	-7.80	-0.37	-7.80
Maas bij Lith	0.94	5.50	0.94	6.50
Waal bij Tiel	0.98	4.75	0.98	4.95
Totaal	+	+	+	+

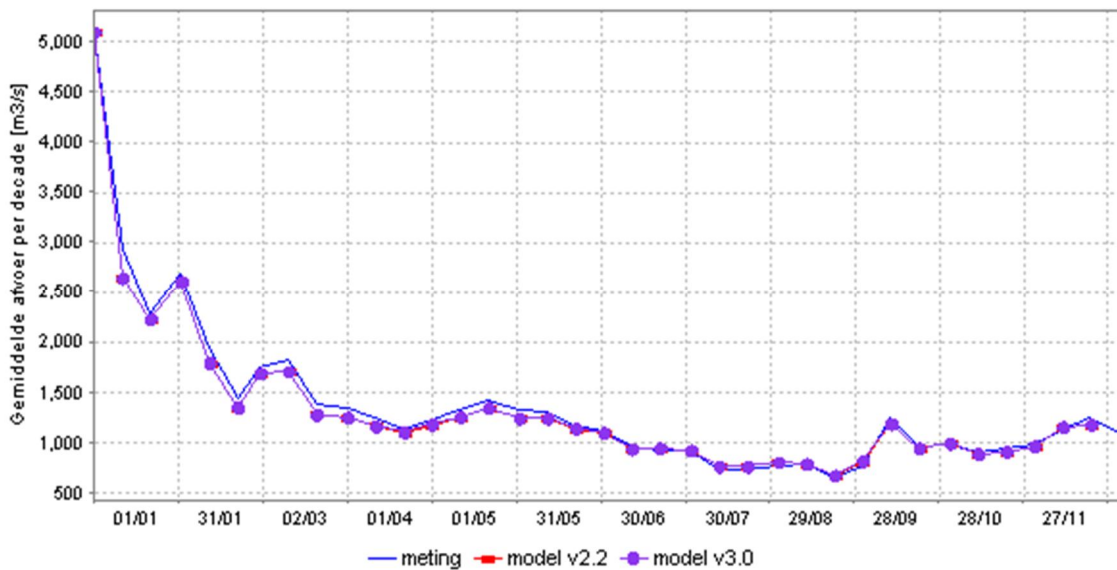
Uit Tabel 4.3 blijkt voor de hoofd- en nevenkranen in de rijkswateren dat alle locaties met meetgegevens voldoen aan het Nash-Sutcliffe waarde 0.5 voor afvoeren, met uitzondering van de Oranjesluizen, IJmuiden en het Julianakanaal (Bunde). Voor IJmuiden worden de metingen echter niet vertrouwd door RWS-NH, deze worden daarom niet meegewogen in de beoordeling van de afvoeren. Voor de Oranjesluizen en Bunde (Julianakanaal) zijn niet of nauwelijks veranderingen ten opzichte van NHI 2.2.

De DM waterverdeling voor het benedenrivierengebied is (te) eenvoudig, daardoor wijken de Haringvlietsluizen cumulatief iets teveel af. Voor het gebruik van NHI heeft dit echter geen noemenswaardige gevolgen omdat voor chloridewaarden op deze locatie Sobek-resultaten worden gebruikt. Wanneer alleen gekeken wordt naar de betrouwbare metingen en er rekening mee wordt gehouden dat in het benedenrivierengebied (Haringvliet) aanvullend Sobek resultaten worden ingezet, wordt in meer dan 80% van de meetpunten aan de eisen voldaan.

De afvoeren bij Driel, Hagestein, Borgharen (Grensmaas), Lith, en Tiel kloppen zoals verwacht zeer goed met de metingen, omdat deze in grote mate bepaald worden door de opgelegde randvoorwaarden.



Figuur 4.3 Afvoer Afslutdijk (Den Oever + Kornwerderzand) 2003



Figuur 4.4 Afvoer Tiel (Waal) 2003

Als we uit Tabel 4.3 de locaties selecteren die onafhankelijk zijn, maar de minder betrouwbare metingen niet meenemen, en ook de voor het model niet zo belangrijke locaties niet meenemen dan geeft dat de volgende overwegingen:

- Hagestein en Driel op de Nederrijn zijn zwaar gecorreleerd; van deze locaties mag er maar 1 worden meegenomen in de toetsing;
- ook Sint Pieter, Borgharen en Lith op de Maas zijn sterk gecorreleerd; van deze locaties mag er maar 1 worden meegenomen in de toetsing;
- de metingen bij IJmuiden zijn onvoldoende betrouwbaar;
- van het Haringvliet is bekend dat dit in DM niet zo goed gemodelleerd wordt, maar dat is ook niet relevant omdat de relevante zaken worden overgenomen uit de Sobek modellering (chlorideconcentraties op basis waarvan inlaten worden gestuurd);

- Bunde (Julianakanaal) is voor de landelijke beschikbaarheid minder van belang, omdat het water toch weer in de Maas terugkomt en beschikbaar is voor benedenstrooms gebruik.

Dan blijven voor de hoofd- en nevenkranen in de rijkswateren dus als onafhankelijke toetsingslokaties over: Driel, Tiel, Lith, de Afsluitdijk, en de Oranjesluizen. Van deze 5 locaties voldoen er 4, dat is 80%. Zowel NHI 3.0 als NHI 2.2 voldoen dus aan de aangescherpte criteria voor het hoofdsysteem.

Tabel 4.4 Resultaten onafhankelijke hoofd- en nevenkranen (groen voldoet aan het criterium, oranje niet)

Locatie	NHI 3.0		NHI 2.2	
	Resultaat NS	Cum afwijking (%)	Resultaat NS	Cum afwijking (%)
H1 Driel	0.99	-4.55	0.99	-4.50
H3+H4 Den Oever + Kornwerderzand	0.58	18.20	0.59	16.25
h7 Oranjesluizen	-0.39	-58.85	-0.39	-58.85
Maas bij Lith	0.94	5.50	0.94	6.50
Waal bij Tiel	0.98	4.75	0.98	4.95
Totaal	+	+	+	+

4.2.4 Conclusie afvoeren hoofdsysteem

Geconcludeerd wordt dat NHI 3.0 voor de afvoeren voldoet aan de criteria voor de belangrijkste punten in het hoofdwatersysteem. Voor 80% van de meetlocaties is de Nash-Sutcliffe waarde groter dan 0,5 en voor 80% van de meetlocaties is de cumulatieve afwijking minder dan 25%. De resultaten van NHI 3.0 en NHI 2.2 zijn vergelijkbaar. Op een aantal punten zijn meer betrouwbare metingen nodig voor goede toetsing. Voor het benedenrivierengebied (Haringvliet) worden, zoals bekend, aanvullend op de NHI-berekeningen Sobek-resultaten gebruikt, omdat de complexiteit in dit gebied onvoldoende met het Distributiemodel kan worden benaderd.

4.2.5 Resultaten regionale systemen

In deze paragraaf geven we een samenvatting van de toetsing voor afvoer van en aanvoer naar de regionale systemen vanuit het rijkswater. Alle gemeten en gemodelleerde debieten zijn opgenomen in html-rapportages, die ook beschikbaar zullen worden gemaakt.

In totaal zijn voor de regionale afvoer en aanvoer nog een flink aantal andere toetsingslocaties beschouwd (inclusief enkele regio-totalen en de genoemde regionale aan- en afvoerpunten). Locaties waarvoor vooraf bekend is dat het werkelijke beheer afwijkt van het in het model geïmplementeerde beheer, dan wel locaties waarvoor de metingen onbetrouwbaar worden geacht, zijn in de toetsing niet meegenomen. Dit betreft o.a. de Tolhuissluis (beheer) en de Schermer en Stontel inlaten in Noord-Holland (metingen onderschatten de werkelijke inlaat, zo heeft HHNK aangegeven). De NoordOostpolder inlaat is ook niet meegenomen, omdat de (zomer)afvoergegevens van 2003 twee keer zo hoog zijn als de metingen 2006, hetgeen onwaarschijnlijk is.

Verder is de toetsing voor grotere eenheden uitgevoerd (waterbalansgebieden), waarbij eventueel meerdere inlaten of meerdere afvoerlocaties samengenomen zijn.

Regionale aanvoeren

Tabel 4.5 geeft een overzicht van de resultaten voor de aanvoerdebieten naar de regionale systemen. Hierin zijn de NS-scores voor 2003 en 2006 gemiddeld tot één score. De meetpunten zijn ingedikt tot een setje voor onafhankelijke waterbalansgebieden. Voor enkele locaties is slechts data voor één van beide jaren beschikbaar, waardoor de scores gebaseerd zijn op 1 jaar in plaats van 2 jaren. Datzelfde geldt ook voor de scores met betrekking tot de cumulatieve afwijking.

Tabel 4.5 Resultaten regionale inlaten in rijkswateren, NHI 3.0 en NHI 2.2
(groen voldoet aan het criterium, oranje voldoet niet, grijs is buiten beschouwing gelaten; geel voldoet niet aan aangescherpte criteria, maar wel aan oorspronkelijke criteria)

Regionale aanvoer	NHI 3.0		NHI 2.2.	
	Nash Sutcliffe	cum. % afwijking	Nash Sutcliffe	cum. % afwijking
Netto aanvoer Friesland	0.72	421.65	0.78	555.75
Gaarkeuken	0.59	-28.65	0.37	-38.85
Totaal Zuidwest Drenthe	0.49	23.30	0.53	7.30
Inlaat Twentekanaal (Eefde)	0.60	14.60	0.57	23.60
Rijnland totaal	0.33	24.10	0.26	18.70
Delfland (Dolk)	0.72	-11.20	0.50	-12.30
Inlaat Brabantse Delta	0.19	-15.95	0.20	15.00
Inlaat Kromme Rijn (Wijk bij Duurstede)	-1.68	11.00	-2.93	18.70
Totaal	+	+	-	+

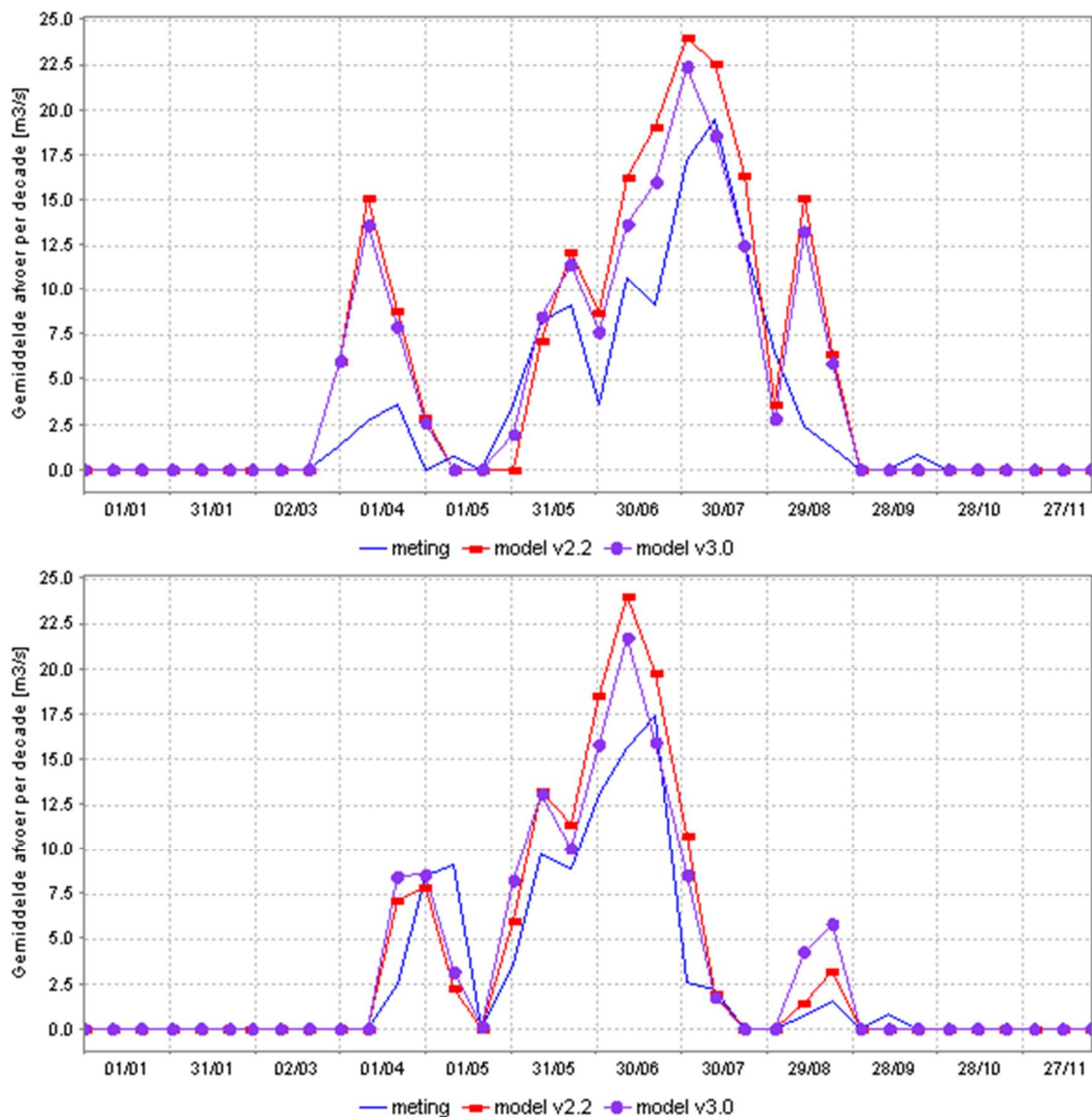
In de tabel is met groen aangegeven als een lokatie voldoet aan het aangescherpte criterium (NS 0,5 en cumulatieve afwijking minder dan 25%), in oranje als het niet voldoet aan de oorspronkelijke criteria (NS 0,2 en cumulatieve afwijking < 33%), en met een gele zandkleur als het wel voldoet aan het oorspronkelijke criterium (NS 0,2 en cumulatieve afwijking aanvoer minder dan 33%), maar niet aan de nu geldende aangescherpte criteria (NS 0,5 en cumulatieve afwijking aanvoer minder dan 25%).

Voor de netto aanvoer Friesland is het percentage cumulatieve afwijking uitgedrukt en dus niet meegenomen, omdat door de wijze van berekening (netto aanvoer Friesland = totale inlaat Friesland – doorvoer naar Groningen – lozing naar Waddenzee) de netto aanvoer ook in de zomerperiode soms positief en soms negatief is. Totaal over de zomerperiode geven de metingen een kleine afvoer, en het model cumulatief juist een aanvoer, vandaar het grote procentuele verschil.

In de tabel zijn de getallen in 2 decimalen gepresenteerd, maar bij de toetsing is gekeken naar de intentie van de grenswaarde: bij een grens van 0,2 is 0,19 ook geaccepteerd, want bij afronding op 1 decimaal voldoet het. Op dezelfde manier is bij een grens van 0,5 ook een waarde van 0,47 acceptabel.

Qua Nash-Sutcliffe score doet NHI 3.0 het beter dan NHI 2.2. In NHI 3.0 voldoet 1 locatie (Kromme Rijn) niet aan de NS>=0,2 eis, en 2 andere locaties (Brabantse Delta, Rijnland) niet aan de NS>=0,5 eis. In NHI 2.2 voldoet Kromme Rijn ook niet aan de NS>0,2 eis, en voldoen 3 locaties (Brabantse Delta, Rijnland en Gaarkeuken) niet aan de NS>0,5 eis.

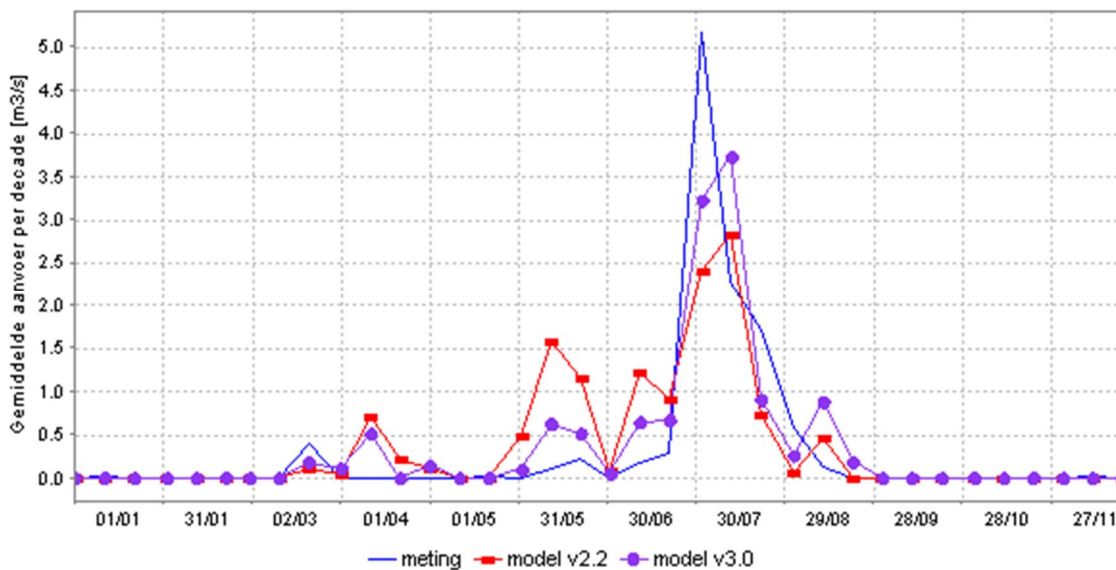
NHI 3.0 voldoet wel aan de aangescherpte eisen m.b.t. Nash-Sutcliffe scores (80% van de locaties een $NS > 0,2$ en 60% $NS > 0,5$). NHI 2.2 voldoet niet aan deze aangescherpte eisen, maar voldeed wel aan de oorspronkelijke eisen dat 80% van de locaties een $NS > 0,2$ heeft. Zowel NHI 3.0 als NHI 2.2 voldoen aan de eisen met betrekking tot aangescherpte maximale cumulatieve afwijkingen. NHI 3.0 voldoet voor de regio-aanvoeren voor grotere balansgebieden. NHI 3.0 is ook beter dan NHI 2.2 qua aanvoer.



Figuur 4.5 Doorvoer van Friesland naar Groningen bij Gaarkeuken 2003 en 2006 (boven 2003, onder 2006;

Figuur 4.5 geeft een illustratie van de verbetering in NHI 3.0 voor de berekende doorvoer bij Gaarkeuken: in NHI 2.2 was de NHI berekening duidelijk hoger dan de meting. Dat is in NHI 3.0 ook nog zo, maar het verschil tussen NHI en de metingen is kleiner geworden. De cumulatieve afwijking van de berekende aanvoer bij Gaarkeuken vergeleken met de meting is in NHI 3.0 kleiner geworden dan in NHI 2.2 (28% vs. 38%); de afwijking van 28% voldoet nog niet aan het aangescherpte criterium van 25%, maar wel aan het eerder gehanteerde criterium van maximaal 33% cumulatieve afwijking. Verder blijkt uit de vergelijking van 2003 en 2006 in Figuur 4.5 dat in 2003 dat de peilopzet in april 2006 goed gereproduceerd wordt,

maar in 2003 niet, terwijl die in het model op dezelfde manier is opgelegd. In het model is de peilopzet star gekoppeld aan de opgegeven peilopzetperiode, maar in de praktijk gebeurt de peilopzet flexibel. Bijvoorbeeld als er vlak voor de peilopzetperiode een flinke neerslag valt, wordt die niet meer uitgemaal, maar vastgehouden om het peil alvast op te zetten. Verder hanteert NHI vaste groeiseizoenen voor het gewas, maar in 2003 zijn de gewassen al in september geoogst en is de aanvoerbehoefte in werkelijkheid dus veel lager geweest dan NHI berekent voor september 2003 (N.B. de datum op de X-as hoort bij de verticale stippellijn links van de datum)



Figuur 4.6 Doorvoer van Rijnland naar Delfland (Dolk / Leidschendam) 2003

Figuur 4.6 laat de verbetering van het NHI resultaat voor Leidschendam (doorvoer van Rijnland naar Delfland) zien.

Uit Tabel 4.5 en de gedetailleerde resultaten blijkt voor de wateraanvoer het volgende:

- De regionale (totaal)aanvoeren naar balansgebieden voldoen in NHI 3.0 en NHI 2.2 aan het criterium van de cumulatieve afwijkingen (max. 25% afwijking voor 80% van de locaties). Bij de enige locatie die niet voldoet, Gaarkeuken, is NHI 3.0 beter dan NHI 2.2.
- Voor het aangescherpte Nash-Sutcliffe criterium geldt dat NHI 3.0 wel voldoet, en NHI 2.2 net niet (4 locaties hebben $NS < 0,5$, waar maximaal 3 is toegestaan). NHI 2.2 voldeed wel aan het oude criterium (80% van de locaties $NS > 0,2$).
- NHI 3.0 is dus wat regionale aanvoeren betreft iets beter dan in NHI 2.2.
- De doorvoer naar Groningen (Gaarkeuken) is duidelijk verbeterd in NHI 3.0 ten opzichte van NHI 2.2.
- De doorvoer van Rijnland naar Delfland (Dolk/Leidschendam) is NHI 3.0 beter dan NHI 2.2., maar dit komt niet tot uiting in een andere kleurstelling / evaluatie.
- Ook de inlaat Eefde is voor 2003 iets beter in NHI 3.0 dan in NHI 2.2. Het jaar 2006 is voor Eefde buiten de toetsing gehouden in verband met onvolledige meetgegevens in de FEWS database.
- Als we niet kijken naar totale aanvoer van balansgebieden, maar naar individuele locaties en dan vergelijken met metingen dan blijken de scores voor die individuele locaties vaak minder goed. Hierbij maakt de sterk schematische weergave van het oppervlaktewatersysteem en verdeelregels in DM het lastig om goede vergelijkingen

te maken. Daarom is er nu juist voor gekozen de aanvoeren en afvoeren voor grotere balansgebieden te vergelijken, en niet voor individuele locaties.

- De districtsindeling is in NHI 3.0 en NHI 2.2. verschillend, omdat districten zijn opgesplitst in verband met de koppeling met het LSM.

Regionale afvoeren

Ook voor regionale afvoeren wordt getoetst op totale afvoeren van balansgebieden. Eerst wordt een overzicht gegeven van de afvoeren voor individuele locaties en enkele totalen, waarna de samenvattende tabel voor de totale afvoeren wordt gegeven. De resultaten voor de afvoeren in NHI 2.2 en NHI 3.0 zijn samengevat in één Nash-Sutcliffe score en één percentage cumulatieve afwijking, gemiddeld voor 2003 en 2006. Voor enkele locaties was slechts voor één van beide jaren data beschikbaar en zijn de scores van dat jaar in de tabel opgenomen.

Tabel 4.6 Samenvatting oppervlaktewater resultaten, afvoeren regionaal oppervlaktewater (groen voldoet, oranje voldoet niet, grijs buiten beschouwing gelaten, geel voldoet wel aan de oorspronkelijke criteria maar niet aan de aangescherpte criteria) . Hierbij is voor de toetsing van de cumulatieve afwijking rekening gehouden met de $5\text{m}^3/\text{s}$ grens.

Regionale afvoer	Locatie	NHI 3.0 Nash Sutcliffe	NHI 3.0 cum. % afwijking	NHI 2.2 Nash Sutcliffe	NHI 2.2 cum.% afwijking	Opmerking
Brabantse Delta	Dintelsas	0.84	5.05	0.85	6.90	
	Bovensas	-4.47	-139.45	-4.84	-160.35	
Friesland (boezemsysteem)	Totale afvoer Friesland	0.83	19.65	0.89	4.90	
	Gemaal Ezumazijl	0.52	-10.35	0.45	-26.05	kleine afvoer
	Friese Sluis en Dokkumer Nieuwe Zijlen	0.72	23.85	0.82	9.90	
	Tjerk Hiddessluizen en Harlingen gemeentesluizen	-1.97	-37.05	-2.79	-47.00	
	Hoogland en Woudagemaal	0.56	67.20	0.76	38.80	
	Gemalen Roptazijl en Swarte Harne	0.12	2.10	-0.04	-6.15	
Zuiderzeeland	Afvoer Noordoostpolder	-1.35	22.75	-1.35	17.50	NHI 3.0 nog niet correct na districtsplitsing?
HHNK	Polders Drieban, Westerkogge en Oosterpolder	0.67	21.90	0.68	20.35	Kleine afvoer
	Afvoer Wieringermeer	0.16	22.30	0.21	17.05	Kleine afvoer
Rijnland	Totale Afvoer Rijnland	0.43	45.80	0.60	34.80	
	Gemaal Gouwe	0.39	6.15	0.42	2.90	
	Gemaal - spuisluis	0.56	44.20	0.73	31.50	

Regionale afvoer	Locatie	NHI 3.0 Nash Sutcliffe	NHI 3.0 cum. afwijking	NHI 2.2 Nash Sutcliffe	NHI 2.2 cum.% afwijking	Opmerking
	Katwijk					
	Gemalen Halfweg en Spaarndam	-0.12	52.20	0.04	40.10	
Drente	Totale afvoer Zuidwest Drenthe	-0.60	-131.70	-1.25	-158.20	
	Rogatsluis (afvoer)	-0.50	-96.20	-1.31	-125.40	
	Paradijssluis (afvoer)	-9.53	-370.20	-13.98	-439.95	
Groningen	Cleveringsluis (afvoer)	0.69	26.90	0.79	13.10	
	De Drie Delfzijlen	0.46	32.15	0.58	23.30	kleine afvoer
	Gemaal Duurswold	0.42	-10.05	0.38	-24.00	kleine afvoer
	Gemaal Rozema	0.03	-23.45	-0.09	-43.55	
Dommel	Stuw Blaarthem (Beatrixkanaal)	0.78	24.60	0.88	15.00	Kleine afvoer
Delfland	Schiegemaal en Parksluizen	0.73	-9.40	0.65	0.60	Kleine afvoer
	Westland en Zaaijer	0.54	3.25	0.45	-11.20	
	Scheveningen en Vlotwatering/vd Burg	0.47	9.80	0.22	44.75	
Duitsland (randvoorwaarde)	Niers	0.93	-2.10	0.93	-2.10	
	Swalm	0.55	10.60	0.55	10.60	
Aa en Maas	Dieze uitstroom + Drongelens kanaal	0.45	32.25	0.80	19.20	
Overig	Dorkwerd	0.76	-15.10	0.75	-12.65	Is aanvoer
	Roptazijl (apart)	-1.52	-5.45	-2.04	-14.95	
	Swarte Harne (apart)	0.57	7.60	0.56	0.40	
	Tjonger afvoer	0.80	23.70	0.88	13.10	Kleine afvoer
Totaal individuele afvoeren		-	-	-	-	

Kijkend naar alle individuele locaties in Tabel 4.6 volgt dat NHI voor individuele afvoeren niet voldoet, maar kijkend naar de waterbalanseenheden en totale afvoeren in Tabel 4.7 is het beeld anders blijkt uit de volgende tabel.

Tabel 4.7 Samenvatting oppervlaktewater resultaten, totale afvoeren regionaal oppervlaktewater
(groen voldoet, oranje voldoet niet, grijs buiten beschouwing gelaten, geel voldoet wel aan de oorspronkelijke criteria maar niet aan de aangescherpte criteria).

Balansgebied Afvoer	Locatie	NHI 3.0 Nash Sutcliffe	NHI 3.0 cum. % afwijking	NHI 2.2 Nash Sutcliffe	NHI 2.2. cum.% afwijking	Opmerking
Brabantse Delta	Dintelsas+Bovensas	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	Dintelsas is dominant over Bovensas
Friesland	Totale afvoer Friesland	+	+ / -	+	+ / -	
HHNK	Drieban, Westerkogge en Oosterpolder, plus Wieringermeer	+ / -	+	+ / -	+	De individuele locaties voldoen, dan wel (NHI 3.0 NS) het gewogen gemiddelde voldoet
Rijnland	Totale Afvoer Rijnland	+ / -	-	+	-	Afwijking mede door ontbreken Tolhuissluisroute in NHI
Drenthe	Totale afvoer Zuidwest Drenthe	-	-	-	-	
Groningen	Totale afvoer	+	+ / -	+	+ / -	
Dommel	Stuw Blaarthem	+	+	+	+	Kleine afvoer
Delfland	Totaal	+	+	+ / -	pm	In NHI 3.0 voldoen alle afzonderlijke locaties, in NHI 2.2 voldoet er 1 niet
Midden Brabant	Dieze uitstroom + Drongelens kanaal	+	-	+	+	
Totaal		+/-	-	+/-	-	

- Uit Tabel 4.7 blijkt dat de NHI 3.0 voor de regionale afvoeren qua Nash-Sutcliffe voor 1 locatie onder de 0,2 zit, voor nog 3 andere locaties onder de 0,5, en voor 5 locaties boven de 0,5. Voor de in totaal 9 locaties wordt de 60% goed dus net niet gehaald (55%). Voor NHI 2.2 is dat hetzelfde. Opgemerkt wordt dat voor Rijnland de score 0,43 is, dus bij een grens van 0,4 in plaats van 0,5 zou NHI 3.0 net wel voldoen.
- De Nash-Sutcliffe score laat zien dat qua dynamiek NHI 3.0. en NHI 2.2. voor de grotere waterbalansgebieden net niet voldoen. Voor de cumulatieve afwijking is het duidelijker: 3 van de 9 locaties voldoen niet. En voor de individuele afvoerlocaties in Tabel 4.6 blijkt dat NHI nog niet voldoet. Aan het verbeteren van de afvoeren op individuele locaties zal voor NHI 3.1 dus nog aandacht moeten worden besteed.

4.2.6 Kanttekeningen toetsing

Er nog een aantal kanttekeningen te maken bij bovenstaande toetsing. De eerste opmerking is dat er eigenlijk te weinig goede metingen (of meetlocaties en modellocaties) zijn zodat er statistisch verantwoord getoetst kan worden. Bij een toetsing op 5 hoofdkranen, 8 grote wateraanvoergebieden en 9 afvoergebieden, is de toetsing op het percentage van de locaties dat voldoet wel erg gevoelig voor of er 1 meer of minder voldoet. Daarom moet er genuanceerd met het criterium worden omgegaan. Een tweede punt is de representativiteit

voor heel Nederland, we zouden graag een grotere en meer landsdekkende set toetsingslocaties gebruiken. Het derde punt is de kwaliteit van de metingen of de ruis in de metingen. Voor oppervlaktewater is daar tot op heden niet naar gekeken.

4.2.7 Samenvatting

Voor een groot aantal locaties in het oppervlaktewatersysteem zijn modeluitkomsten (aanvoer, doorvoer en afvoer) vergeleken met beschikbare metingen of de som van een aantal metingen. Het gaat hierbij om een subset van locaties van de hoofd- en nevenkranen in het landelijk hoofdwatersysteem. In de toetsing zijn de locaties Den Oever en Kornwerderzand samengenomen en vergeleken met het door NHI berekende debiet over de Afsluitdijk. Verder is de lijst van regionale aanvoer- en afvoerpunten gegroepeerd tot een aantal grotere balansgebieden en zijn voor acht gebieden de aanvoeren en voor negen gebieden de afvoeren getoetst.

Locaties waarvoor vooraf bekend is dat het werkelijke beheer afwijkt van het in het model opgenomen beheer, dan wel locaties waarvoor de metingen onbetrouwbaar worden geacht, zijn in de toetsing niet meegenomen. Dit betreft o.a. de inlaat Tolhuissluis, NoordOostpolder inlaat, en de Schermer en Stontel inlaten in Noord-Holland. Geconcludeerd is dat NHI3.0 voldoet aan de criteria voor landelijke afvoer en regionale aanvoer, maar niet geheel voor regionale afvoer.

Tabel 4.8 Samenvatting van de toetsing debieten aan criteria van NHI.

Indicator	Voldoet aan criterium		Opmerking
	NHI 2.2	NHI 3.0	
Oppervlaktewater			
Landelijk afvoer	+	+	Hoofd- en nevenkranen rijkswateren
Regionale aanvoer	+/-	+	Toetsing op (netto) aanvoer voor regionale balansgebieden. NHI3.0 is beter dan NHI2.0
Regionaal afvoer	+/-	+/-	Regionale afvoer tijdens winterperiode voldoet niet aan de criteria

(- voldoet niet, +/- voldoet aan een deel van de (samengestelde) criteria, + voldoet)

De gedetailleerde tabellen en figuren zijn in html rapportages opgenomen die later via www.nhi.nu te bekijken zijn.

4.3 Peilen

4.3.1 Wat wordt er getoetst?

Hoewel de berekende peilen voor het NHI niet expliciet als toetscriterium zijn genoemd, worden hier grafisch de berekende en gemeten peilen gepresenteerd voor de grote meren (IJsselmeer, Markermeer, randmeren) en getoetst voor zover data beschikbaar is. Belangrijk is om te zien of het al of niet uitzakken onder streefpeil gereproduceerd wordt als indicatie voor de bergingsverandering tijdens droogte. Deze toetsing is complementair aan het toetsen van aanvoer- en afvoerdebieten op hoofdkranen en regionale doorvoerkranen, zoals in paragraaf 4.2 is beschreven.

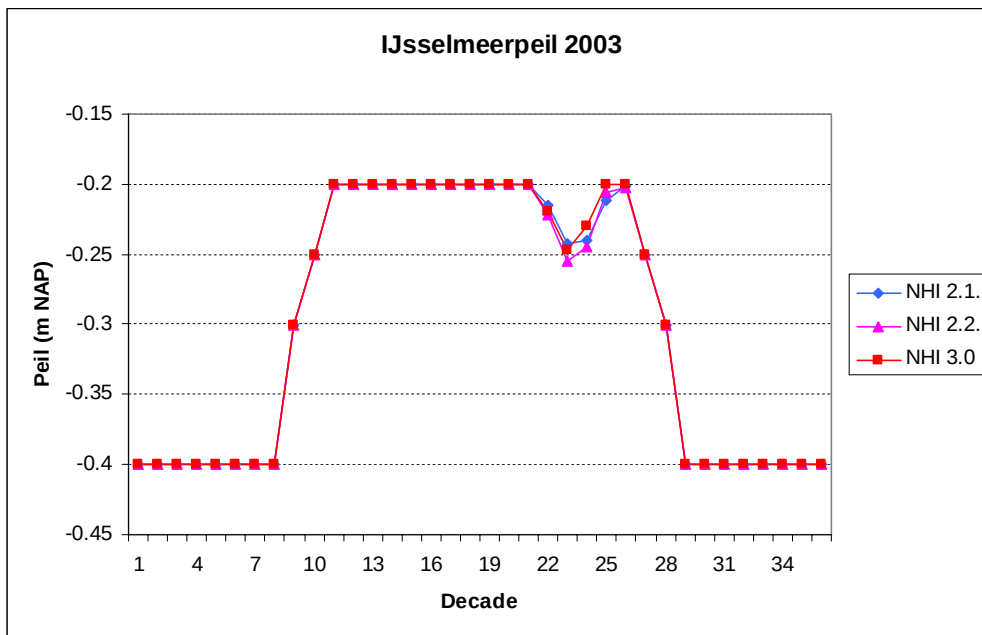
4.3.2 Methode en criteria

Voor de peilen wordt in dit stadium alleen een grafische vergelijking van metingen en berekende peilen gedaan. Er is geen indicator bepaald. Op basis van de grafieken en expertoordeel wordt een kwalificatie toegekend.

4.3.3 Resultaten

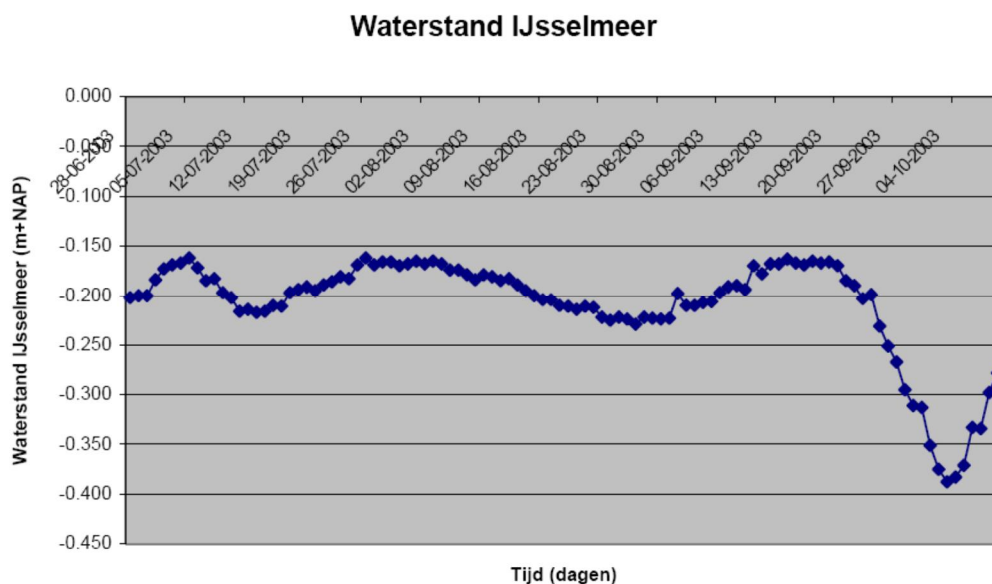
IJsselmeer

In Figuur 4.7 wordt het IJsselmeerpeil in 2003 weergegeven zoals dat berekend is met NHI 2.1, NHI 2.2 en NHI 3.0.



Figuur 4.7 Berekende IJsselmeerpeilen in 2003 met NHI 2.1., NHI 2.2 en NHI 3.0

Uit het overzicht van de droogte in de provincie Overijssel in 2003 blijkt dat het IJsselmeerpeil in 2003 gezakt is tot ongeveer -0,23 m NAP, zie Figuur 4.8. Deze figuur met dagelijks gemeten peilen in de zomer van 2003 is overgenomen uit (Tienstra, 2004).



Figuur 4.8 IJsselmeerpeilen juli-oktober 2003 (uit: Tienstra 2004)

In NHI worden binnen het DM de peilen per decade berekend, dus de variatie binnen een decade zoals hierboven aangegeven is niet te reproduceren. Verder valt op dat in de metingen ook waterstanden boven streefpeil zijn gemeten. Vermoedelijk is het peil in 2003 opgezet tot de bovenkant van de toegestane marge in het peilbesluit, zoals ook in mei/juni 2011 is gedaan. In de zomer zakt het peil in de metingen rond 12 juli het peil onder streefpeil, komt weer terug boven streefpeil en zakt half augustus weer onder streefpeil. Het peil begint weg te zakken vanaf begin augustus. Half september zijn de metingen weer op of boven

streefpeil. Vanaf het moment dat het peil beneden streefpeil -0.20 zakt is de uitzakking ca. 4 cm tot het laagste punt.

In NHI wordt het streefpeil als bovengrens gehanteerd; het model zal het peil dus niet opzetten boven het zomerstreefpeil van -0.20 m NAP. In het model zakt het peil ongeveer 5 cm weg, dat is vergelijkbaar met NHI 2.2 berekeningen en ook vergelijkbaar met de uitzakking in de metingen. In het model zakt het peil in begin augustus (decade 22) onder streefpeil en komt het half september weer terug op streefpeil. Voor Markermeer en Randmeren is het beeld hetzelfde.

Geconcludeerd wordt dat voor IJsselmeer, Markermeer en randmeren de met NHI3.0 berekende variatie in de peilen voor 2003 plausibel zijn.

4.4 Chloride grote wateren

4.4.1 Wat wordt er getoetst?

Voor laag-Nederland zijn de chlorideconcentraties in grond- en oppervlaktewater belangrijke parameters. Voor een aantal regio's is de inlaat afhankelijk van de chlorideconcentratie van het water op het inlaatpunt: er wordt bij te hoge chloride concentraties niet ingelaten en/of via alternatieve aanvoerroutes water aangevoerd. In de STOWA-toetsing en in deelprogramma's van het Deltaprogramma is bevestigd dat de berekening van externe verzilting in het benedenrivierengebied met Sobek belangrijk is voor de berekening van regionale onttrekkingen; anderzijds worden de met Sobek berekende chlorideconcentraties beïnvloed door de bij die Sobek-berekening gebruikte waarden voor de onttrekkingen. Sobek-berekeningen worden als randvoorwaarden ingezet in NHI-berekeningen, en zijn dus onmisbaar voor de analyse. Hier wordt echter vooral de berekening in het NHI zelf getoetst.

Voor de simulatie van chlorideconcentraties is reeds in NHI 2.2 een verbeterslag doorgevoerd voor de interne verzilting in diepe droogmakerijen met zoute wellen (zie Hoogewoud *et al.*, 2011, Louw *et al.*, 2010; 2011a). Verder zijn zout-zoet sluizen toegevoegd en enkele diepe droogmakerijen of bekend zoute gebieden als apart district geschematiseerd en aan het netwerk gekoppeld. Zout is daarmee in NHI 2.2. qua concept en detail op een aantal plekken verbeterd. In NHI 3.0 is de parameterisatie (o.a. zoutconcentratie onderkant deklaag) aangepast en is de districtsindeling aangepast. In de volgende paragraaf worden de met NHI3.0 berekende chloride concentraties vooral getoetst door een visuele (grafische) vergelijking van gemeten en berekende chloride concentraties.

4.4.2 Methode en criteria

Op dit moment wordt de modelresultaten alleen optisch vergeleken met de metingen, door waarden in grafieken te vergelijken. Daarbij wordt vooral de prestatie van de dynamiek globaal beoordeeld. De criteria die in deze fase voor screening zijn gedefinieerd in overleg met RWS Waterdienst, zijn hieronder weergegeven.

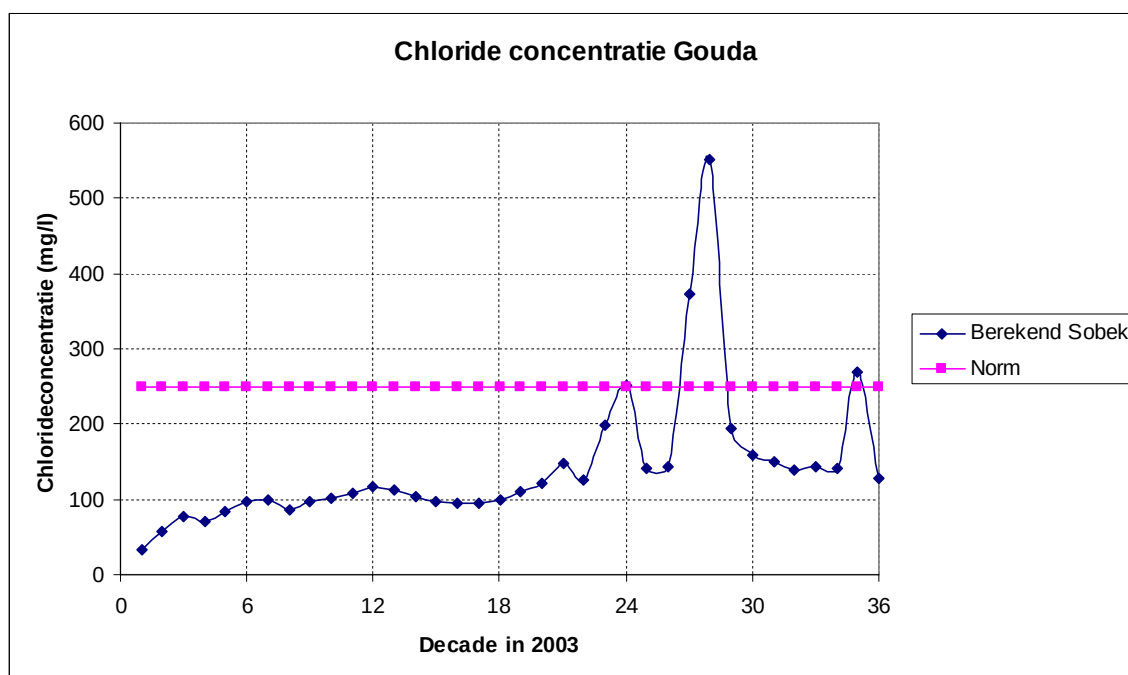
Voor chlorideconcentraties zijn op dit moment binnen het NHI weinig bruikbare (betrouwbare) metingen beschikbaar. Er wordt in deze fase daarom getoetst op enkele chlorideconcentraties in het hoofdwatersysteem en enkele metingen in het regionale watersysteem. Deze worden vergeleken met de chlorideconcentraties in het waterverdelingsnetwerk in DM en de districten in Mozart die corresponderen met diepe droogmakerijen.

	criterium
Chloride	Voor 80% van de meetlocaties: maximale afwijking van 40%. (de volgende nuancering is nog niet toegepast in de toetsing: <i>Dit geldt voor het bereik van 150-500 mg/l. Bij chlorideconcentraties beneden de 150 mg/l is 75% afwijking toegestaan, bij chlorideconcentraties boven de 500 mg/l is een kleinere procentuele afwijking toegestaan (25%). Adequate modellering rond de innamepunten is extra belangrijk</i>)

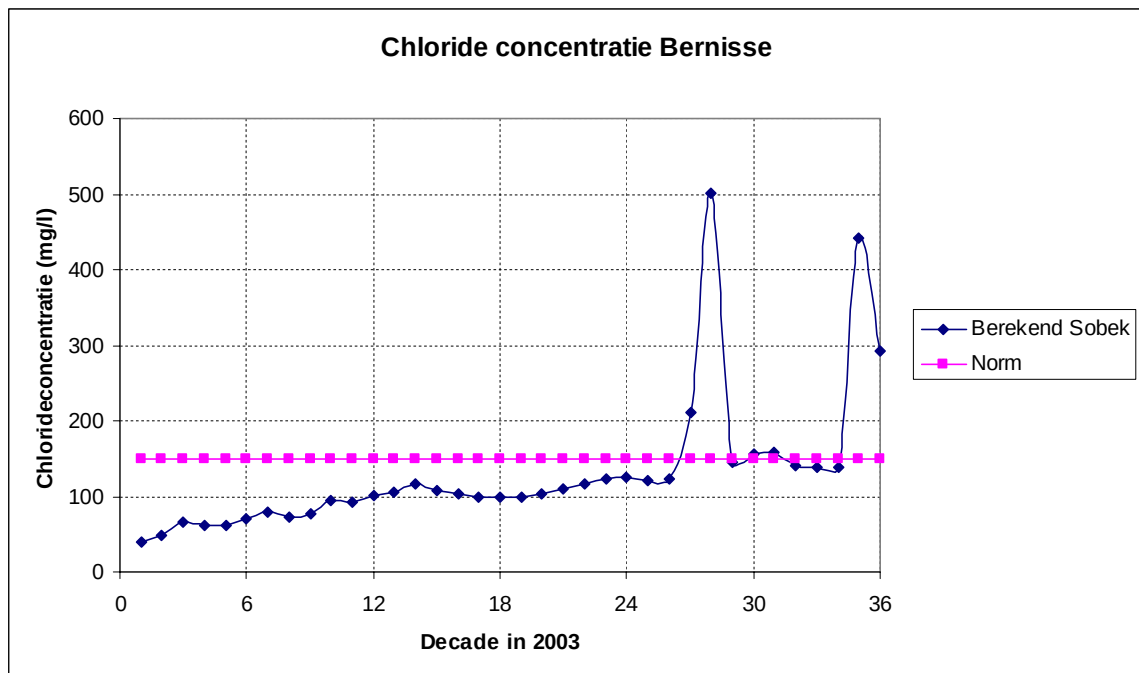
4.4.3 Resultaten

Inlaatpunten (SOBEK)

Voor het benedenrivierengebied zijn voor NHI 2.2. berekeningen met SOBEK uitgevoerd. Resultaten hiervan zijn in geaggregeerde vorm (decadegemiddelde chlorideconcentraties en percentage tijd boven de norm) als invoer voor DM gebruikt. Voor NHI 3.0 is deze invoer niet aangepast.



Figuur 4.9 Chloride bij de inlaat Gouda berekend met SOBEK, 2003



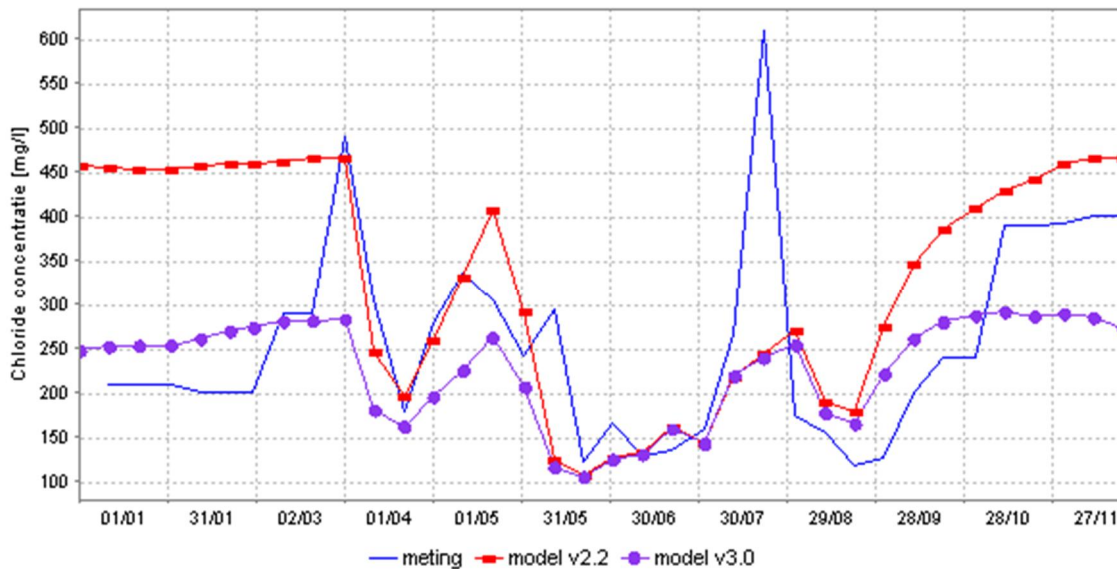
Figuur 4.10 Chloride bij de inlaat Bernisse berekend met SOBEK, 2003

Bij Gouda wordt er ingelaten zolang de chlorideconcentratie onder de norm van 250 mg/l is. Het Sobek model laat zien dat eind augustus, eind september/begin oktober, en in december de concentratie boven deze norm is. Uit de actuele situatie is bekend dat de KWA in augustus en september 2003 is ingezet om water via Bodegraven aan te voeren. Aanvullend is zelfs de Tolhuissluisroute ingezet van 26 augustus 2003 tot en met 12 september 2003. Het moment van het besluit om geen water bij Gouda in te laten komt goed overeen met de augustus piek door Sobek berekend (zie figuur 4.18, onderaan). De piekwaarde is te laag berekend maar tipt juist boven de grenswaarde. De terugval in de concentratie in de periode er na wordt ook goed gevolgd. De berekende grote piek eind september wordt niet gemeten.

Voor Bernisse is de inlaatnorm 150 mg/l. Deze wordt volgens het Sobek model in oktober en december overschreden. Uit een waterbalans voor 1 augustus-15 oktober 2003 voor het Brielse meer (afkomstig van waterschap Hollandse Delta) blijkt dat begin oktober enkele dagen geen water is ingelaten via de Bernisse. Dit ondersteunt het berekeningsresultaat.

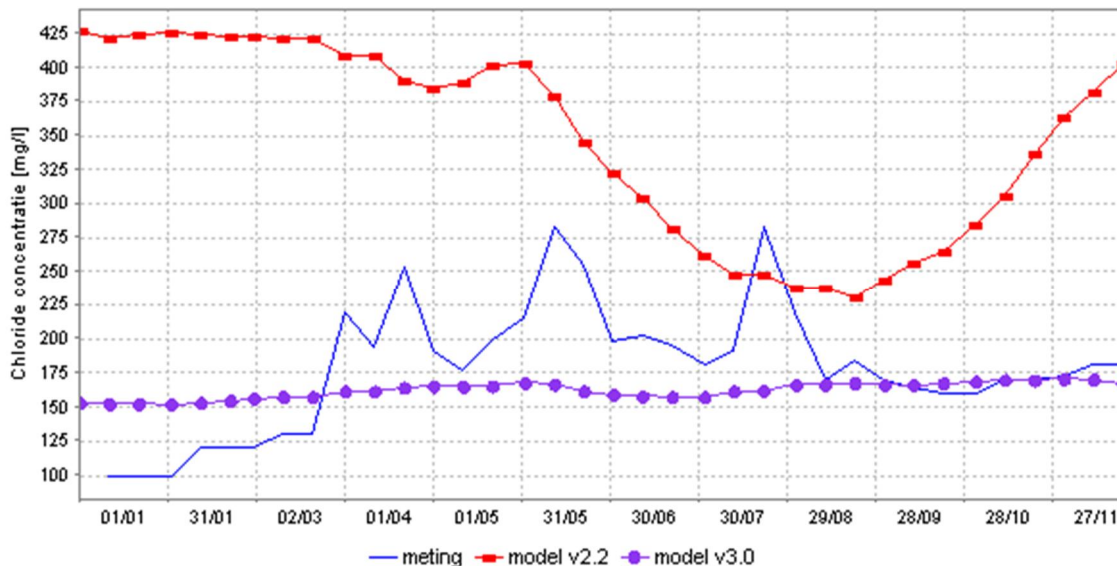
Hoofdsysteem (DM)

In onderstaande figuren zijn de toetsingsresultaten gegeven voor Gouda, Katwijk, de Dintel (in het met DM gemodelleerde hoofdwatersysteem) en de polder Noordplas (in het met Mozart gemodelleerde regionale oppervlaktewater).



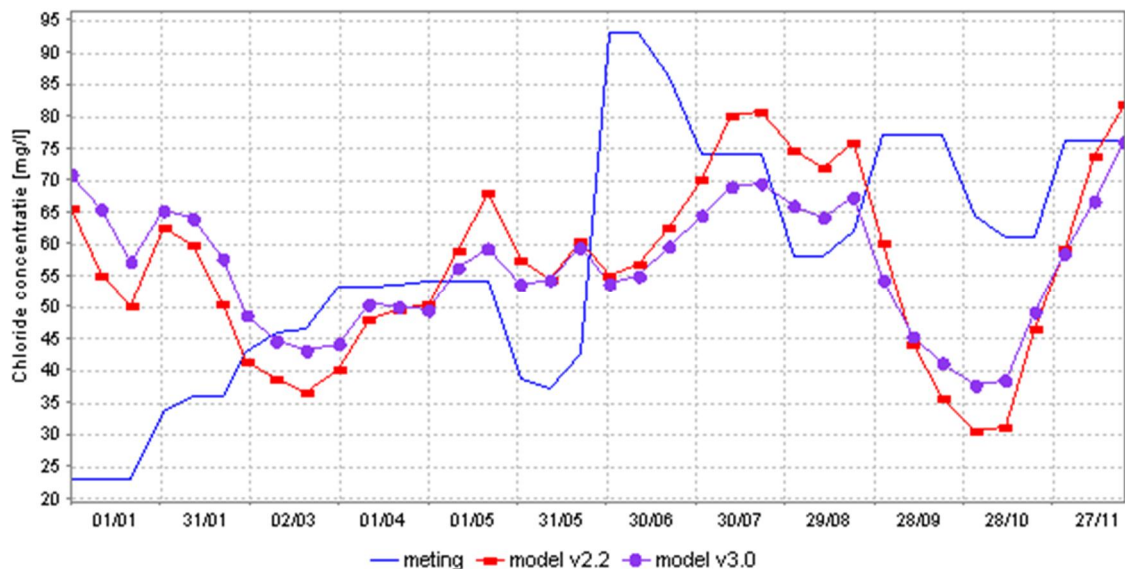
Figuur 4.11 Chloride op de Gouwe, 2003

Voor Gouda zijn de modelresultaten voor NHI 3.0 ten opzichte van NHI 2.2 in de zomer nauwelijks veranderd, maar in de winter wel. De hoge piek in de meting rond begin augustus wordt verklaard door het instellen van de Tolhuissluisroute, waardoor in eerste instantie zout kwelwater vanuit Groot Mijdrecht via de Tolhuissluis is aangevoerd en daarna via Gouda afgevoerd. Het gebruik van de Tolhuissluis is echter niet in de berekening meegenomen omdat voor de toetsing de referentiesituatie zonder maatregelen is gesimuleerd.



Figuur 4.12 Chloride bij Katwijk, 2003

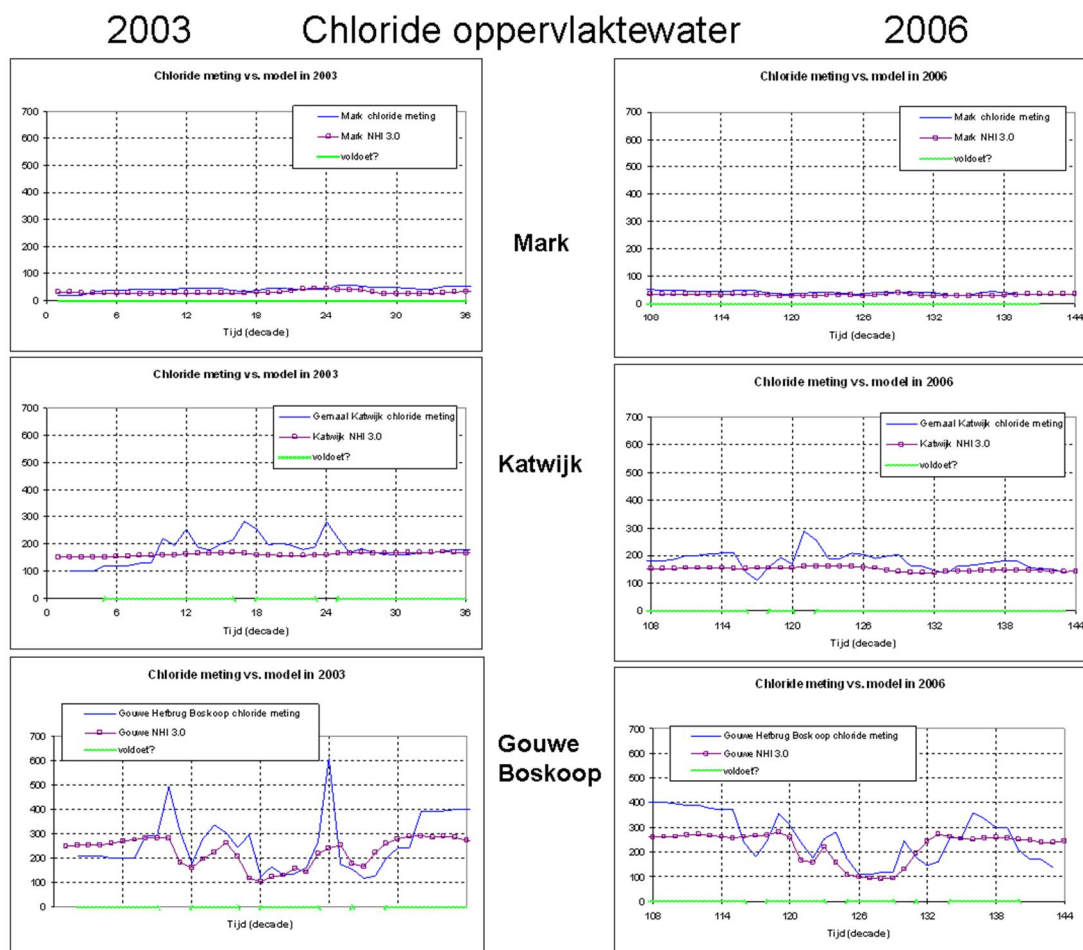
De chlorideconcentratie bij Katwijk voldoet voor NHI 2.2 niet. NHI 3.0 is duidelijk beter, maar heeft te weinig dynamiek, vermoedelijk onder andere omdat zoutindringing bij gemaal /spuisluis Katwijk niet is meegenomen in het model.



Figuur 4.13 Chlorideconcentratie Dintel, 2003

Bij de Dintel is de chlorideconcentratie onder 150 mg/l. Hiervoor geldt een soepeler criterium (50% toegestane afwijking van metingen). In het voorjaar en de zomer voldoet de berekening (figuur 4.18, boven), echter het dal in mei en de piek in juni in de concentratie wordt niet gevolgd. Het basisniveau wordt bepaald door de chloridegehaltenes vanuit Mozart. Afhankelijk van de precieze locatie van het meetpunt zou een zoutlek of waterinlaat vanuit het Volkerak-Zoommeer verantwoordelijk kunnen zijn voor de gemeten piek in juni.

De volgende figuren laten zien gedurende welk deel van de tijd de berekende chlorideconcentraties voldoen, door de 6 locaties en de 2 doorgerekende jaren (2003 en 2006) te analyseren. Voor de met groene balk aangegeven perioden voldoen de berekende waarden aan de criteria. In alle grafieken heeft de Y-as een schaal van 0 tot 700 mg/l chloride; de norm bij Gouda is typisch 250 mg/l. Duidelijk is dat Mark en Dintel zeer lage chlorideconcentraties hebben waarbij de Mozart concentraties dominant zijn. Voor de andere locaties is de achtergrondconcentratie hoger (hetzij door de achtergrondconcentratie van de Rijn, hetzij door invloed van diepe polders met zoute kwel) en speelt in meer of mindere mate zoutindringing via de Nieuwe Waterweg of bij zout-zoetsluizen een rol.

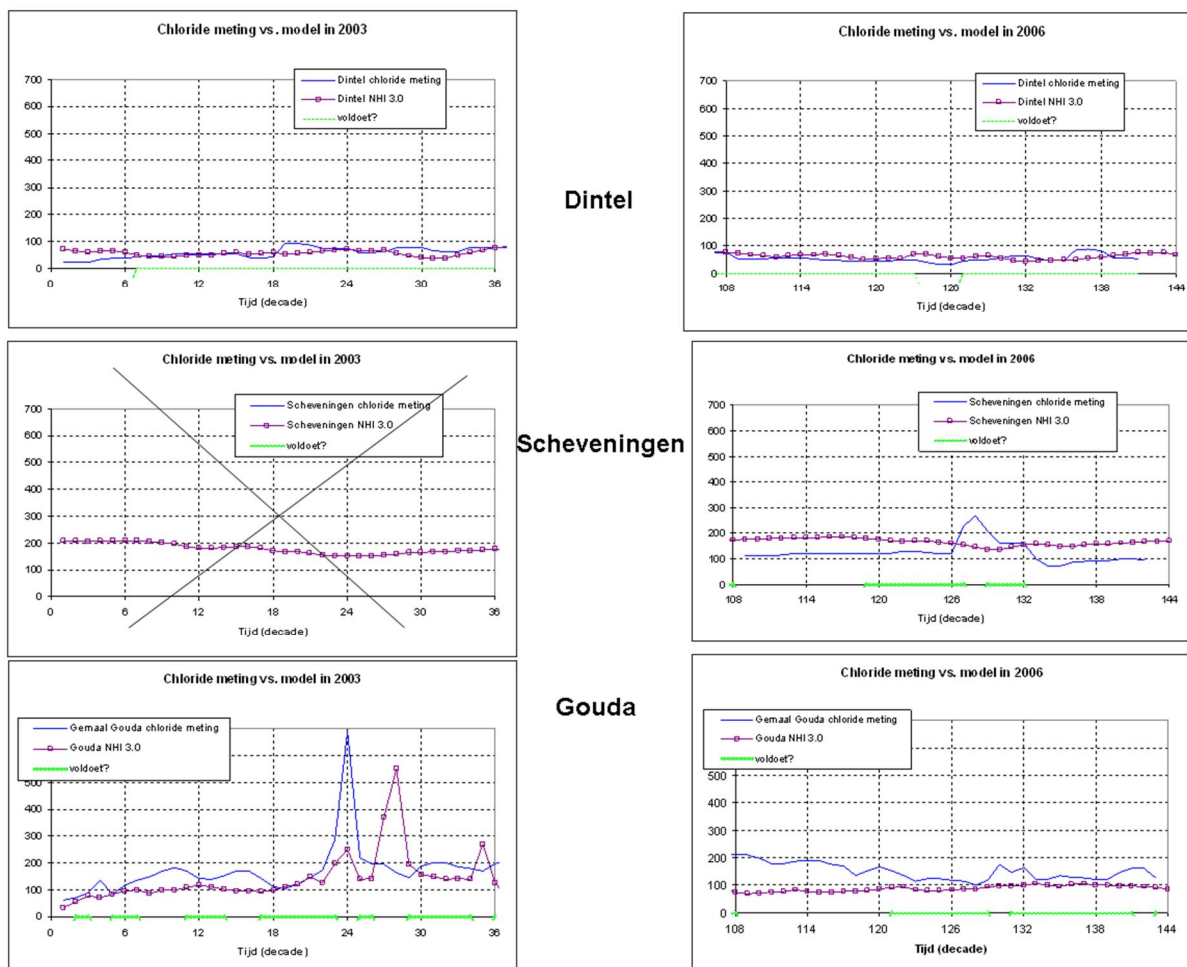


Figuur 4.14 Analyse (deel 1) of berekende chlorideconcentraties van NHI 3.0 voldoen ja (groene balk) of nee

2003

Chloride oppervlaktewater

2006



Figuur 4.15 Analyse (deel 2) of berekende chlorideconcentraties NHI 3.0 voldoen ja (groene balk) of nee

De locatie Scheveningen valt af voor 2003 bij gebrek aan metingen. Voor de overige 11 combinaties van locaties en perioden blijkt dat het model op elke locatie behalve de Mark wel een of meerdere tijdstappen meer dan 40% afwijkt van de metingen (50% bij de Dintel i.v.m. lage concentratie). Anderzijds is bij de Dintel, Boskoop (Gouwe) en bij Katwijk de afwijking van het model met de metingen voor 2003 en 2006 in 80% van de tijd minder dan 40%. Bij de Dintel en Mark gaat het om dusdanig lage concentraties dat de in Mozart opgedrukte initiële en achtergrondconcentraties dominant lijken te zijn.

4.4.4 Conclusie

De berekende chlorideconcentraties in NHI3.0 zijn globaal qua orde-grootte in overeenstemming met de metingen. Echter, NHI 3.0 voldoet niet aan het criterium dat 80% van de locaties altijd minder dan 40% afwijkt van de metingen. Kijkend naar alle locaties en naar het percentage van de tijd dat metingen en model minder dan 40% afwijken, wordt de 80% wel gehaald. Voor de belangrijke inlaat Gouda geldt dat de timing en periode van chlorideconcentraties boven de norm van 250 mg/l goed wordt bepaald (met Sobek berekeningen). Door het feit dat de Tolhuisroute niet gemodelleerd is, wijken de berekende concentraties eind augustus/september 2003 af van de gemeten concentraties.

De berekende dynamiek is voor de overige punten over het algemeen meer gedempt dan de gemeten dynamiek. Onderzocht moet worden in hoeverre dit ligt aan de opschaling in de tijd (decade) en plaats (DM tak en knoop versus het meetpunt).

Verdere toetsing en onderzoek naar verbetering van de modellering van chloride is nodig. Een belangrijk aspect is hier het beheer dat in relatie tot chloride wordt gevoerd (extra inlaten of doorspoelen bij te hoge zoutconcentraties) en hoe dat in model is gebracht. Verder is nadere analyse nodig van zowel de berekeningen (modelconcept en invoer) als de metingen van chloride in het oppervlaktewater. Een aantal van 6 lokaties in het hoofdsysteem is erg weinig op te toetsen.

De geplande koppeling met gedetailleerdere modellering van het waterverdelingsnetwerk met Sobek (in plaats van of aanvullend op DM), en de daarbij aansluitende eventuele verfijning van de Mozart districten, zal naar verwachting leiden tot verbetering van de chloride berekeningen. Eind 2012 is hiervoor een eerste versie van het landelijk Sobek model opgeleverd, de resultaten zijn dus nog niet in deze toetsing van het NHI meegenomen.

4.5 Chloride regionale wateren

4.5.1 Inleiding

NHI wordt getoetst op chloride in kleine regionale wateren. In eerdere NHI versies werd in lijn met de oorspronkelijke toetsingscriteria getoetst op concentraties. Deze toetsing (op punt locaties) heeft echter een aantal nadelen. Zo zijn punt waarden op een (model)schaal van $250 \times 250 \text{ m}^2$ vaak niet representatief omdat de zoet-brak-zout verdeling binnen deze schaal vaak een grote variatie vertoont. Er is daarom overgestapt naar een meer gebruikelijke en beter criterium, namelijk de zoutvracht. Onder andere Van der Grift en Griffioen (2008) hebben aangetoond dat de modelresultaten in een regionale studie overeenkomen (in termen van mediaan en standaard afwijking) met de geaggregeerde waarden op de schaal van homogene gebieden met vergelijkbare landgebruik, bodemtype en geohydrologische situatie, terwijl op de schaal van individuele locaties de modelresultaten en observaties variëren tot twee ordes van grootte. Met andere woorden, op regionale schaal doet het regionale model het goed, maar op individueel punt niveau niet. De regionale meetpunten bevatten immers informatie over de chlorideconcentratie van een lokaal individueel punt dat wordt beïnvloed door lokale omstandigheden. Dat komt omdat er op een individueel punt niveau factoren een rol spelen die niet meegenomen (kunnen) worden in een regionaal model. Uit zoet-zout karakterisering (o.a. Louw et al., 2010; Louw et al., 2011a; Faneca Sanchez et al., 2012) is bekend dat de zoet-zout verdeling sterk kan variëren over korte afstand van enkele meters. Dit geldt niet alleen voor het grondwater, maar ook voor oppervlaktewater. Een model als NHI dat rekent op $250 \times 250 \text{ m}^2$ resolutie zal deze variabiliteit nooit kunnen reproduceren.

Daarom wordt in deze toetsing de beoordeling van de regionale chlorideconcentratie gewijzigd van “de gemeten waarde op een punt locatie” in “de grootte van de zoutvracht van een regio ingesloten in een groep meetpunten”. Daarmee wordt direct de relatie van de zoutvracht van het hoofdsysteem en het regionale watersysteem met de zoute kwel van het grondwater beoordeeld.

De verandering van de zoutvracht in het oppervlaktewater onder veranderende (klimaat)omstandigheden treedt op in deze laatst genoemde systemen. De “ruis” die wordt veroorzaakt door de lokale omstandigheden rond het meetpunt wordt hiermee uitgesloten. Deze beoordelingswijze is daarmee meer adequaat voor het gebruik van NHI in het Deltaprogramma.

In de wereld van de modellering van de waterkwaliteit, waartoe ook chloride modellering behoort, is het tevens gebruikelijk de kwaliteit van het modelinstrument te toetsen op het niveau van geaggregeerde presenteerbare eenheden (lees: zoutvracht per poldereenheid) in plaats van op het niveau van OD observaties. De NHI toetsing voor chloride in het kleine oppervlakte water is daarom aangepast.

4.5.2 Wat wordt er getoetst?

De door NHI3.0 berekende zoutvrachten zijn vergeleken met (historische) zoutvrachten uit waterbalans studies op polderniveau gevonden in diverse publicaties.

Voor de simulatie van chlorideconcentraties is er in NHI 3.0 een verbeterslag doorgevoerd voor de interne verzilting in diepe droogmakerijen met zoute wellen (zie Hoogewoud et. al., 2012). Verder zijn de chlorideconcentraties in de onderkant van de deklaag aangepast op basis van resultaten van meer gedetailleerde regionale modellen zoals Zeeland (Van Baaren et al, 2012, concept), Zuid-Holland (Oude Essink et al., 2008), Flevoland (Oude Essink et al., 2008) en Noord-west Friesland (Faneca et al., 2012), zie Hoogewoud et. al., 2012. Zout is daarmee in NHI 3.0 op onderdelen verbeterd. In de volgende paragraaf worden de nu berekende chloridegehalten getoetst, vooral door de vergelijking van gemeten en berekende zoutvrachten naar oppervlaktewater als gevolg van (zoute) kwel in enkele diepe polders.

4.5.3 Methode en criteria

De zoutvracht van grondwater naar oppervlaktewater wordt berekend op basis van MOZART berekeningen van chlorideconcentraties en fluxen, de balanstermen. De balanstermen zijn de fluxen die via oppervlaktewater en drainage uit de onverzadigde zone stromen en in de oppervlakte water terecht komen. De resulterende zoutvrachten worden vergeleken met de zoutvrachten uit waterbalans studies. De zoutvracht berekend met de uitvoer van NHI3.0 is bepaald voor elke "local surface water" (lsw) eenheid. De zoutvracht uit waterbalans studies is per poldereenheid berekend. Daarom zijn de zoutvrachten van een aantal lsw's gesommeerd om die te vergelijken met de zoutvracht van de polders.

De zoutvrachtberekeningen van de waterbalansstudies variëren wat betreft de methode van berekening. Sommige studies bepalen de zoutvracht als gevolg van zoute kwel en andere studies gaan uit van de totale zoutvracht die uit de polder (in de buurt van het gemaal) wordt uitgeslagen, in de vorm van een gemeten zoutconcentratie vermenigvuldigd met een waterflux. Het is daarbij echter zelden duidelijk hoe de zoutvracht exact is bepaald. Tevens zitten er onzekerheden in de bepaling van de zoutvracht als gevolg van zoute kwel. Alles bij elkaar heeft dit grote invloed op het resultaat. Daarom kan de vergelijking van de NHI modelresultaten met de gemeten waarden alleen gedaan worden op basis van de orde van grootte en niet op basis van exacte getallen. Daarnaast, zijn de beschikbare zoutbalansstudies beperkt en daarom is op basis van deze toetsingsmethode geen generieke uitspraak over de zoutvrachtresultaten voor het hele model berekend door NHI mogelijk.

Op basis van deze kennis wordt een criterium voor zoutvrachten voorgesteld dat is gesplitst in 2 delen Tabel 4.9):

De eerste is dat NHI binnen een factor 3 van de metingen moet zitten, indien er maar 1 meting bekend is. Uit de beschikbare literatuur is af te leiden dat:

- de berekeningen van zoutvrachten met behulp van waterbalans studies van de verschillende auteurs een grote spreiding kennen;
- de metingen van andere jaren zijn dan waarvoor NHI berekeningen kan uitvoeren, in combinatie met de grote waarschijnlijkheid dat per jaar de zoutvrachten flink kunnen variëren (Delsman, 2012).

Met al deze onzekerheden kan worden gesteld dat een enkele “meting” in dit verband slechts een indicatie kan zijn voor de ordegrrootte van de zoutvracht. De factor 3 geeft aan dat de waarde zowel 3x zo groot als 3x zo klein kan zijn. De range waarbinnen de berekende zoutvrachten moeten liggen, wordt dan $3 \times 3 = 9$, dus ongeveer een ordegrrootte (10x).

De tweede is dat als er meer dan 2 metingen zijn, wordt een factor 1.5 gehanteerd. Dan kan met een grotere betrouwbaarheid worden benaderd wat de werkelijke zoutvracht van een stroomgebied/polder is. De factor 1,5 is afgeleid van het criterium voor chloride concentraties in hoofdwaters (paragraaf 4.4.2) en is afgerond op 0.5 eenheden. (Overigens zou NHI3.0 ook aan het 40% criterium in 80% van de gevallen voldoen.)

Tabel 4.9 criterium 2012 voor zoutvrachten

	Criterium 2012
Zoutvracht in gebied met maximaal 2 meetwaarden	Voor 80% van de gebieden is de maximale toegestane afwijking is een factor 3
Zoutvracht in gebied met meer dan 2 meetwaarden	Voor 80% van de gebieden is de maximale toegestane afwijking is een factor 1.5

4.5.4 Resultaten

De zoutvracht van grondwater naar oppervlaktewater berekend in waterbalans studies en in de laatste versies van NHI wordt in de volgende tabellen gepresenteerd. De zoutvrachten berekend in NHI3.0 zijn lager dan die berekend in NHI2.2.

Tabel 4.10 Chloride balansen uit verschillende studies voor de Haarlemmermeerpolder (bron: Berg et al (1976)) en berekende waarden door verschillende versies van het NHI model.

Haarlemmermeer-Polder	Bijl (1925-1930)	De Gruiter (1950-1954)	Couwenhoven en Toussaint (1960-1967)	Cult. Dienst N. Holland	Reg. Studie ICW nr. 9, Midden West-NL (naar Wit, 1974) (gem.jaar)	NHI 2.2	NHI 3.0
Zoutvracht als gevolg van kwel (ton/jaar)	36072	44258	47876	34250	75781	113886	34593

In de Haarlemmermeerpolder voldoet NHI3.0 in 4 van de 5 gevallen binnen de factor 1,5.

Tabel 4.11 Gemeten zoutvracht voor de polder K in de Schermer in Noord-Holland (bron: Huis in t'veld et al. (1993) en berekende waarden door verschillende versies van het NHI model.

Polder K in de Schermer	Huis in t'veld et al.	NHI2.2	NHI3.0
Datum	1-4-1990 t/m 31-3-1991	Gemiddeld	Gemiddeld
Zoutvracht (ton/j)	911	5734	1814

In de polder Schermer voldoet NHI3.0 vrijwel binnen een factor 2 en dus ruim aan het criterium voor 1 waarneming.

Tabel 4.12 (bron tabel 13 Wit et al. (1982)) Waarden in ton/j.

Belasting door	Schermer-boezem	Wieringermeer-polder	Waterland en Polder Oostzaan	Wieringen
Zoutvracht als gevolg van kwel (ton/jaar) Wit et al	44620	369127	1793	1255
Zoutvracht als gevolg van Kwel NHI2.2	317948	345040	12134	4046
Zoutvracht als gevolg van Kwel NHI3.0	116459	123032	8616	2693

In de zoute polder Schermerboezem berekent NHI3.0 een duidelijk verbeterde zoutvracht ten opzichte van NHI2.2. Daarentegen is de zoutvracht in de Wieringermeerpolder verslechterd.

Tabel 4.13 Gemeten zoutvracht voor het peilvak 9 in het Haarlemmermeer (Delsman, 2012) en berekende waarden door verschillende versies van het NHI model.

Peilvak 9 in Haarlemmermeer	Delsman	NHI2.2	NHI3.0
Zoutvracht (ton/j)	5475	69164	15850

Tabel 4.14 Gemeten zoutvracht voor de Noordplas (de Louw, 2010) en berekende waarden door verschillende versies van het NHI model.

Noordplas	De Louw, P.	NHI2.2	NHI3.0
Zoutvracht (ton/j)	11600	7194	5079

De zoutvrachten van NHI3.0 zijn significant lager dan van NHI2.2. Dit komt met name doordat het verschil in chloride concentraties onderkant deklaag significant anders is. NHI3.0 geeft resultaten die dichterbij de oudere studies liggen dan de resultaten van NHI2.2. Verder valt op dat de zoutvrachten in de hier gepresenteerde balansstudies, op de Wieringermeerpolder en de Noordplas na, altijd lager zijn dan de zoutvrachten van NHI.

4.5.5 Conclusie

NHI 3.0 voldoet - in tegenstelling to NHI2.2 - aan de hier voorgestelde criteria op basis van zoutvrachten.

Tabel 4.15 percentage meetpunten waar NHI voldoet aan het gestelde criterium

	% voldoet aan criterium
NHI 2.2	37.5%
NHI 3.0	87.5%

De afweging op basis van zoutvrachten gebeurt op de juiste schaal en parameter voor een model als NHI3.0. Er blijkt een groot gebrek te zijn aan “meetwaarden” van de zoutvrachten. Daarom wordt aanbevolen meerdere zoutvrachten te gaan bepalen op basis van zowel veldstudies als modelberekeningen. Dan pas kan het NHI instrumentarium naar behoren worden beoordeeld en gekalibreerd.

4.6 Conclusies oppervlaktewater

NHI 3.0 voldoet aan de criteria voor de belangrijkste punten (hoofd- en nevenkranen) in het hoofdwatersysteem. In vergelijking tot NHI 2.2 vertoont NHI 3.0 meestal vergelijkbare resultaten.

Voor de regionale aan- en afvoeren wordt geconcludeerd dat NHI 3.0 weliswaar aangepast is t.o.v. NHI 2.2 door o.a. kleinere districten, maar dat dit nog niet geleid heeft tot het voldoen aan de gestelde criteria voor regionale afvoeren. De regionale aanvoeren worden door NHI 3.0 beter berekend in vergelijking met de metingen dan NHI 2.2.

Tabel 4.16 Samenvatting van de toetsing aan criteria van NHI.

Indicator	Voldoet aan criterium		Opmerking
	NHI 2.2	NHI 3.0	
Oppervlaktewater debieten			
Landelijk afvoer	+	+	Hoofd- en nevenkranen rijkswateren
Regionaal aanvoer	+/-	+	Toetsing op (netto) aanvoer voor regionale aanvoergebieden. NHI3.0 is beter dan NHI 2.2
Regionaal afvoer	+/-	+/-	De plekken / periode waarvoor NHI niet aan de vooraf gestelde criteria voldoet, zijn voor DP-Zoetwater minder relevant.
Chloride concentraties			
zoutvracht regionaal/lokaal opp. water.	-	+	Toetsing op zoutvracht in plaats van concentraties meetpunten.
Concentratie in groot regionaal opp. water.	-	-	Voldoet niet aan het criterium. Voor LSM worden testberekeningen voor West-Nederland uitgevoerd.
Concentratie in grote rivieren.	-	+	

Chloride in het oppervlaktewater is sinds NHI 2.2. conceptueel verbeterd door het beter modelleren van zoute wellen. De gebruikte zoutconcentratie onderkant deklaag is in NHI 3.0 aangepast. Voor het landelijk oppervlaktewater is chloride voor een beperkt aantal locaties en

perioden (2003 en 2006) in DM onderzocht; en geconcludeerd is dat DM voldoet aan het concentratie criterium. De dynamiek in het berekende chloride is over het algemeen gedempt ten opzichte van de metingen. Voor regionaal/lokaal oppervlaktewater is getoetst op zoutvrachten in plaats van op concentraties. NHI3.0 voldoet aan de daartoe opgestelde criteria.

Het LSM1.0 is in 2012 beschikbaar gekomen. Daarmee kunnen ook voor andere gebieden dan de Rijn-Maas monding chlorideconcentraties worden berekend. De chloride berekeningen in LSM moeten nog nader onderzocht worden voor gebieden buiten de Rijn-Maas monding; de testen voor West-Nederland zijn gestart. Ook moet het LSM chloride model nog versneld worden.

5 Conclusies & Aanbevelingen

5.1 Conclusies

Aan het begin van dit document zijn de hoofdconclusies beschreven in de management-samenvatting. De andere, meer gedetailleerde conclusies zijn voor de verschillende onderdelen in de tekst gegeven. Daarom worden de conclusies hier niet herhaald.

5.2 Aanbevelingen

De voorliggende rapportage geeft een goede indruk van de prestaties van NHI. Er is echter nog ruimte voor verbetering. In dit hoofdstuk zijn daarom op hoofdlijnen aanbevelingen gedaan.

- Grotere en/of beter geselecteerde meetsets. Om NHI goed te toetsen zijn op meer locaties, betere en langdurigere meetsets nodig, vooral voor:
 - verdamping
 - debieten
 - waterbalansen
 - chlorideconcentraties
 - zoutvrachten
 - freatische grondwaterstanden en stijghoogtes.
 - berekening.
- Het breder uitvoeren van toetsing op basis van de waterbalans. Het is gebleken dat toetsing van de waterbalans (in de tijd) van een polder of stroomgebied een effectieve manier is om NHI integraal te toetsen. Deze vorm van toetsen zal verder uitgebreid moeten worden met tools en metingen.
- De toetsingscriteria voor grondwater dienen beter onderbouwd worden. Daarbij moet rekening worden gehouden met onnauwkeurigheid door de opschaling van data en de onzekerheid in de invoer, bijvoorbeeld van de gegeven peilen ten opzichte van de werkelijk optredende situatie tijdens droogte.
- De wijze van toetsing en de daarmee samenhangende rapportage kan methodisch en inhoudelijk verder worden uitgebreid en gestandaardiseerd. Dit betreft onder andere verdere automatisering van het maken van waterbalansen en het uitbreiden van de automatisch te genereren rapporten met meer locaties.

6 Literatuur

Berg, C., van den, P. E. Rijteman, et al. (1976). Hydrology and water quality of the Central part of the Western Netherlands, (in Dutch), ICW Regional Studies 9. Wageningen, Institute for Land and Water Management Research (ICW): 101.

Delsman, J.R., G.H.P. Oude Essink & P.J. Stuyfzand, 2012. Salt load to an agricultural catchment: "seepage flux times concentration", or is there more to it than that? - Insights from a multi-scale tracer study. Proceedings of the 22nd SWIM Conference, Buzios, Brazil

Elbers, J.A., E.J. Moors en C.M.J. Jacobs (2009) Gemeten actuele verdamping voor twaalf locaties in Nederland, Alterra-rapport 1920, Alterra Wageningen UR, Wageningen.

Grift, B. van der, Griffioen, J. 2008, Modelling assessment of regional groundwater contamination due to historic smelter emissions of heavy metals, Journal of Contaminant Hydrology 96, 48–68.

Hoogewoud, J.C., A.A. Veldhuizen, G.F. Prinsen en M.J.M. Kuijper (2011) NHI 2.1, Veranderingen in NHI, Deltares-rapport 1203516-000-BGS-0013, Utrecht.

Hoogewoud, J.C., A.A. Veldhuizen, G.F. Prinsen en M.J.M. Kuijper (2011), Veranderingen in NHI 2.2, Deltares, Utrecht.

Hoogewoud, J.C., A.A. Veldhuizen, G.F. Prinsen, J.C. Hunink en R. Vernimmen. (2011) NHI 2.2, beschrijving van de veranderingen t.o.v. NHI 2.1, Deltares rapport 1204179-000-BGS-0003 Utrecht.

Hoogewoud, J.C., A.A. Veldhuizen, G.F. Prinsen en J.C. Hunink (2011), NHI 2.2 toetsing, Deltares rapport 1204179-002-BGS-0001, Utrecht.

Hoogewoud, J.C., A.A. Veldhuizen, G.F. Prinsen, J.C. Hunink. (2013), Veranderingsrapportage NHI 3.0, Deltares rapport 1206107-xxx-BGS-xxxx, Utrecht. (in prep)

Louw, P.G.B., de, Oude Essink, G.H.P., Stuyfzand, P.J., Zee, van der, S.E.A.T.M., 2010, Upward groundwater flow in boils as the dominant mechanism of salinization in deep polders, The Netherlands, J. Hydrol. 394, 494-506.

Louw, P.G.B., de, van der Velde, Y. en van der Zee, S.E.A.T.M. 2011a. Quantifying water and salt fluxes in a lowland polder catchment dominated by boil seepage: a probabilistic end-member mixing approach, Hydrol. Earth Syst. Sci., 15, 2101-2117

Louw, P.G.B., de, Eeman, S., Siemon, B., Voortman, B.R., Gunnink, J., van Baaren, E.S., and Oude Essink, G.H.P., 2011b, Shallow rainwater lenses in deltaic areas with saline seepage, Hydrol. Earth Syst. Sci., 15, 3659-3678

Massop, H.Th.L., P.J.T. van Bakel, T. Kroon, J.G. Kroes, A. Tiktak en W. Werkman (2005) Op zoek naar de "ware" neerslag en verdamping. Toetsing van de met het STONE 2.1-instrumentarium berekende verdamping aan literatuurgegevens en aan regionale waterbalansen, en de gevoeligheid van het neerslagoverschot op de uitspoeling van nutriënten, Alterra-rapport 1158, Reeks Milieu en Landelijk gebied 28.

Marchand, M. en W.J. de Lange (2013), Toepasbaarheid van NHI 3.0 voor het Deltaprogramma Zoetwater, Deltares rapport 1207757-XXX-BGS-000 (in prep)

NHI (2010) Vergelijking NHI 2.0 PAWN-STONE, ondersteunend document ten behoeve van NHI v2.0, Deltares-memo, 2 juli 2010.

Ogink, H., (2010) Validatie NHI voor waterschap (diverse rapporten), STOWA.

Prinsen, G.F., (2012), Achtergrond LSM 1.0, Deltares rapport 1205954-003-ZWS-0016, Delft

Waterwatch (referentie naar documentatie over satellietbeelden)
<http://www.waterwatch.nl/tools0/sebal.html>.

A Analyse van modeleigen ruis in grondwater

In deze bijlage worden een aantal gevraagde toelichtingen m.b.t. NHI3.0 en grondwater gegeven. In hoofdstuk 2 wordt onderbouwd welke ruis er mag worden verwacht van een 250 meter grondwatermodel als NHI en welke gevolgen dat heeft voor criteria aan GXG die gesteld worden aan het NHI.

In hoofdstuk 3 wordt beschreven of NHI de verhouding aan natte en droge gronden goed beschrijft. Hiervoor wordt een vergelijk met de LSK meetset gebruikt. In het laatste hoofdstuk worden aan aantal tijd stijghoogte grafieken weergegeven met data van NHI en metingen om bij de lezer enig gevoel te creëren hoe de prestaties van het NHI in de tijd zijn.

A.1 Ruis in berekende grondwaterstanden als gevolg van schaal

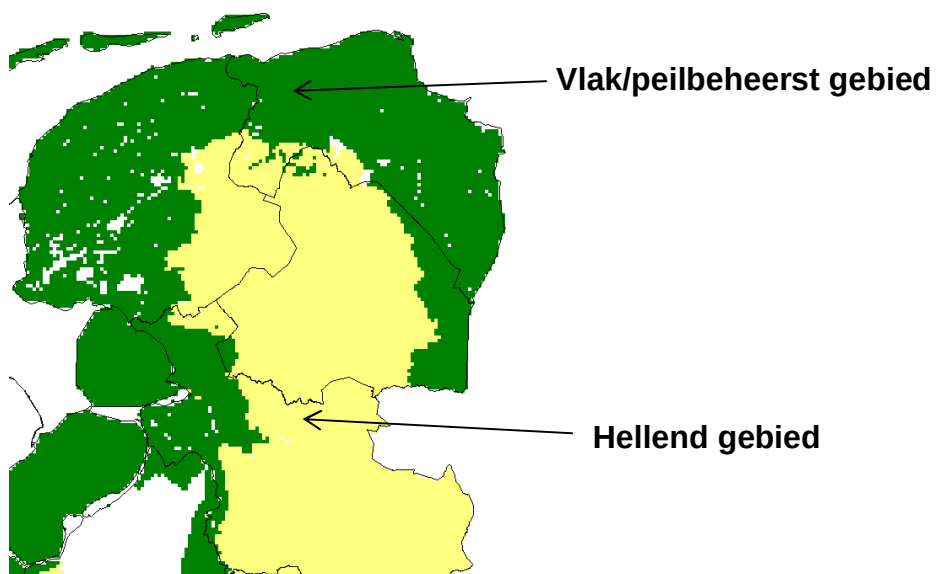
In NHI wordt 1 grondwaterstand berekend voor een 250 meter grid cel met representatief veronderstelde eigenschappen. In werkelijkheid komen binnen deze gridcel verschillende grondwaterstanden voor en ook te verwachten dynamiek kent variatie. In dit hoofdstuk wordt beschreven welke “ruis” er te verwachten is als gevolg van het schematiseren in rekeneenheden op verschillende schalen voor één zelfde modelcode.

Voor deze analyse is géén gebruik gemaakt van het NHI of resultaten van het NHI, deze analyse is complementair en puur gericht op de analyse van de grootte en oorzaken van het ontstaan van ruis als gevolg van de grootte van de rekeneenheden. Van het regionale model MIPWA zijn verschillende rekenschalen en uitkomsten direct beschikbaar, van NHI niet. Deze uitkomsten zijn daarom gebruikt om relatief snel resultaten te kunnen produceren.

A.2 Een 25 m. model vs een 250 m. model

A.2.1 Inleiding

Voor dit vergelijk is een uitkomst van een bestaand regionaal 25x25 meter model (MIPWA) opgeschaald naar 250x250 meter. Vervolgens zijn de verschillen tussen de opgeschaalde uitkomsten en het originele grid vergeleken. Dit vergelijk is uitgevoerd voor GHG, GLG en dynamiek (GHG-GLG). Deze actie is uitgevoerd voor berekende stijghoogten ten opzichte van NAP en grondwaterstanden ten opzichte van mv. Daarvoor is verschil gemaakt tussen peilbeheerste gebieden en hellende gebieden. Een onderscheid dat ook in de toetsing van NHI wordt gemaakt.



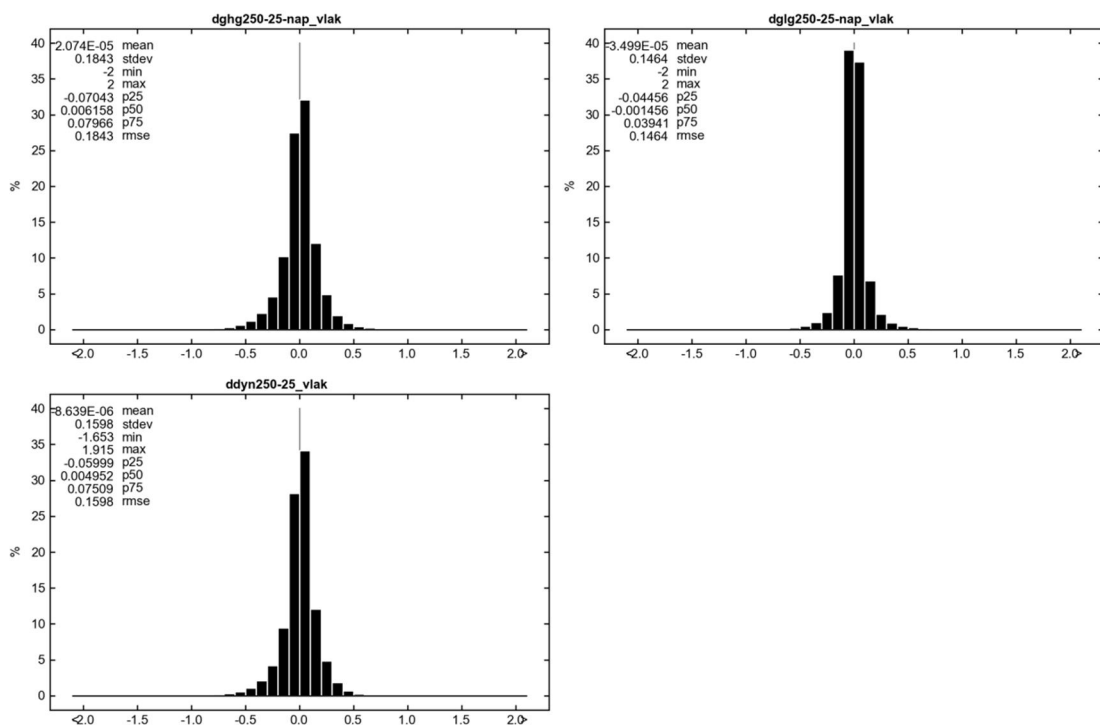
Figuur 6.1 schematisering vlak en hellend gebied zoals gebruikt in de NHI toetsing

A.2.2 Potentialen opschaling ten opzichte van NAP

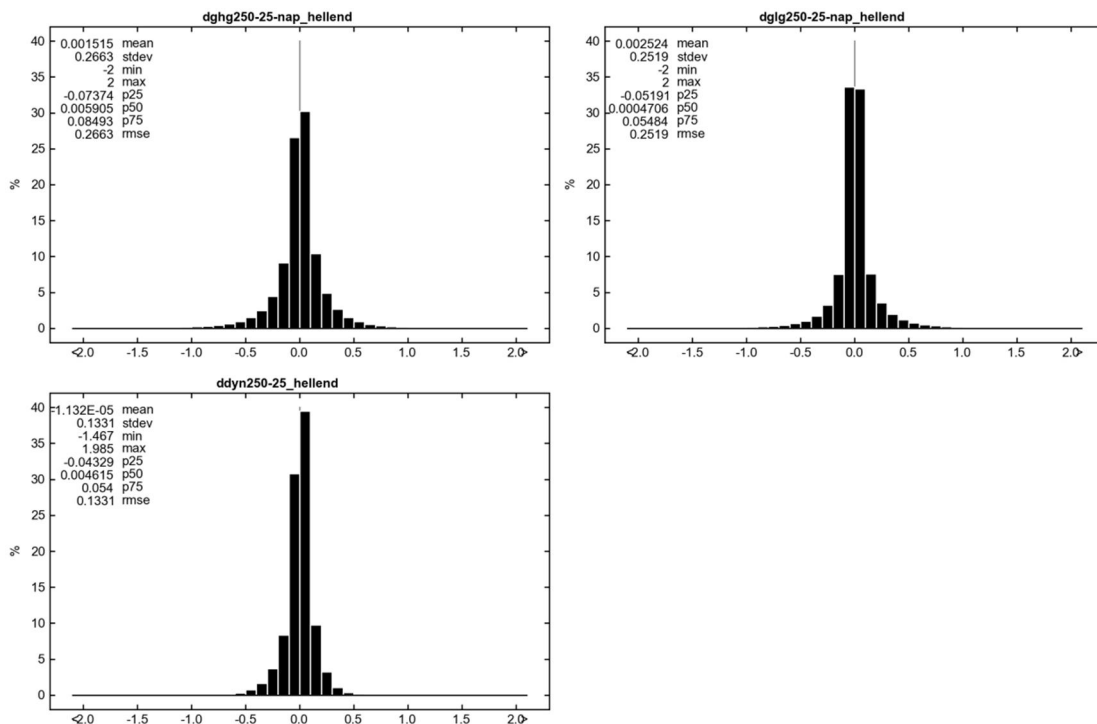
In de onderstaande figuren is gebruik gemaakt van een berekende GXG t.o.v. NAP op 25m niveau. Deze GXG zijn opgeschaald naar 250 meter door lineair te middelen. Vervolgens zijn de verschillen tussen de GXG op 250 meter en op 25 meter bepaald. De histogrammen van deze verschillen zijn in onderstaande figuren weergegeven. Statistieken zoals de standaarddeviatie worden sterk beïnvloed door uitschieters, deze komen incidenteel voor door artefacten. De statistieken in de figuren zijn daarom bepaald voor de residuen tussen de -2 en 2 meter.

Uit de figuren en statistiek is te zien dat:

- In vlakke gebieden zijn de residuen vaak kleiner dan in hellende gebieden.
- De residuen in GHG situatie zijn bijna vergelijkbaar aan die in GLG situaties.
- Verschillen in dynamiek residuen tussen vlak en hellend gebied zijn gering.
- De standaarddeviatie die ontstaat door opschaling ligt in orde grootte van 15 - 25 cm.
- Vertaald naar een 'criterium' is in vlakke gebieden is 80% van de residuen kleiner dan 20 cm.
- Vertaald naar een 'criterium' is in hellende gebieden is 80% van de residuen kleiner dan 25 cm.



Figuur 6.2 Histogrammen residuen GXG t.o.v. NAP (naar 250m geschaalde 25m uitkomsten vergeleken met de 25 meter uitkomsten) voor vlakke gebieden. Linksboven GHG, rechtsboven GLG, onder dynamiek.

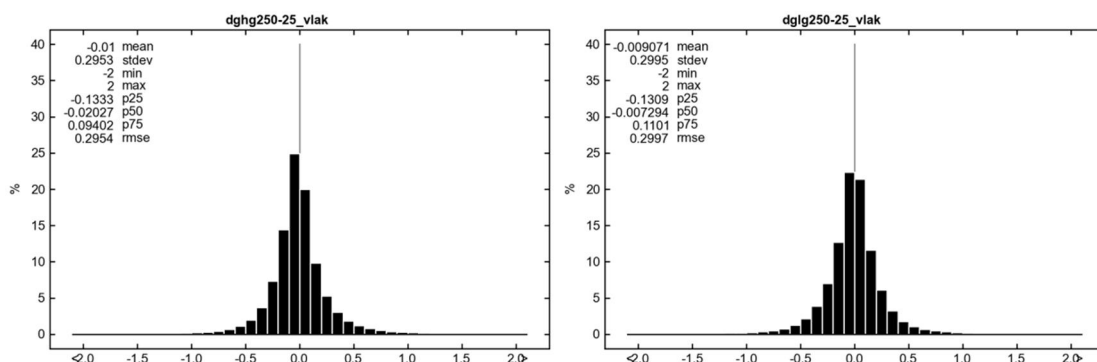


Figuur 6.3 Histogrammen residuen GXG t.o.v. NAP (naar 250m geschaalde 25m uitkomsten vergeleken met de 25 meter uitkomsten) voor hellende gebieden. Linksboven GHG, rechtsboven GLG, onder dynamiek.

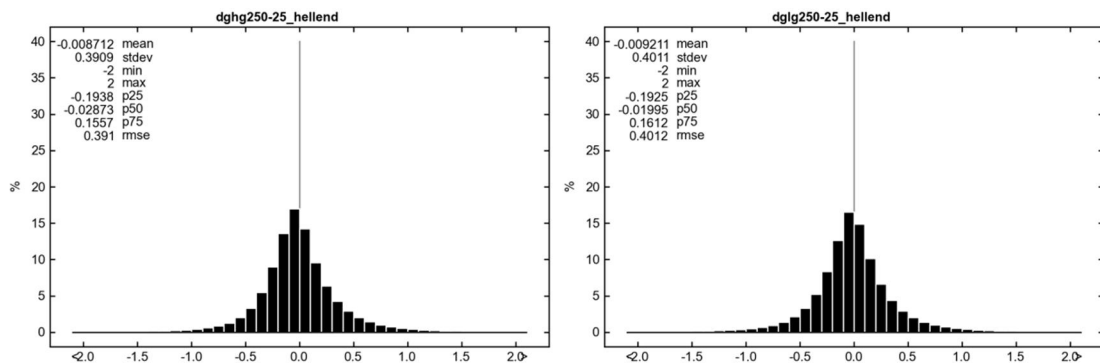
A.2.3 GXG (ten opzichte naar maaiveld)

In de onderstaande figuren is gebruik gemaakt van een berekende GXG t.o.v. maaiveld op 25m niveau. Deze GXG zijn opgeschaald naar 250 meter door lineair te middelen. Vervolgens zijn de verschillen tussen de GXG op 250 meter en op 25 meter bepaald. De histogrammen van deze verschillen zijn in onderstaande figuren weergegeven. Statistieken zoals de standaarddeviatie worden sterk beïnvloed door uitschieters. De statistieken in de figuren zijn daarom bepaald voor de residuen tussen de -2 en 2 meter. A priori mag worden verwacht dat de standaarddeviatie groter zal zijn dan zoals bepaald voor de potentialen, omdat nu de variatie in potentialen gecombineerd wordt met de variatie in maaiveld.

Voor dynamiek (GHG –GLG) geeft dit dezelfde resultaten als gepresenteerd in de vorige paragraaf. Deze is hier daarom niet nogmaals uitgewerkt.



Figuur 6.4 Histogrammen residuen GXG (naar 250m geschaalde 25m uitkomsten vergeleken met de 25 meter uitkomsten) voor vlakke gebieden. Links GHG, rechts GLG.

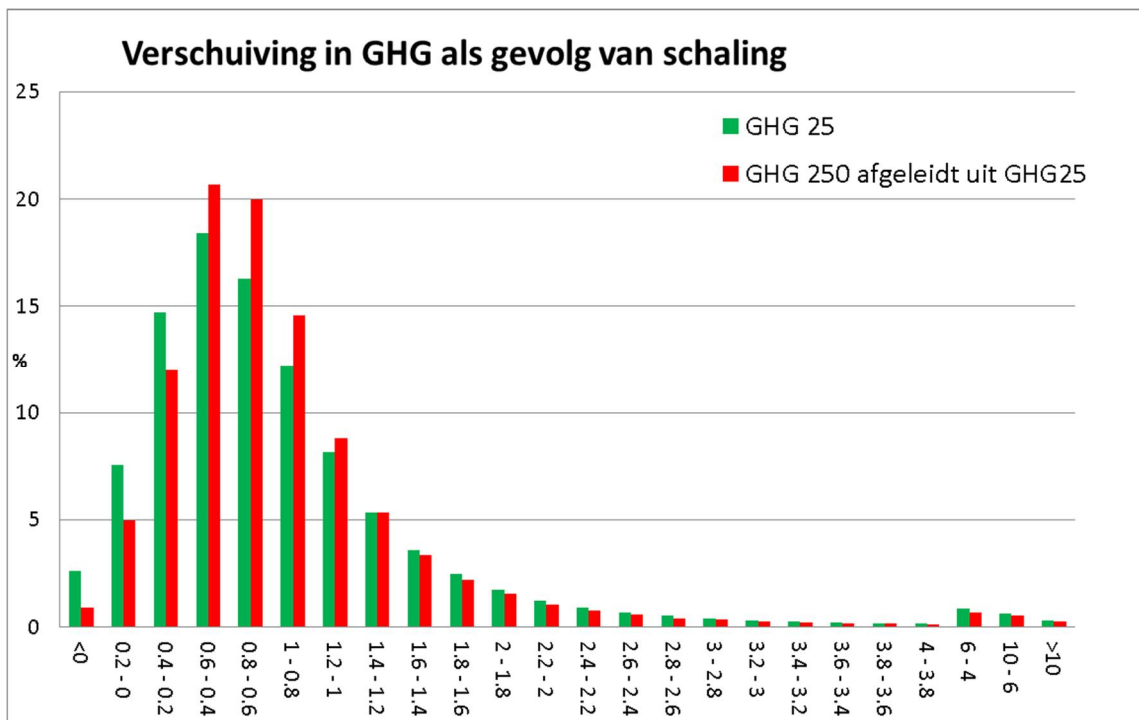


Figuur 6.5 Histogrammen residuen GXG (naar 250m geschaalde 25m uitkomsten vergeleken met de 25 meter uitkomsten) voor hellende gebieden. Links GHG, rechts GLG.

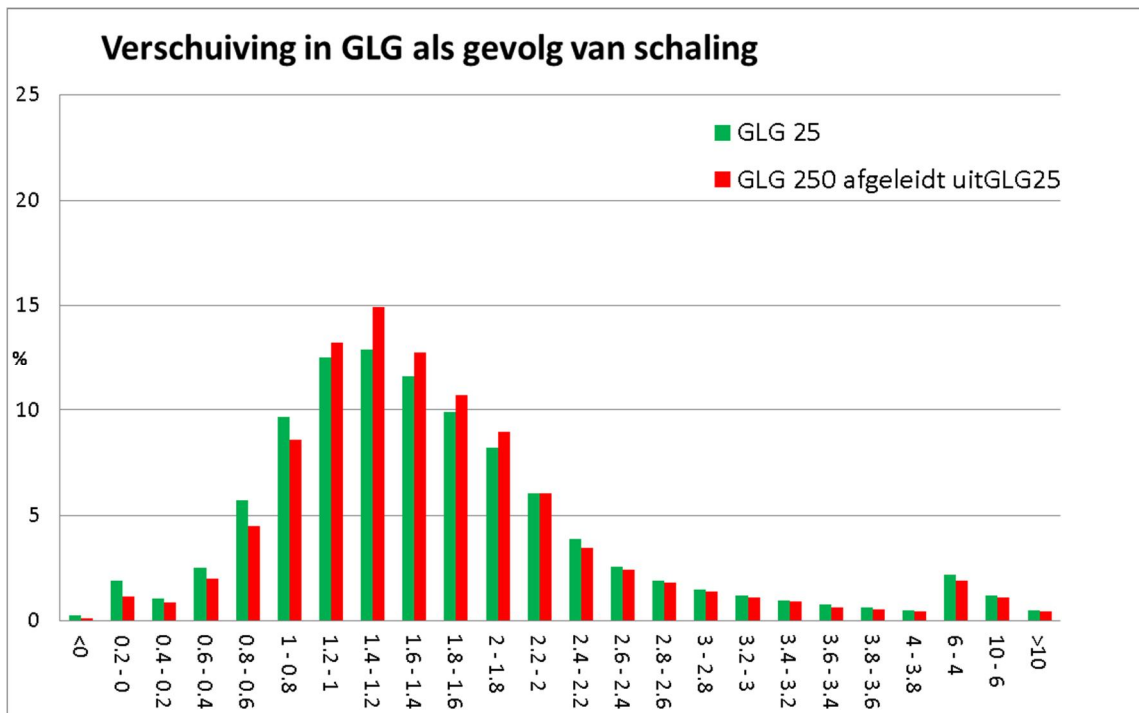
Uit bovenstaande figuren is af te leiden dat:

- De verschillen in residuen tussen GHG en GLG verwaarloosbaar zijn.
- De standaarddeviatie (ruis) toeneemt met c.a. 15cm door residuen te bepalen ten opzichte van maaiveld i.p.v. NAP.
- De verschillen tussen vlak en hellend gebied blijven bestaand.
- De te verwachten standaarddeviatie ligt tussen 30-40 cm.
- Vertaald naar een 'criterium' is in vlakke gebieden 80% van de residuen kleiner dan c.a. 35 cm.
- Vertaald naar een 'criterium' in hellende gebieden 80% van de residuen kleiner dan c.a. 45 cm.

Ook is onderzocht hoe de frequentie verdeling van de GXG verandert als gevolg van schaling. Hiervoor is gekeken naar de frequentie verdeling van een GXG op 25 een meter grid van MIPWA en de GXG op een 250 meter grid. Hierbij is de GXG op 250 meter afgeleid uit het 25 meter grid door lineaire middeling. In onderstaande grafieken is het resultaat weergegeven. Het is te zien dat het areaal natte gronden afneemt in de naar 250 meter geschaalde GXG. Voor de GHG is dit effect sterker dan voor de GLG. Dit is ook te verwachten omdat de verschillen binnen een 250 meter gridcel in een GHG situatie groter. Voor de GHG wordt het areaal met een grondwaterstand op minder dan 40cm –mv ongeveer met 25% onderschat in een 250m grid. Het areaal met een grondwaterstand tussen 40 en 100 cm wordt juist overschat met ongeveer 15% in het 250m grid. Voor de GLG wordt het areaal natte gronden tot 100 cm – mv met ongeveer 10% onderschat. Het areaal droge gronden (100 – 200 cm –mv) wordt overschat met ongeveer 10%.



Figuur A.1 Histogram van de GHG voor MIPWA voor een 25m grid en een daaruit afgeleid 250 meter grid.



Figuur A.2 Histogram van de GLG voor MIPWA voor een 25m grid en een daaruit afgeleid 250 meter grid
Discussie

In deze paragraaf is een vergelijking gemaakt voor de schalen in van 25m gridcellen naar 250 meter gridcellen. In werkelijkheid zal ook binnen een 25 meter gridcel variatie van grondwaterstand en maaiveld aanwezig zijn. Hoe groot deze variatie zal zijn is hier niet aangegeven. Vooral bij kleinere slootafstanden en relatief veel maaiveldvariatie kan de ruis

als gevolg van de schematisering in rekeneenheden voor modellen van 250x250 m hierdoor groter zijn dan in deze exercitie berekend.

De berekende bandbreedtes en de bijbehorende standaarddeviaties geven een indruk (want een onderschatting) van de onzekerheid waar rekening mee moet worden gehouden bij vergelijken met een gemeten potentiaal of grondwaterstand binnen een rekencel van dergelijke afmetingen.

A.2.4 Conclusie

Als het geschaalde model ideaal zou zijn (d.w.z. op alle tijdstippen precies de gemiddelde grondwaterstand produceert) moet voor GHG en GLG (t.o.v. maaiveld) rekening worden gehouden met een residu met een standaarddeviatie van minimaal 30 - 40 cm. . Omdat de variatie in maaiveldhoogten binnen een rekeneenheid de potentialen niet beïnvloed is de standaardvariatie voor de residuen van de stijghoogten kleiner namelijk 15-25 cm.

A.3 Onzekerheid in niet te kalibreren invoer data

Er zijn invoergegevens die niet te kalibreren zijn, maar die wel van direct belang zijn op de freatische grondwaterstand. In een aantal van deze parameters zit onzekerheid die direct door vertaald naar een berekende grondwaterstand. Het gaat dan met name om het drainageniveau van ontwateringsmiddelen, de ligging van buisdrainage.

A.3.1 Variatie in ontwatering (peilen)

Oppervlaktewaterpeilen sturen de freatische grondwaterstand. Een verkeerd peil in je model betekend in dicht gedraineerde gebieden bijna automatisch dat de grondwaterstand niet goed grondwaterstandniveau te berekenen. In het algemeen kan gesteld worden dat we het gemiddelde peil in sloten en beken niet op de cm nauwkeurig weten.

Dit geldt zeker voor de detail ontwatering als tertiaire greppels en de ligging van buisdrainage. Hoe nauwkeurig het geschematiseerde peil in NHI is, is onbekend. Ervaringen uit ander projecten leert dat we peilen in vrij afwaterende gebieden vaak met een nauwkeurigheid van ca. 20 cm kennen. In peilbeheerste gebieden (met een polderpeil) is deze nauwkeurigheid groter, ongeveer 5cm. Ook in de tijd verandert het peil, deze verandering is slechts beperkt in het NHI gebracht maar heeft in dicht draineerde gebieden wel direct invloed op de grondwaterstand.

A.3.2 Buisdrainage (diepte en ligging)

Ook buisdrainage is direct van invloed op je te berekenen grondwaterstand. De ligging van buisdrainage is geschat aan de hand van beschikbare gegevens. Deze gegevens zijn echter veelal niet hard.

A.3.3 Doorlatendheid en berging van de bodem

De doorlatendheid en berging van de bodem bepalen in belangrijke mate de dynamiek. Deze parameters zijn moeilijk te meten maar kunnen worden gekalibreerd. De ruis die samenhangt met deze parameters is niet bekend.

A.3.4 Conclusie

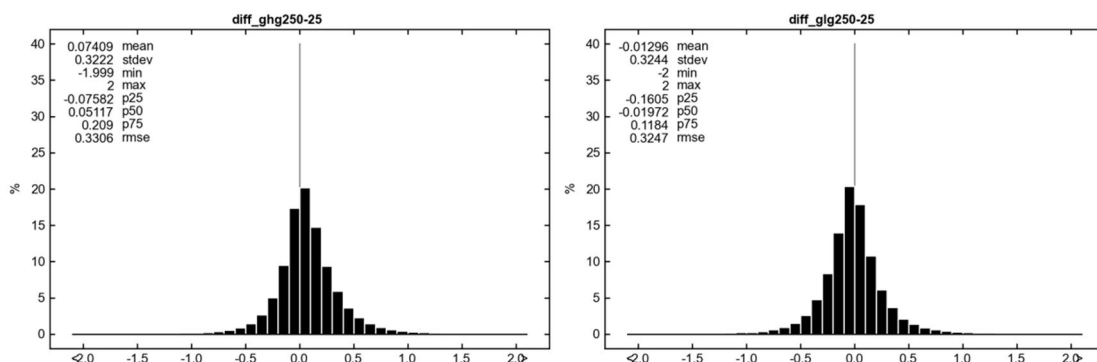
De onzekerheden in de modelinvoer werkt door in de modelresultaten. De orde grootte van de ruis die hiermee ontstaat is onbekend. Het drainage niveau dat direct sturend is voor je grondwaterstanden, heeft een beperkte nauwkeurigheid. De nauwkeurigheid van de peilen in het NHI wordt geschat op gemiddeld goed met een standaarddeviatie van 20 cm.

A.4 Modelruis door grove schematisatie

A.4.1 Analyse

Een modflow model heeft als uitgangspunt om de werkelijkheid zo goed mogelijk weer te geven. Bij de schematisatie van grotere rekeneenheden (kleinere kaartschalen) gaat onherroepelijk informatie (en nauwkeurigheid) verloren. Een model zal op cel niveau nooit het gemiddelde van de werkelijkheid wat betreft grondwaterstand en fluxen kunnen reproduceren. Drainage relaties worden vereenvoudigd, een plot krijgt wel of geen buisdrainage, wordt wel of geen open water etc. Een model met kleinere rekeneenheden zal andere uitkomsten genereren dan een model met grotere rekeneenheden. De waterbalansen moeten voor beide modellen vergelijkbaar zijn, de berekende toestand van het systeem kan door het noodgedwongen gebruik van representatieve eigenschappen en een veronderstelde representatieve combinatie van eigenschappen verschillen in berekende grond- en oppervlaktewaterstanden.

Ter illustratie is hier voor MIPWA aangegeven welke ruis ontstaat door op 250 meter te modelleren i.p.v. op 25 meter. De GXG van het 25 (niet stationaire) meter model zijn opgeschaald naar 250 meter en vergeleken met de GXG van het (niet stationaire) 250 meter model. In onderstaande grafieken zijn de histogrammen van de residuen weergegeven. Beide modellen hebben gebruik gemaakt van exact dezelfde invoergegevens (drainage, C, kD etc.) op 25 meter niveau.



Figuur 6.6 Histogrammen residuen GXG (vergelijk van een 25m model, opgeschaald naar 250m uitkomsten met een 250 meter model) Links GHG, rechts GLG.

De standaarddeviatie bedraagt c.a. 30cm. In NHI wordt anders geschaald dan in MIPWA. Dit kan er voor zorgen dat bij een opschaling volgens NHI de standaarddeviatie iets geringer is. Verder wordt opgemerkt dat ook in een 25 meter cel heterogeniteiten aanwezig zijn, en een 25 metermodel ook een geschaald model is.

A.4.2 Conclusie

Het is duidelijk dat een fijnschalig model andere grondwaterstanden berekend dan een grofschalig model. Ook als, zoals beschreven in deze paragraaf, de fijnschalig berekende grondwaterstanden achteraf opgeschaald worden naar grovere rekeneenheden en daarna vergeleken worden. De hoeveelheid ruis die hiermee ontstaat (in MIPWA) heeft een standaard deviatie van ca. 30cm. Ook kan er een (klein) verschil optreden in de gemiddeld berekende grondwaterstand. NHI heeft deels andere schalingstechnieken dan MIPWA, de ruis die in NHI ontstaat in de grondwaterstand als gevolg van het grove rekengrid zal iets afwijken van dat in MIPWA.

A.5 Ruis in de metingen GHG en GLG

Een meting is vaak niet perfect. Dat wil zeggen dat er allerlei onnauwkeurigheden in voorkomen. Inmeten van een peilbuis t.o.v. NAP heeft een bepaalde onnauwkeurigheid en voor de metingen zelf geldt dit ook. Ook de exacte plaatsing van een filter is van belang om te weten of er wel echt een freatische grondwaterstand wordt gemeten. Voor een GHG en GLG moet eigenlijk een 30 jarige reeks worden gebruikt, deze reeksen zijn zeldzaam. Maar ook een aaneengesloten periode van 8 meetjaren is al lastig. Om een lang verhaal kort te maken, ook in de GHG en GLG meting is ruis aanwezig.

A.6 Discussie en Conclusie

In dit hoofdstuk wordt onderbouwd dat er verschillende bronnen van ruis zijn die ontstaan bij de modellering van grondwaterstanden. De verschillende bronnen zijn:

- Modelresolutie versus werkelijkheid.
- A priori onzekerheid in niet te kalibreren modelparameters.
- Resolutie van de schematisatie.

Hoe grover de schematisatie, modelresolutie en onzekerheid in invoerparameters, hoe meer ruis er ontstaat los van eventuele 'echte' modelfouten. Verschillende bronnen van ruis (uitgedrukt als standaarddeviatie) mogen, mits onafhankelijk en normaal verdeeld, bij elkaar "opgeteld" worden met de volgende vergelijking:

Totale ruis = $\sqrt{\text{ruis}_1^2 + \text{ruis}_2^2 + \dots + \text{ruis}_n^2}$ (mondelinge mededeling Mark Bierkens)

Wordt dit gedaan met behulp van de schattingen uit dit stuk dan is de ruis (standaarddeviatie) in een 250 meter model in stijghoogte 40 - 50 cm en gerekend in grondwaterstand ten opzichte van maaiveld zo'n 50 - 60 cm. Dit is de ruis die ontstaat als gevolg van opschaling en onzekerheid in niet te kalibreren invoer, dus nog zonder dat er een modelfout is gemaakt. Deze informatie zou idealiter moeten worden meegenomen bij het afleiden van toetsingscriteria. Hieronder zijn de gestelde criteria aan GXG (van RWS-STOWA) vergeleken met de totale hoeveelheid te verwachten ruis. Hiervoor zijn de RWS-STOWA criteria vertaald naar een standaarddeviatie. Wat duidelijk wordt is dat er een discrepantie is tussen de a priori te verwachten ruis c.q. standaarddeviatie en de criteria (de gewenste nauwkeurigheid) van RWS-STOWA. Met andere woorden, een grondwatermodel als het huidige NHI zal niet kunnen gaan voldoen aan dit deel van de gestelde criteria.

Tabel 6.1 Criteria aan grondwater opgesteld door RWS-STOWA aangevuld met vertaling naar statistische grootheden en te verwachten ruis.

Indicator	Domein	Criterium 2012 (aanvullende eisen)	St. deviatie schalingsruis vertaald naar 80% criterium	St. deviatie als gevolg van schaling en onzekere invoer
GHG's per district	grondwater	In 80% areaal : max 20 en 35 cm in resp. peilbeheerst en vrij afwaterend. in sterk hellend gebied grotere afwijkingen (50 cm). Dynamiek 25% afwijking	Vlak 55 cm. Hellend 70 cm. Dynamiek ca. 25 cm	Vlak 45 cm. Hellend 60 cm. Dynamiek ca. 20 cm
GLG's per district	grondwater	In 80% areaal : max 30 en 50 cm in resp. peilbeheerst en vrij afwaterend, in sterk hellend tot 100 cm. Dynamiek 25% afwijking	Vlak 55 cm. Hellend 70 cm. Dynamiek 25 cm	Vlak 45 cm. Hellend 60 cm. Dynamiek ca. 20?cm

B Frequentie verdelingen van gemodelleerde en gemeten grondwaterstanden

B.1 Inleiding

Knotters (2013 in prep) heeft in opdracht van STOWA een onafhankelijke validatie uitgevoerd met behulp van de niet vrij beschikbare LSK meetset die uitsluitend is bedoeld validatie. In dit hoofdstuk is de vergelijking gebruikt om te onderbouwen of NHI de te verwachten range/frequenties van grondwaterstanden in Nederland goed berekend. Met andere woorden, berekent NHI voldoende natte en droge gronden.

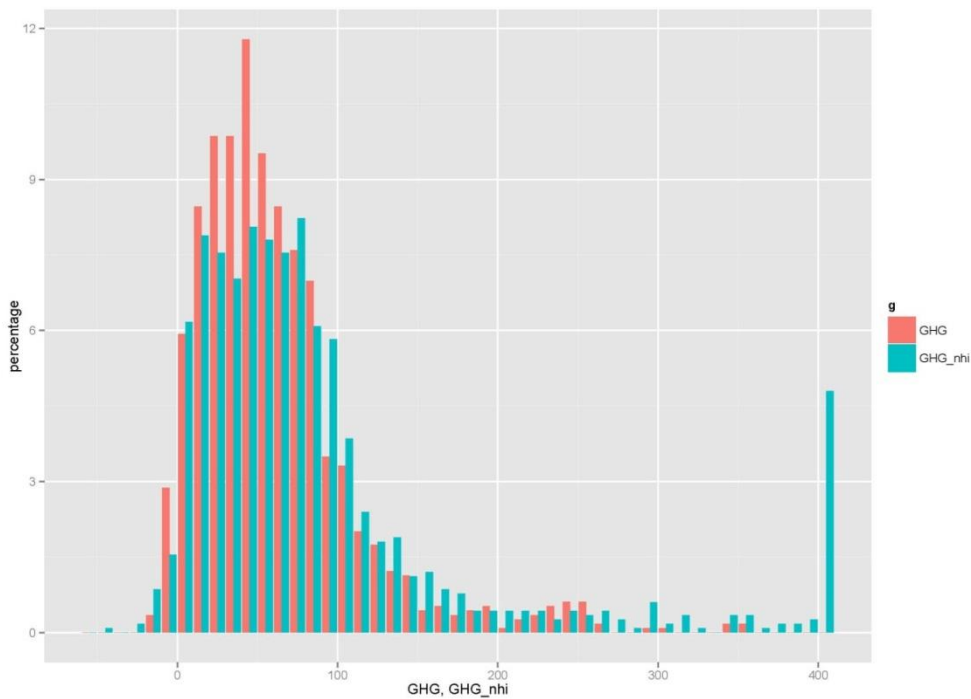
B.2 Apriori verschillen tussen LSK en NHI

In de LSK meetset zijn freatische grondwaterstanden gemeten dat wil zeggen dat het bovenste grondwater is gemeten en dat schijngrondwaterspiegels zijn meegenomen. De LSK bevat geen grondwaterstanden dieper dan 4 meter beneden maaiveld omdat de waarnemingen via handboringen zijn verzameld. Door regressie analyse zijn gemeten grondwaterstanden omgerekende naar GHG en GLG. Er is daarmee vanzelfsprekend sprake van onzekerheid in de 'gemeten' GHG en GLG.

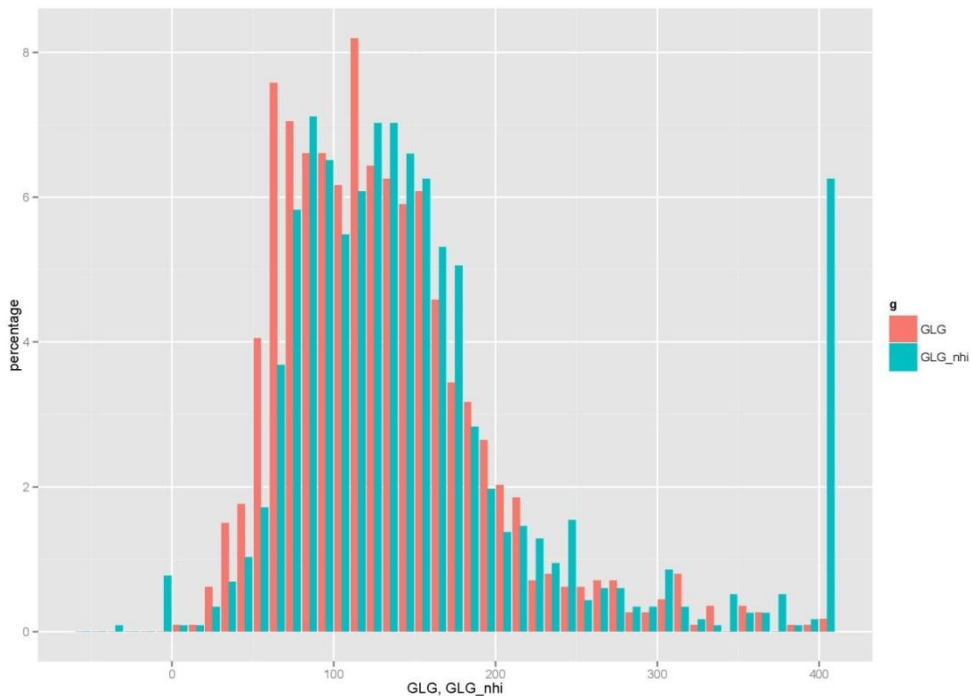
In het NHI wordt de schijngrondwaterspiegel niet mee genomen, het NHI berekend de stijghoogten in het freatische pakket. De verschillen tussen LSK en NHI op plekken waar schijnspiegels voorkomen zullen voor de GHG's groter zijn dan voor de GLG's die meer door het regionale grondwatersysteem worden bepaald. Het NHI kan grondwaterstanden dieper dan 4 meter berekenen tegenover de beperking tot die diepte in de LSK waarnemingen. Dit maakt dat er bij het vergelijken van LSK – NHI ook uitschieters mogelijk zijn.

B.3 Analyse statistieken

De LSK meetset is als onafhankelijke validatie gebruikt om te verkennen of NHI de spreiding in grondwaterstanden landelijk gezien goed weergeeft. Er is een frequentie verdeling gemaakt van de gemeten en berekende GHG en GLG op de locaties van de LSK-punten. De resultaten staan in onderstaande grafieken.



Figuur B.1 Histogrammen van GHG's uit de LSK en het NHI. De klassebreedte is 10 cm. Waarden groter dan 400 cm zijn samengevat in één klasse.



Figuur 6.7 Histogrammen van GLG's uit de LSK en het NHI. De klassebreedte is 10 cm. Waarden groter dan 400 cm zijn samengevoegd in één klasse

Allereerst wordt geconstateerd dat de frequentieverdelingen van LSK en NHI veel overeenkomsten hebben.

- De piek groter dan 4 meter in de NHI verdelingen is veroorzaakt door de gekozen frequentieverdeling die op LSK aansluit en waarin alleen waarnemingen ondieper van 4 meter zijn opgenomen.
- De gemeten GHG piekt in beide verdelingen in en rond de klasse 40 – 50 cm. De GHG's van NHI (250 meter cel) pieken niet zo scherp en hebben een 'bredere' verdeling. NHI onderschat op basis van de vergelijking met LSK het aantal gronden met GHG's van 20-70cm.
- De frequentie verdelingen in de GLG vertonen een onderling vergelijkbare brede karakteristiek tussen de 50 en 200 cm.

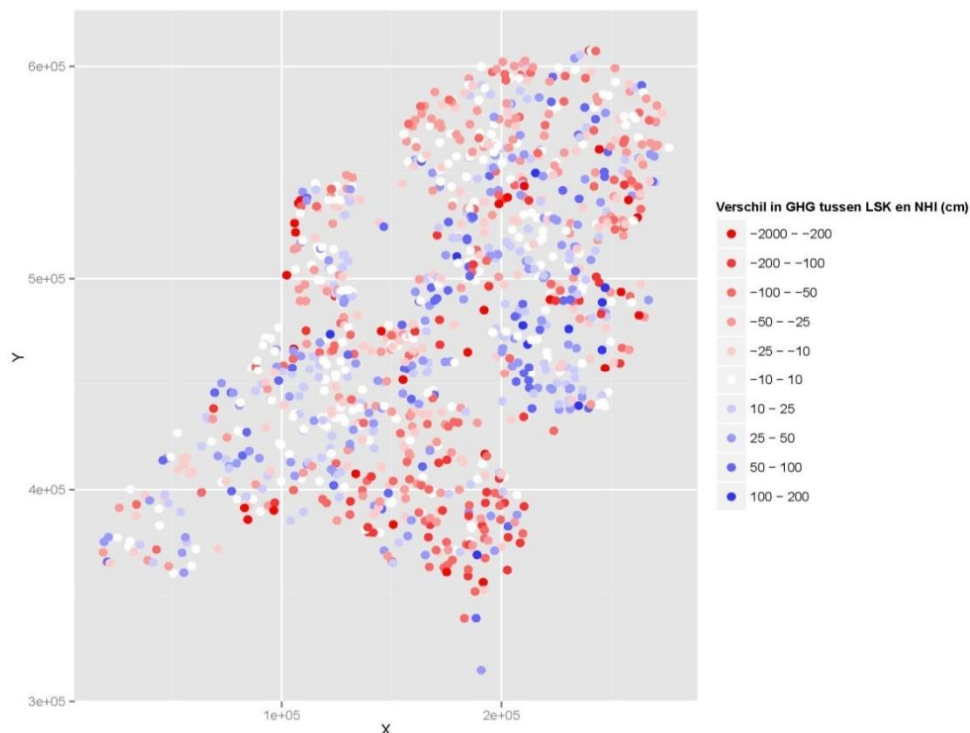
Een deel van de verklaring kan zijn dat in NHI geen freatische grondwaterstanden (met schijnspiegels) modelleert, maar stijghoogten in het freatische pakket. Dit betekent dat de berekende grondwaterstand, dus zowel de GHG als GLG, in NHI wat dieper kan liggen dan in de LSK meetset.

Conclusie

De frequentieverdelingen van LSK en NHI vertonen veel overeenkomsten. De GLG van NHI komt goed met de LSK metingen overeen. De frequentieverdeling van de GHG van NHI is vlakker en minder geprononceerd rond de 50 cm piek dan de LSK verdeling.

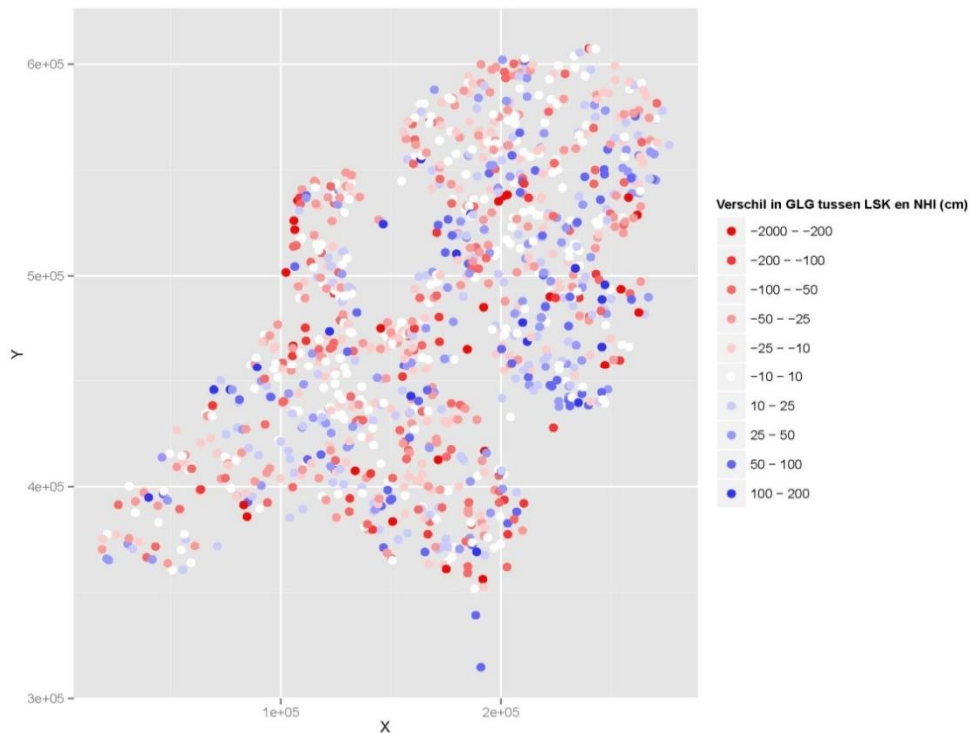
B.4 Analyse ruimtelijke verdeling

Per LSK meetpunt zijn de verschillen berekend met NHI. Mondeling is door dhr. T Hoogland medegedeeld dat de nauwkeurigheid waarmee een GXG bepaald is in de LSK meetset waarschijnlijk gemiddeld c.a.20 cm is. Daarbij zijn ondiepe GXG's vaak nauwkeuriger te bepalen dan diepe GXG's. De residuen zijn ruimtelijk weergegeven in onderstaande figuren.



Figuur 6.8 Verschillen tussen LSK meetpunten en NHI berekeningen van de GHG

. Rood NHI te droog, Blauw NHI te nat



Figuur 6.9 Verschillen tussen LSK meetpunten en NHI berekeningen van de GLG. Rood NHI te droog, Blauw NHI te nat

De verschillen in de GHG en GLG zijn in het grootste deel van Nederland random verdeeld. Er zijn wel regio's met systematische afwijking aan te wijzen, vooral in de GHG. In Brabant en Noord-Limburg wordt de GHG, gezien de overheersend rode kleur, systematisch te diep berekend (te droog). Dit geldt ook in het zeeklei gebied in Friesland. In de achterhoek worden systematisch te ondiepe GHG 's berekend (te nat). In grote delen van west en noord Nederland zijn de verschillen willekeuriger en is het moeilijker structuur te onderscheiden.

B.5 Conclusie

De frequentieverdelingen van LSK en NHI komen redelijk tot goed overeen. Ruimtelijk gezien zijn de grootste afwijkingen tussen LSK en NHI gelegen in de hogere zandgronden met name in Brabant (Centrale Slenk) en Noord Limburg waar NHI lagere GHG's berekent. In de achterhoek is NHI juist wat natter dan de LSK. Voor de GLG's zijn de verschillen vergelijkbaar, maar meer random verdeeld. In veel van de belangrijke wateraanvoer regio's zijn de afwijkingen van zowel GHG als GLG random verdeeld. NHI berekent in een groot deel van deze aanvoerregio's een goede grondwaterstandsvariatie.

C Kwalitatieve beoordeling uitputtingsverloop – Meting versus berekening in NHI 3.0: tijd-stijghoogte lijnen

C.1 Opzet van de vergelijking

Om een indruk van de door NHI berekende grondwaterstandsdynamiek te verkrijgen, zoals die van belang is voor langjarige voorspelingen zijn voor de periode 1996 - 2006 berekende waarden vergeleken met metingen.

Op een 37-tal punten zijn gemeten grondwaterstanden vergeleken met NHI resultaten. De gepresenteerde reeksen zijn gekozen verspreid in Nederland binnen gebieden waarin de landbouw voor de watervraag relevant is. Binnen deze gebieden zijn binnen een willekeurig vierkant gemiddeld 3 peilbuizen geselecteerd, waar meting en berekening tenminste enige relatie vertonen. De geselecteerde meetpunten zijn weergegeven in onderstaande figuur.

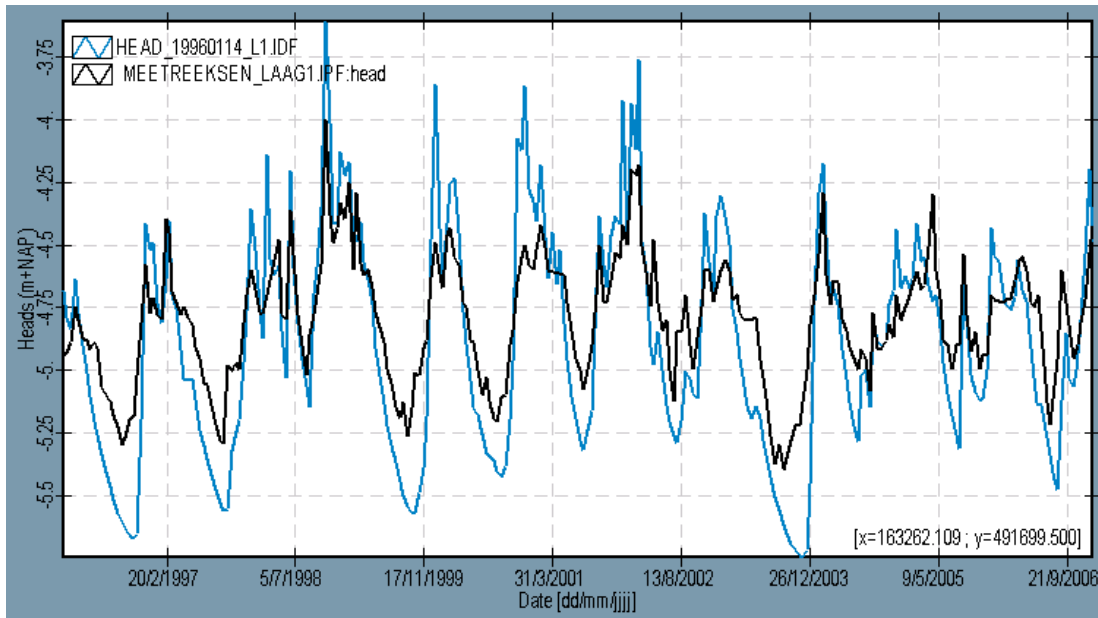


Figuur 6.10 Geselecteerde meetpunten in de vergelijking met NHI resultaten

Voor NHI zijn de resultaten gepresenteerd op de 14^{de} en 28^{ste} van elke maand. De metingen hebben vaak ook deze meetfrequentie.

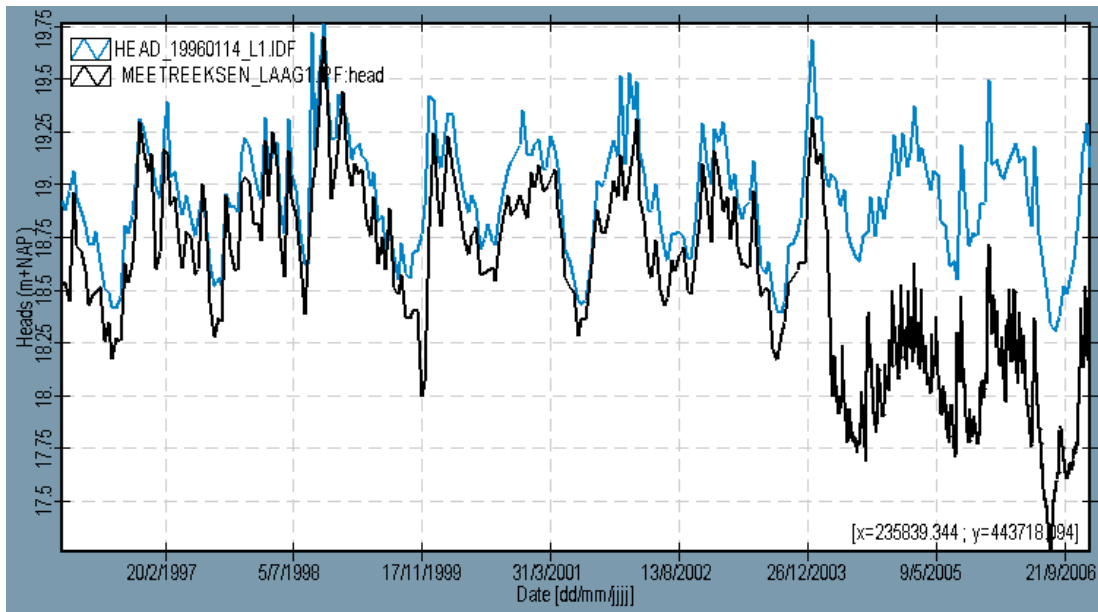
C.2 Flevoland

Behalve onderstaand meetpunt, dat centraal in de polder ligt, worden veel meetpunten gevonden die sterk door het oppervlaktewater zijn beïnvloed. NHI (blauwe lijn) berekent de stijging na uitzakking goed ten opzichte van de meting (zwarte lijn).

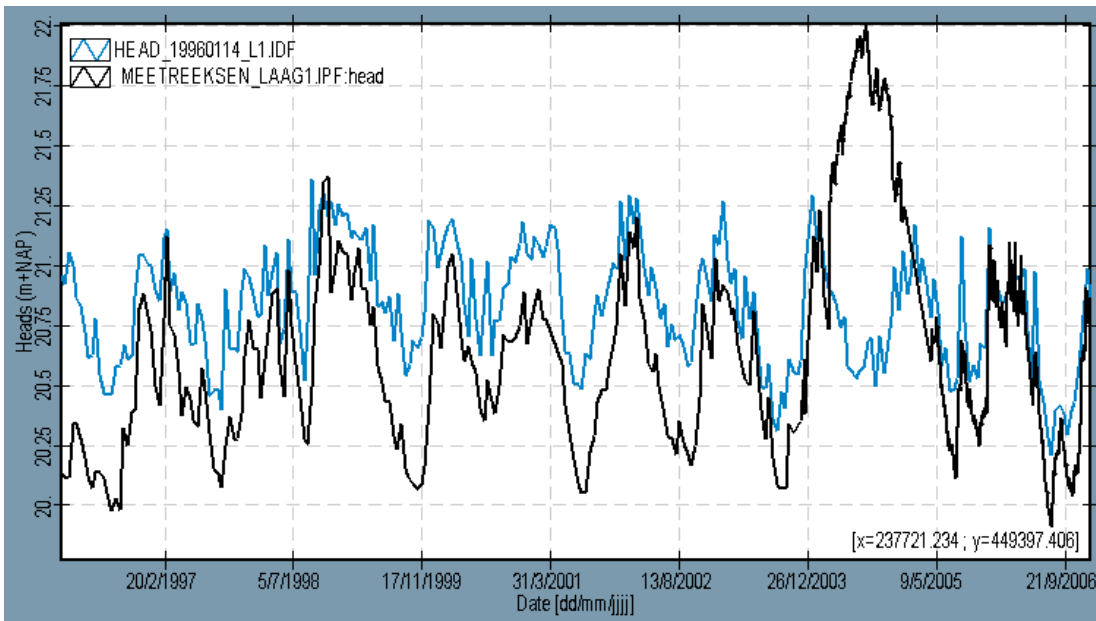


C.3 Achterhoek

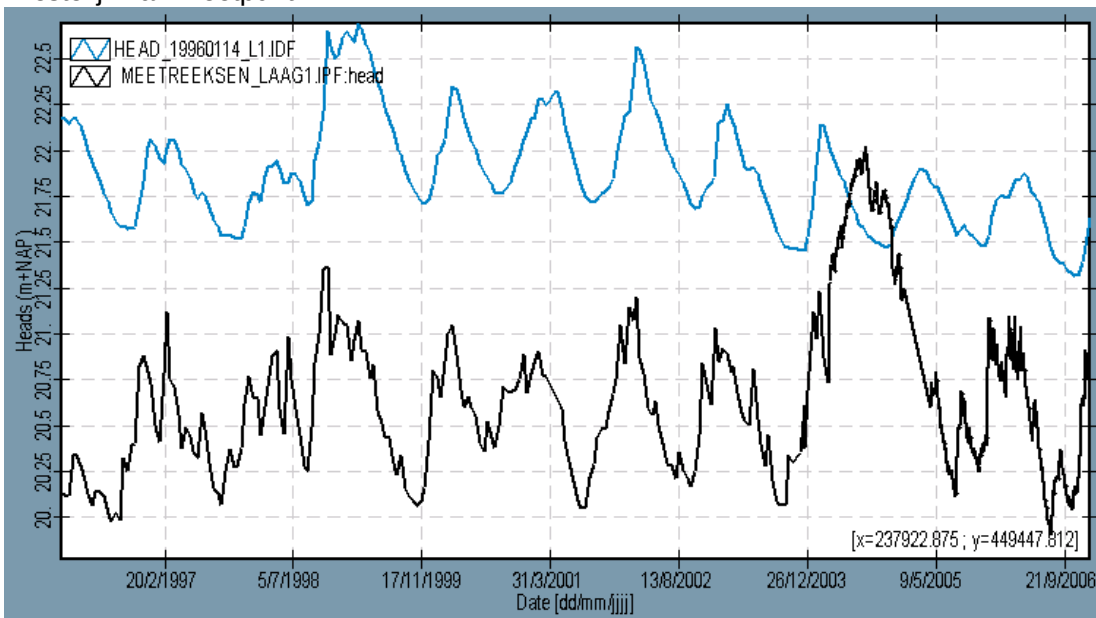
Onderstaand de vergelijking voor de Achterhoek. In de eerste meting valt de afwijking op in de meting na 2003; daar lijkt een peil beheersingsmaatregel of een andere oorzaak te zijn van het systematisch wegzakken over meerdere jaren. De variatie in de grondwaterstand van NHI blijft goed, behalve dan de verticale verschuiving aan het eind. NHI berekent de stijging na uitzakking goed ten opzichte van de meting.



Onderstaand wordt weergegeven wat de gevoeligheid is bij de selectie van berekende waarden bij meetpunten. In de bovenste grafiek (westelijk van meetpunt) wordt de waarneming in essentie goed benaderd. In de onderste grafiek (oostelijk van meetpunt), is de variatie in de grondwaterstand redelijk vergelijkbaar maar de hoogte meer dan 1.5 meter afwijkend.



Westelijk van meetpunt

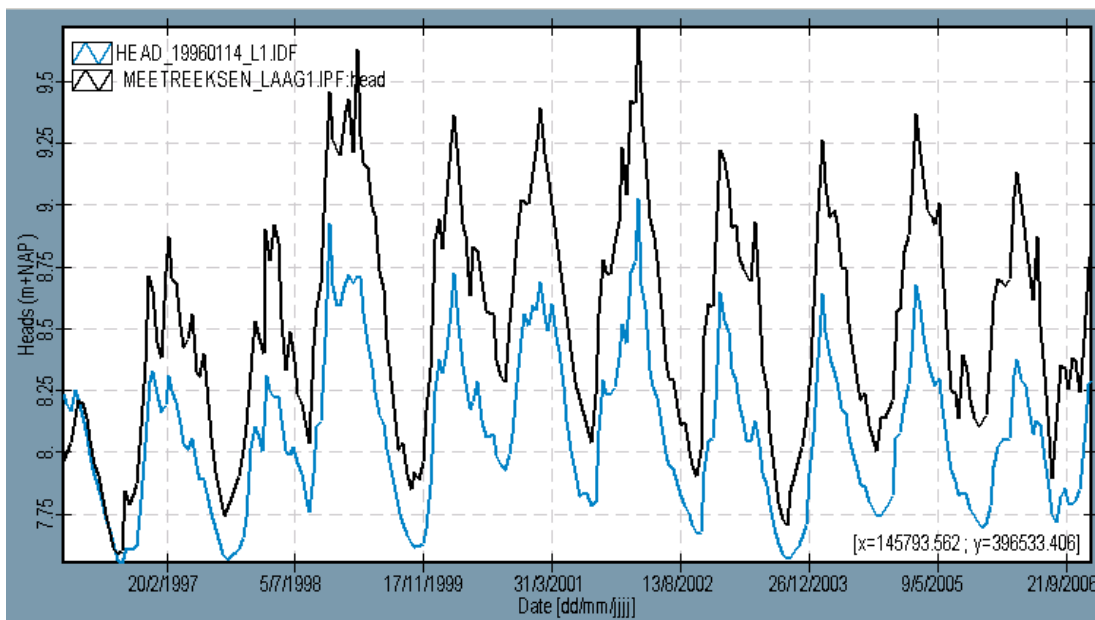
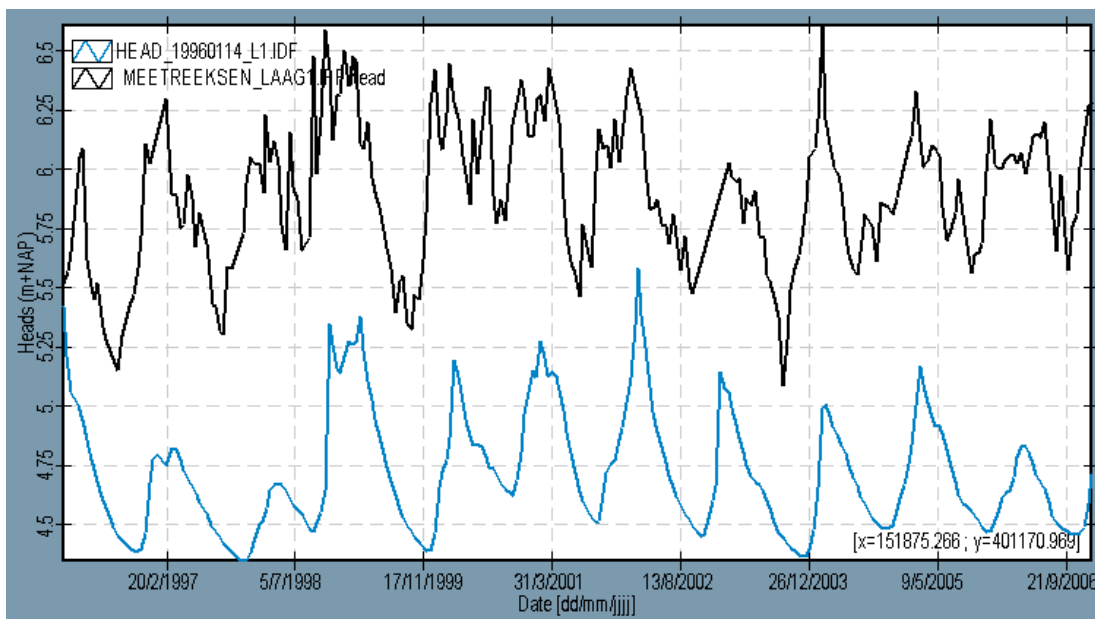


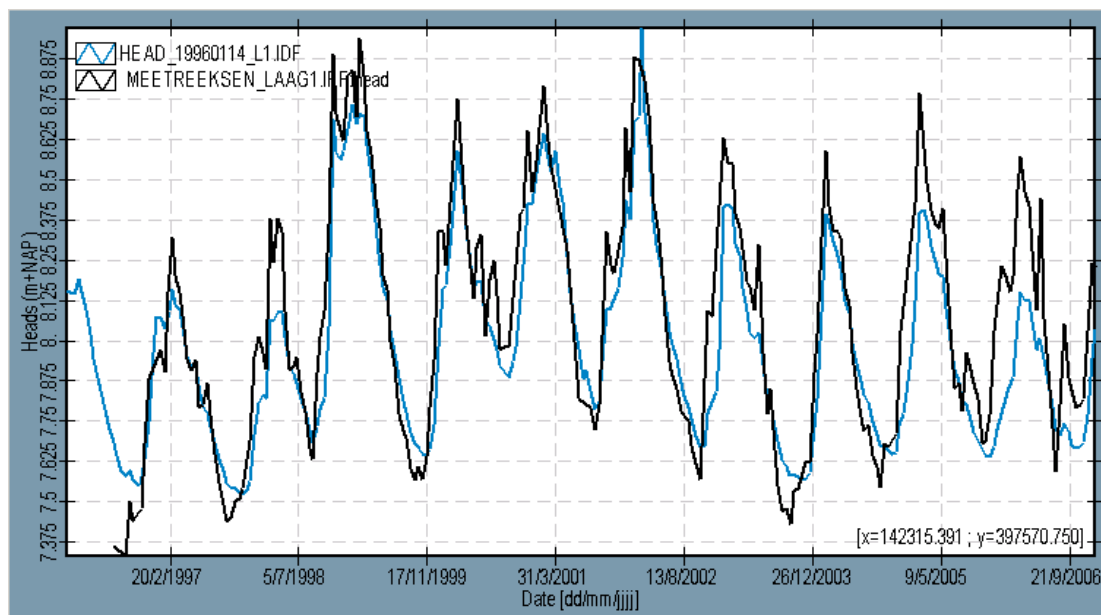
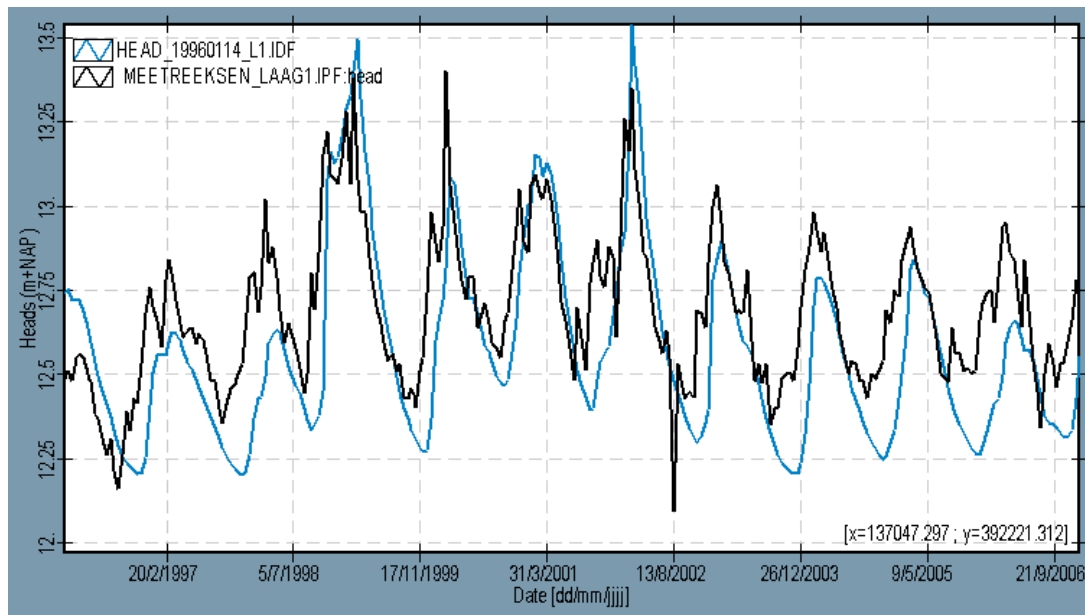
Oostelijk van meetpunt.

NHI berekent de stijging na uitzakking goed ten opzichte van de meting.

C.4 Midden Brabant

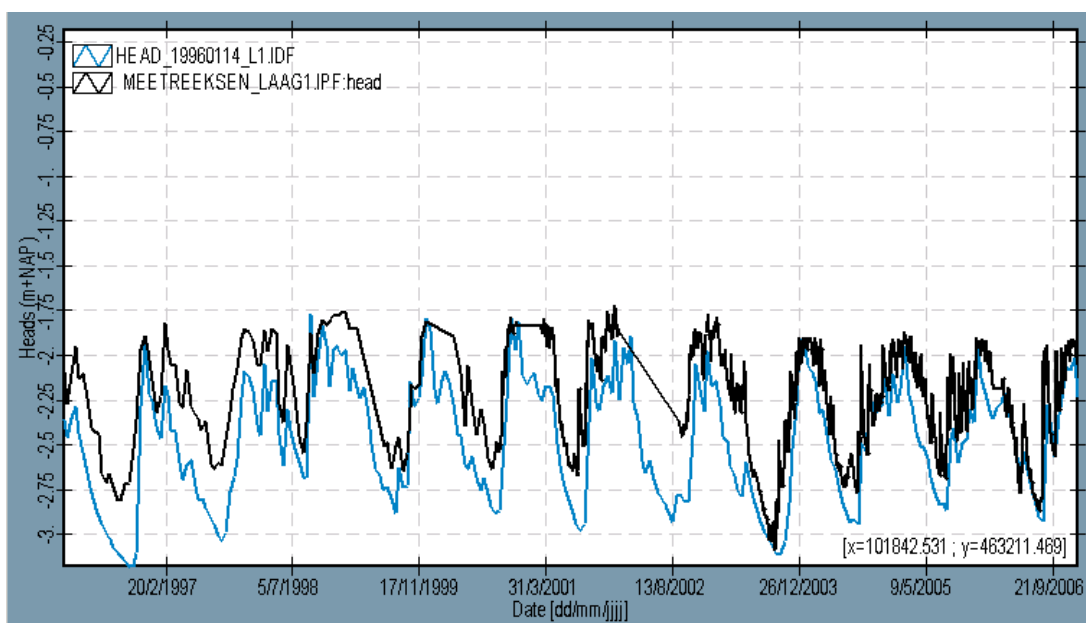
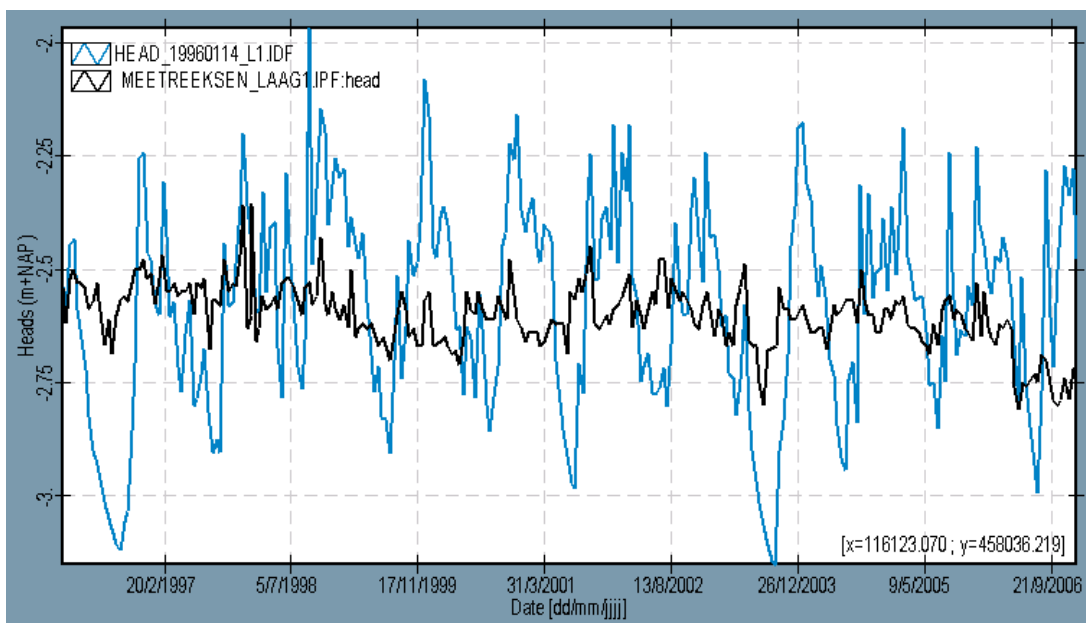
Onderstaand is duidelijk te zien dat NHI ook in midden Brabant de variatie in de grondwaterstand goed benadert, maar dat in hellende gebieden, grafiek 1, een afwijking in de hoogte van 1 meter zo maar kan voorkomen. NHI berekent de stijging na uitzakking goed ten opzichte van de meting in grafieken 2 en 4 en vertoont enige vertraging in grafiek 3.

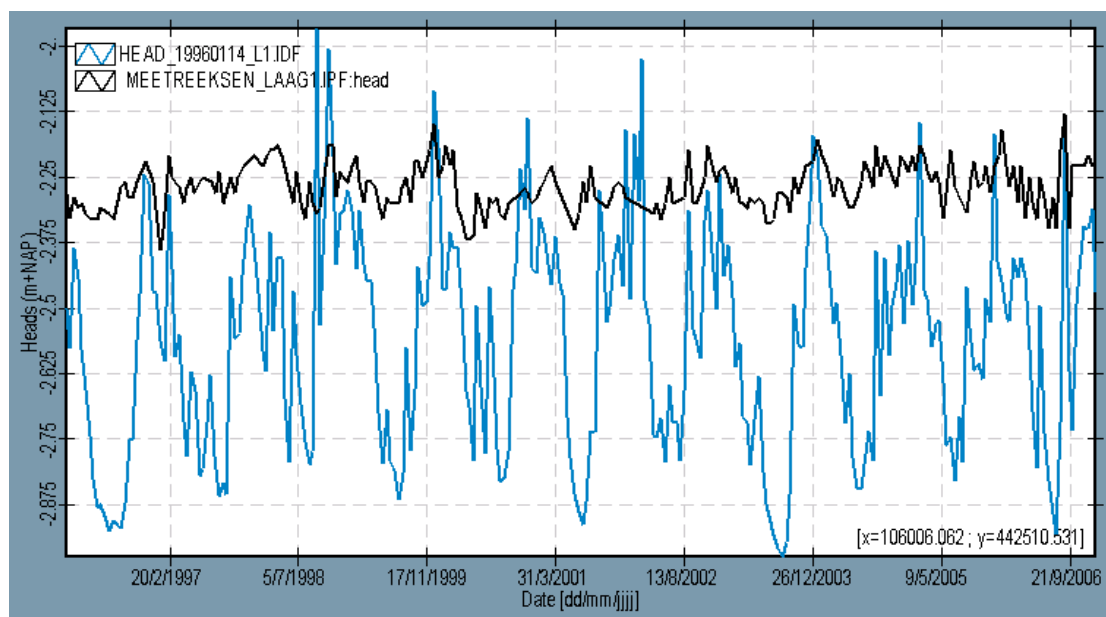




C.5 West Nederland Poldergebied

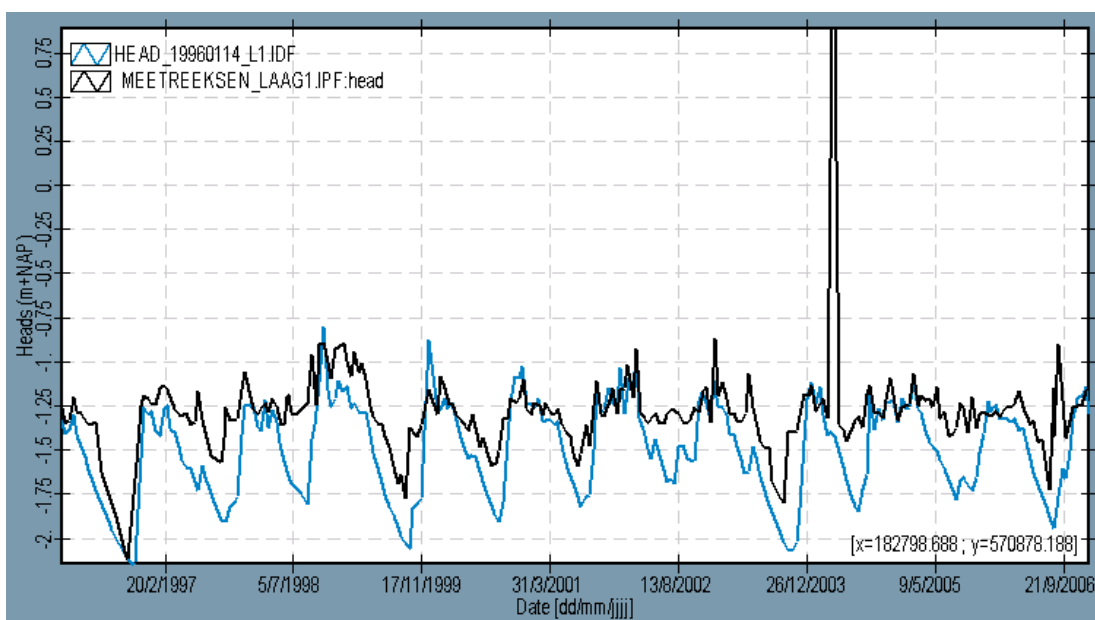
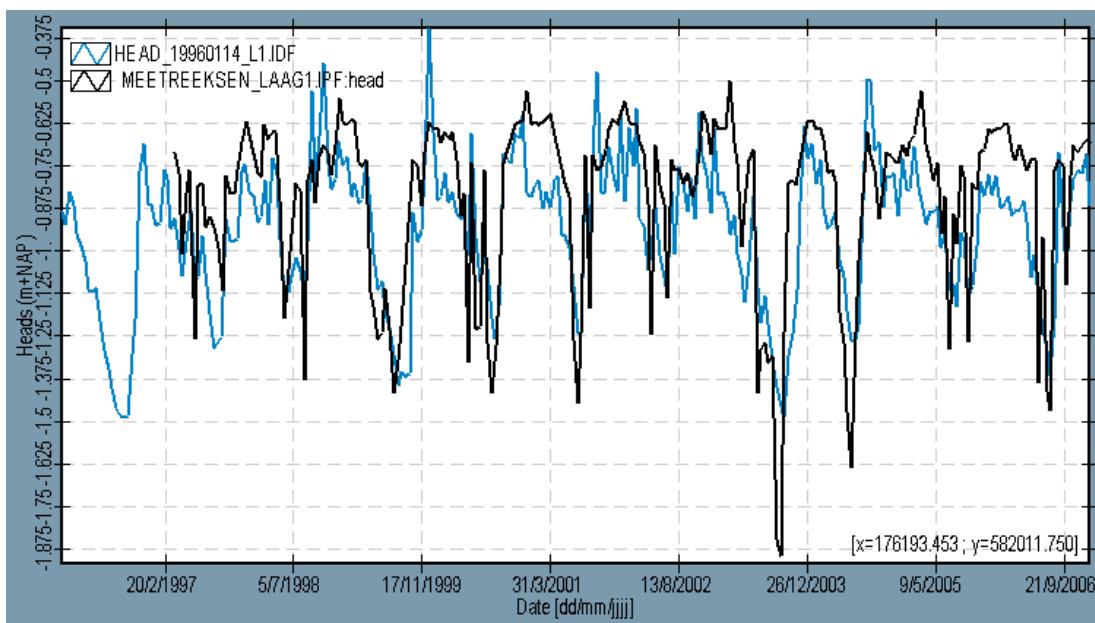
Onderstaande grafieken tonen duidelijk de invloed van een beheerst peil (grafiek 1 en 3) op een meting. De variatie in de grondwaterstand van NHI ziet er goed uit in grafiek 2. Het is plausibel dat in deze gebieden de variatie gemiddeld over een 250 meter vierkant groter is dan de peil variatie. NHI berekent de stijging na uitzakking goed ten opzichte van de meting.

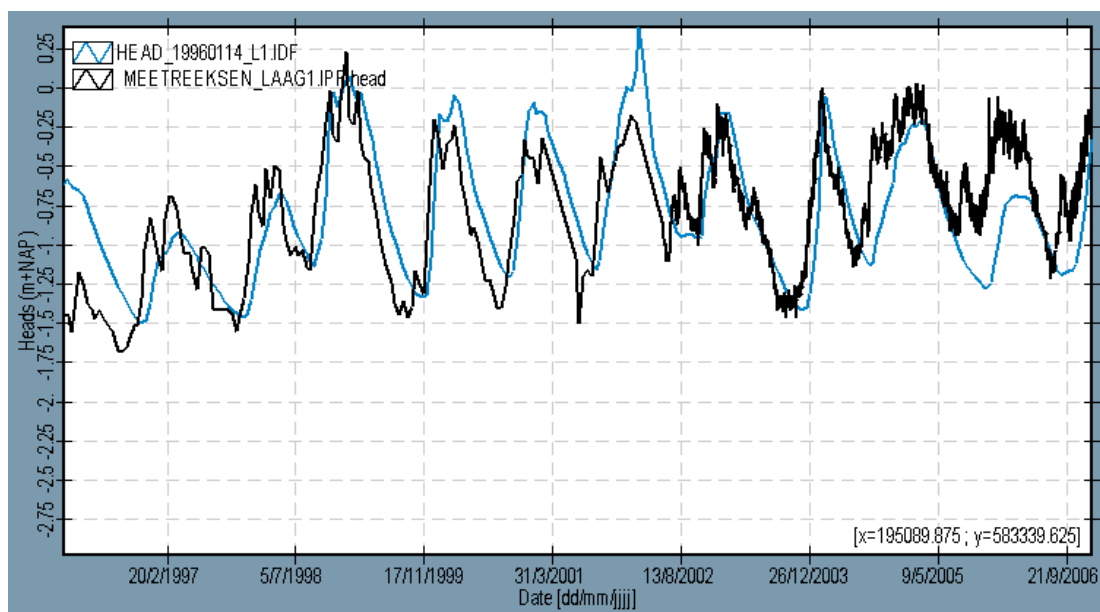




C.6 Friesland

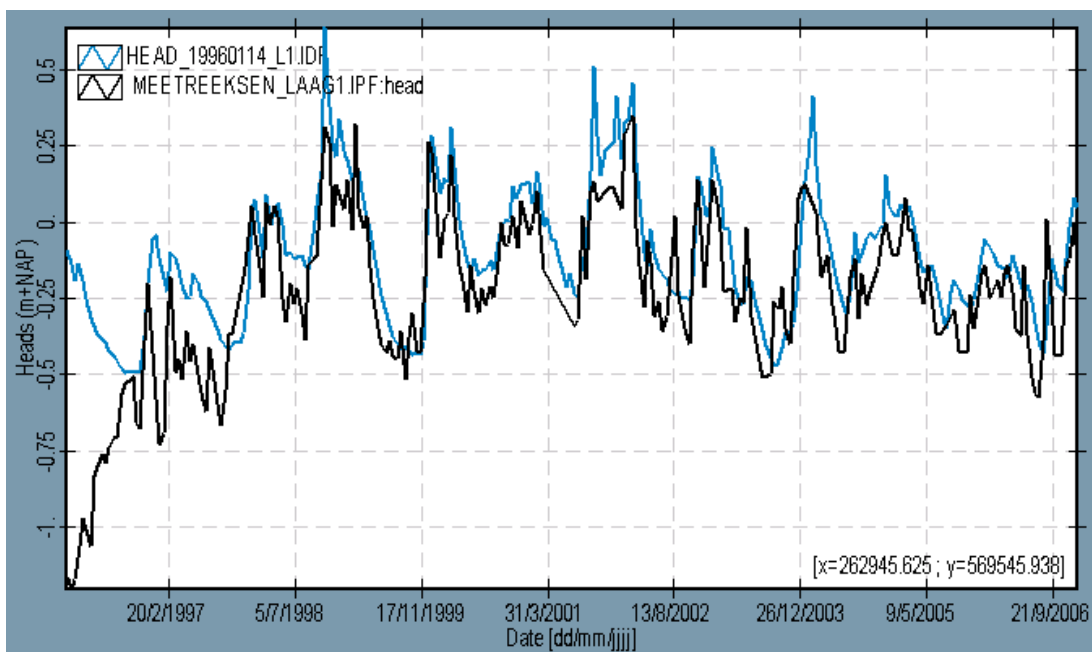
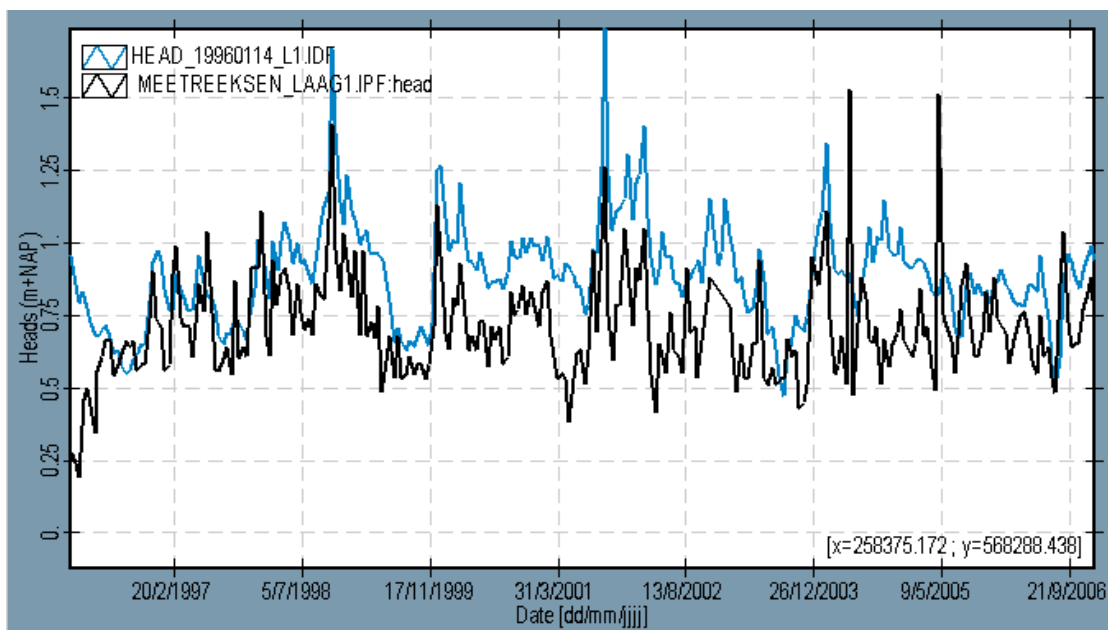
De variatie in de grondwaterstand in Friesland volgt goed de metingen. Wel is te zien dat hele diepe uitzakking zoals in 2003 (grafiek 1) niet helemaal gevolgd wordt. In grafiek 1 en 2 is de stijging na een uitzakking in NHI over het algemeen snel genoeg. In de grafiek 3 is er sprake van vertraagde reactie van NHI ten opzichte van de gehele reeks metingen.

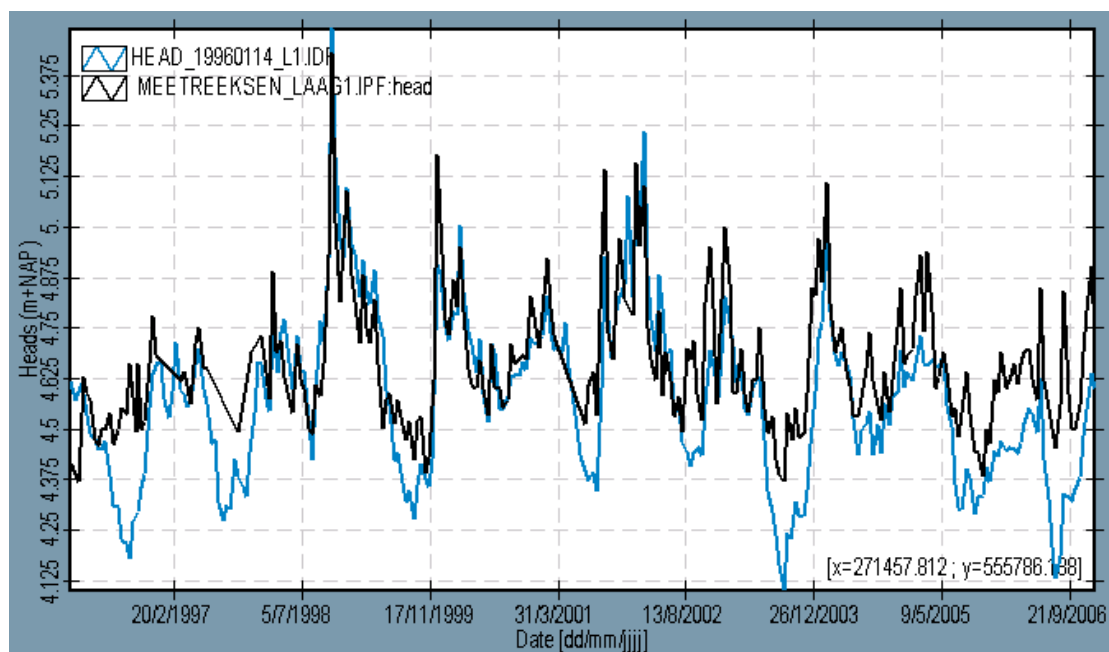




C.7 Groningen (veenkoloniën)

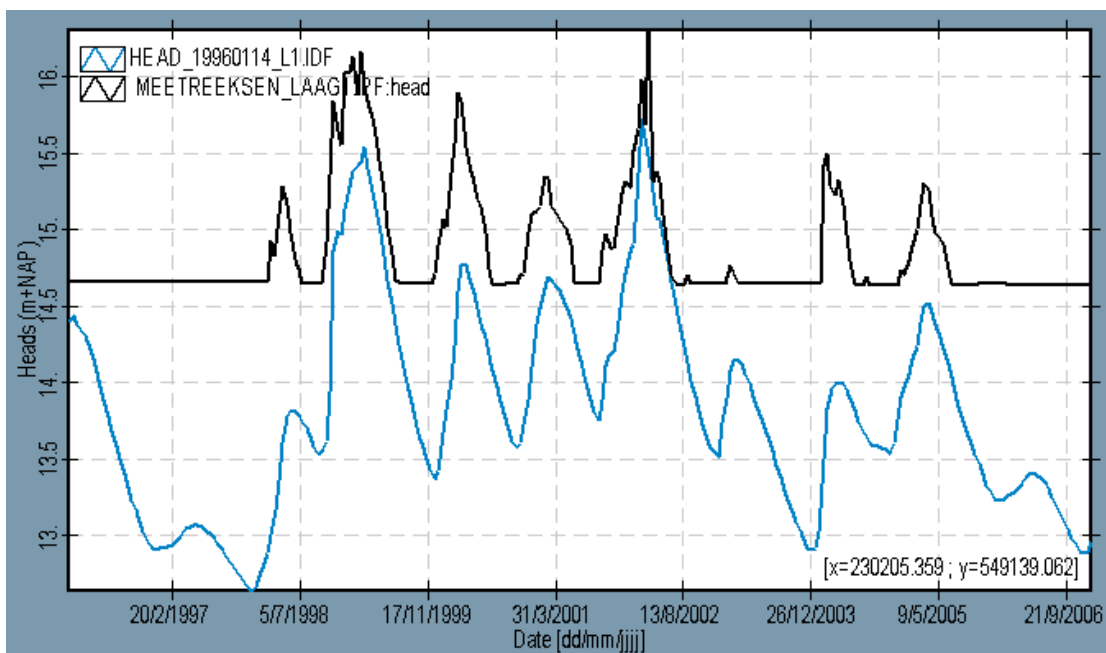
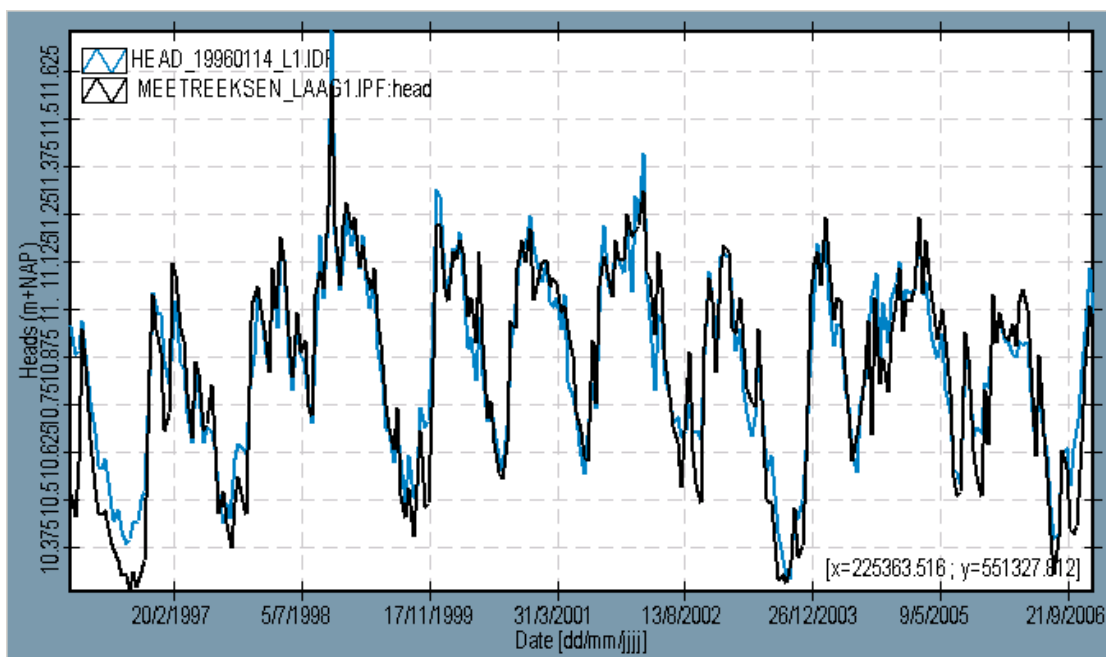
In de Groningse veenkoloniën berekent NHI een goede variatie in de grondwaterstand. NHI berekent de stijging na uitzakking goed ten opzichte van de meting.



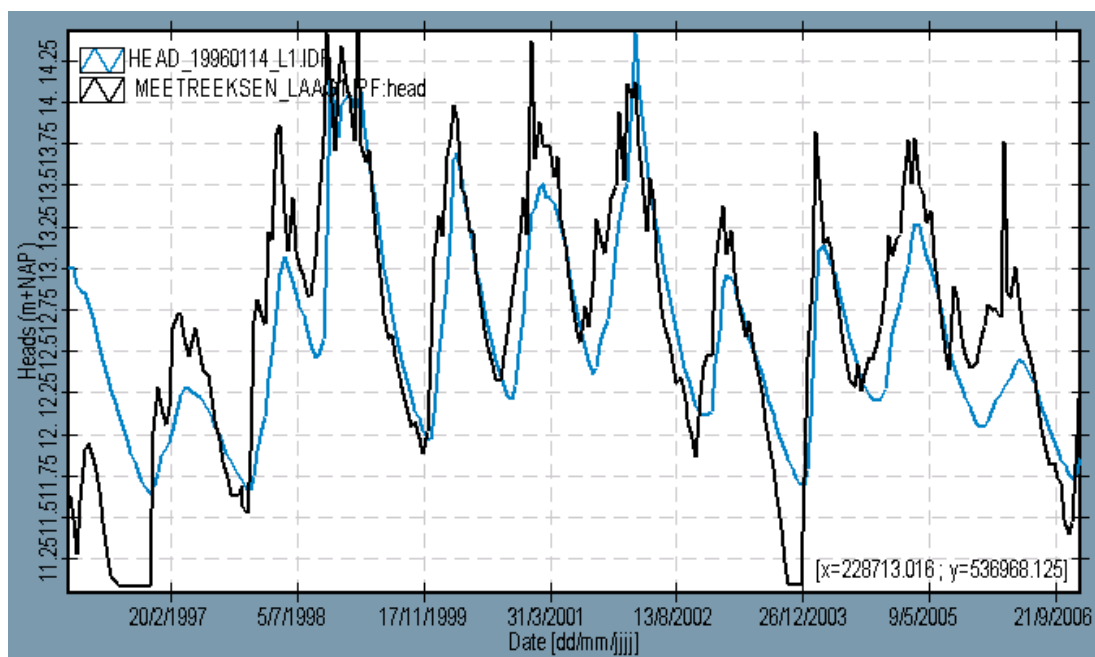


C.8 Drenthe

De berekende variatie in NHI grondwaterstanden is goed. In grafiek 2 is duidelijk de onderkant filter van de meting te zien. In grafiek 3 is te zien dat de uitzakking in de zomer van 2003 niet helemaal wordt gehaald. NHI berekent de stijging na uitzakking goed ten opzichte van de meting.

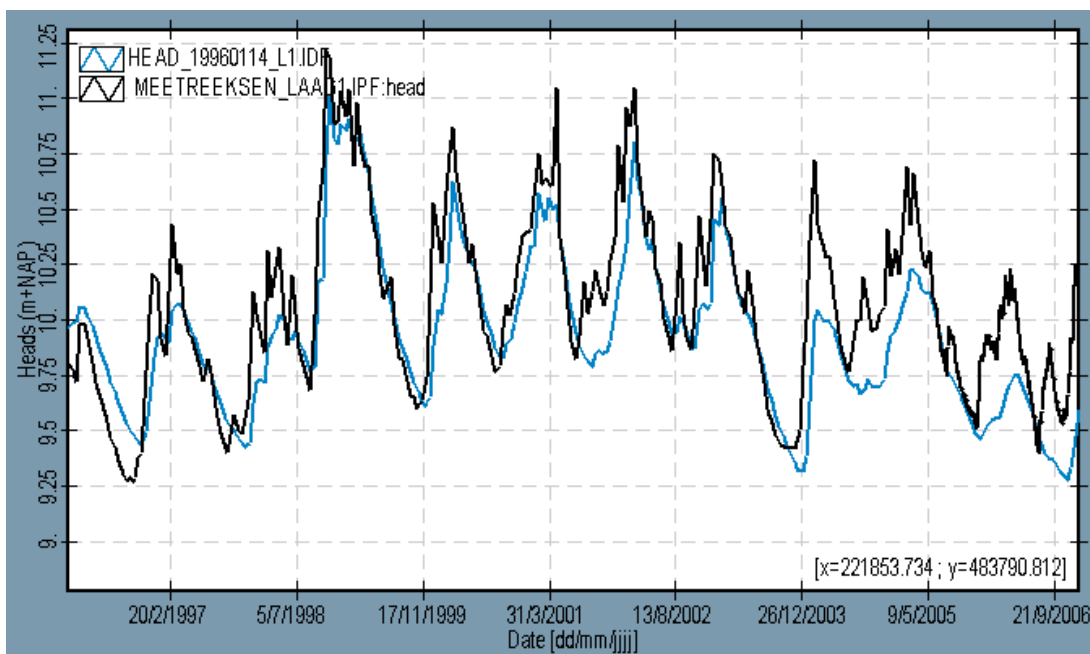
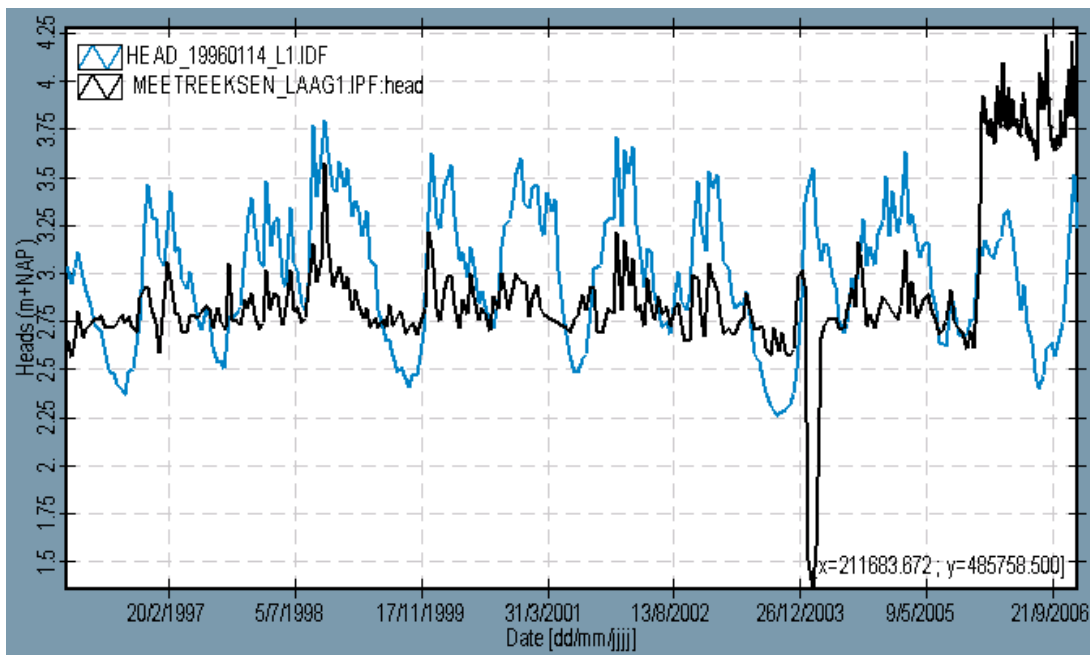


Op Heuvelrug?

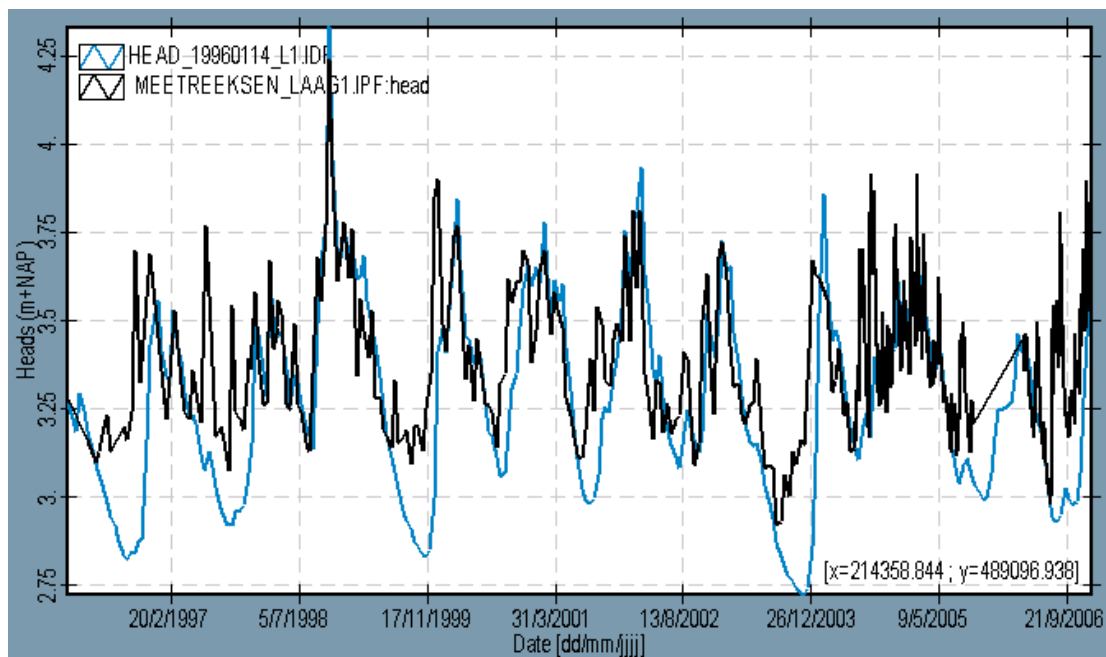
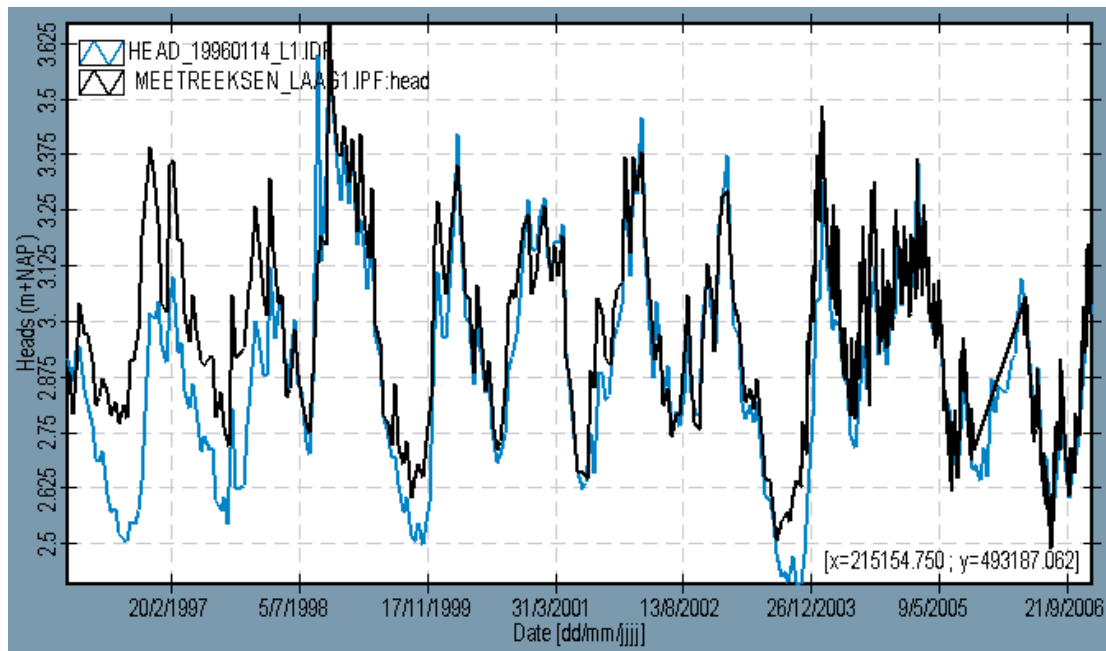


C.9 Overijssel

Ook in Overijssel zijn metingen die vastliggen aan waterpeilen, grafiek 1. De variatie in de grondwaterstand van NHI is goed. NHI berekent de stijging na uitzakking goed ten opzichte van de meting. Soms is de reactie iets vertraagd berekend.

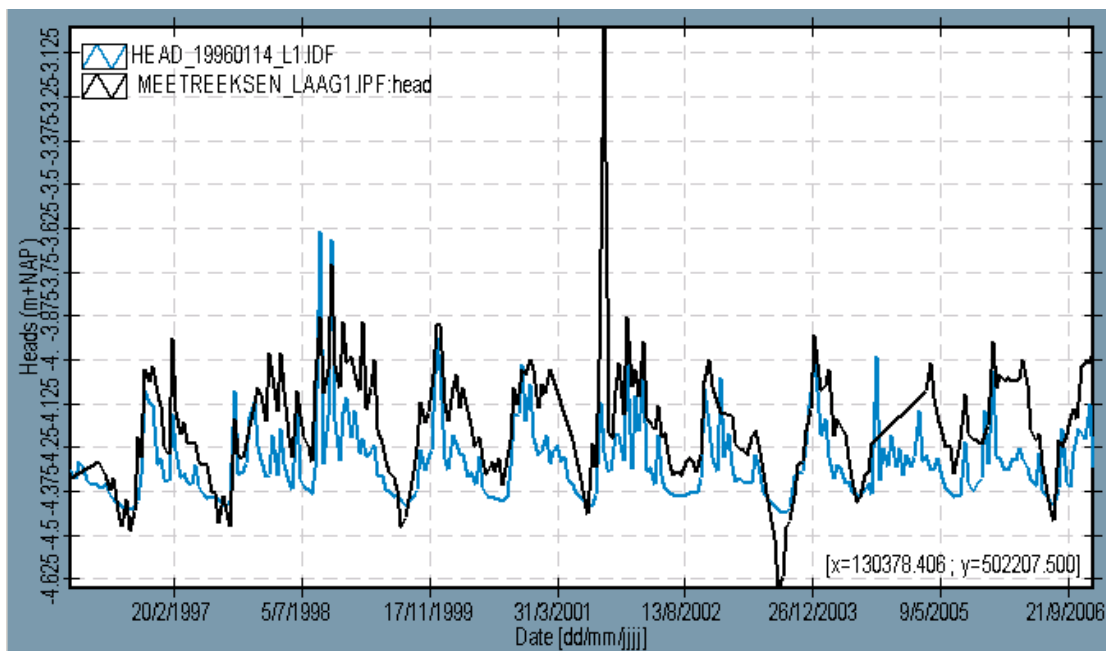
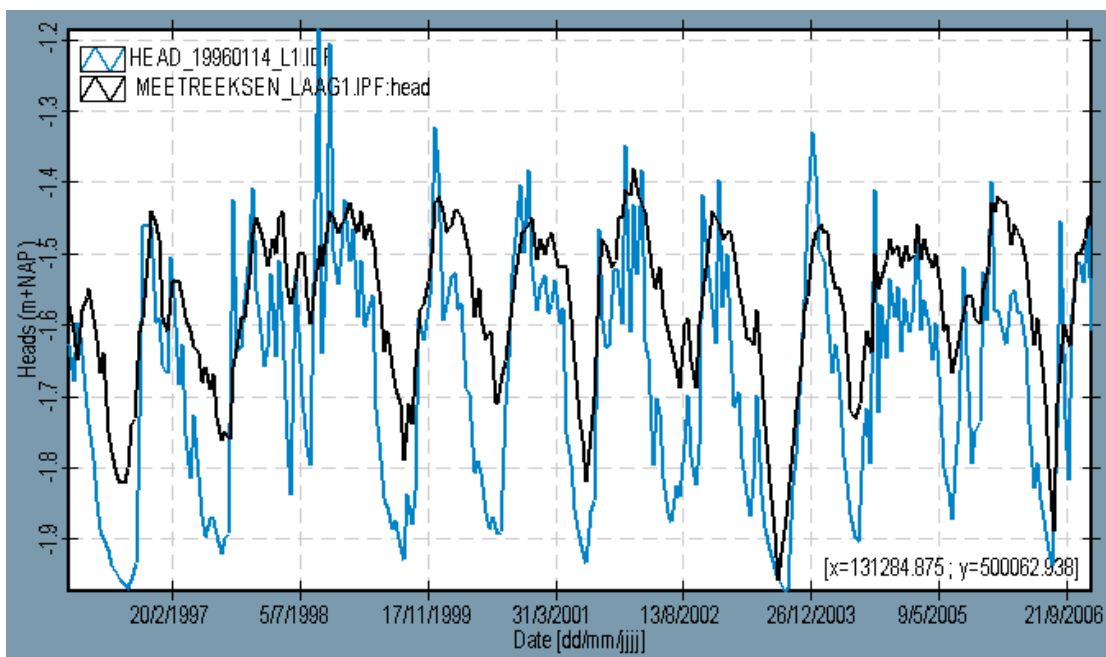


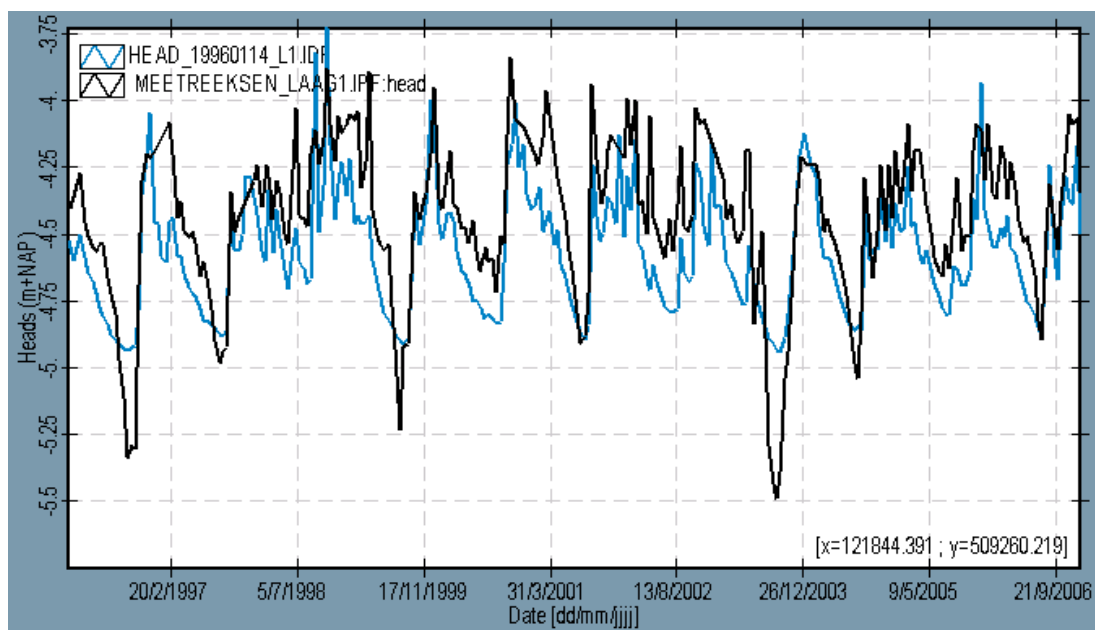
Voet Sallandse heuvelrug



C.10 Noord Holland (Waterland)

NHI berekent goede variatie in de grondwaterstanden (250 meter). NHI berekent de stijging na uitzakking goed ten opzichte van de meting.

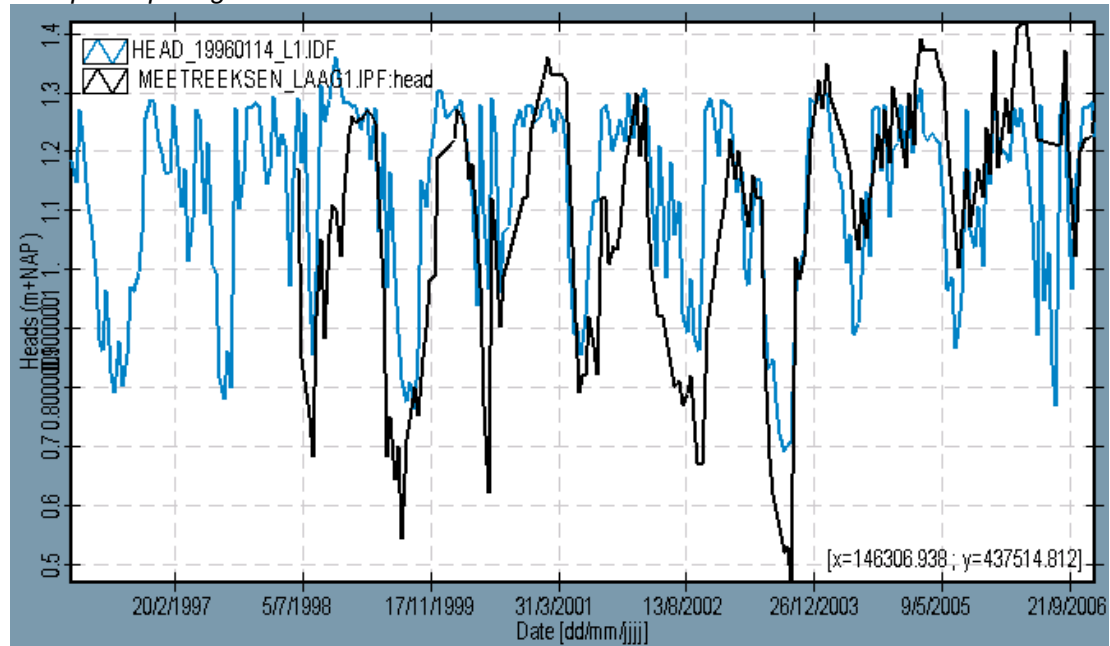




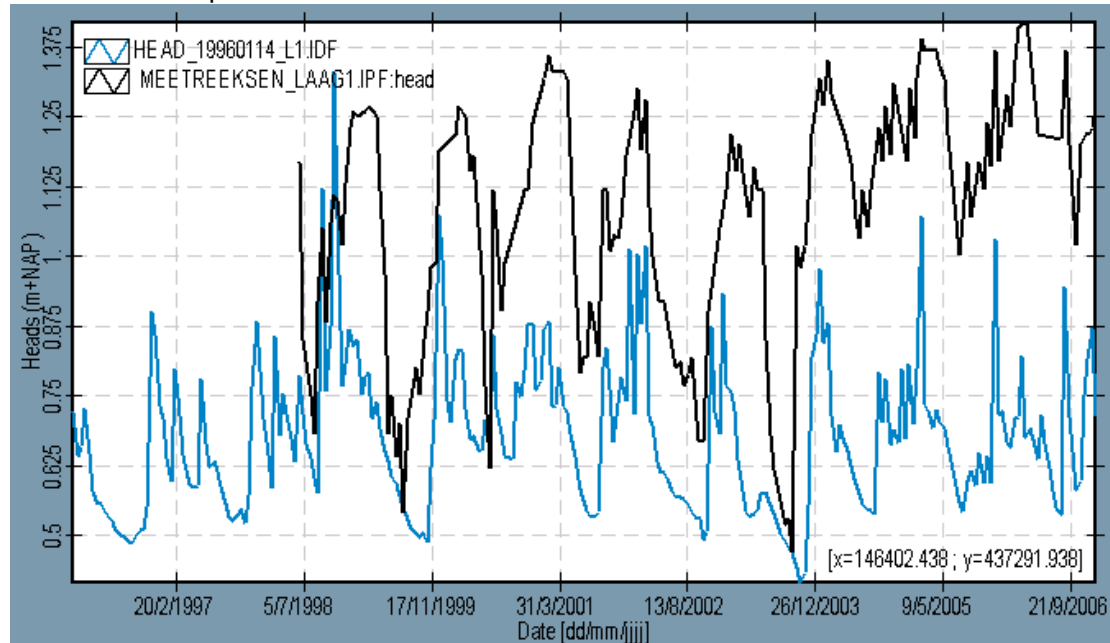
C.11 Rivierenland

Onderstaand wordt in rivierenland een voorbeeld van de variatie in berekende grondwaterstanden rond een meetpunt gegeven. Onderstaand is duidelijk dat de cel ten noorden van het meetpunt een betere match qua hoogte en dynamiek vertoont met het meetpunt dat de cel in het zuiden.

Meetpunt op de grens van 2 NHI cellen:

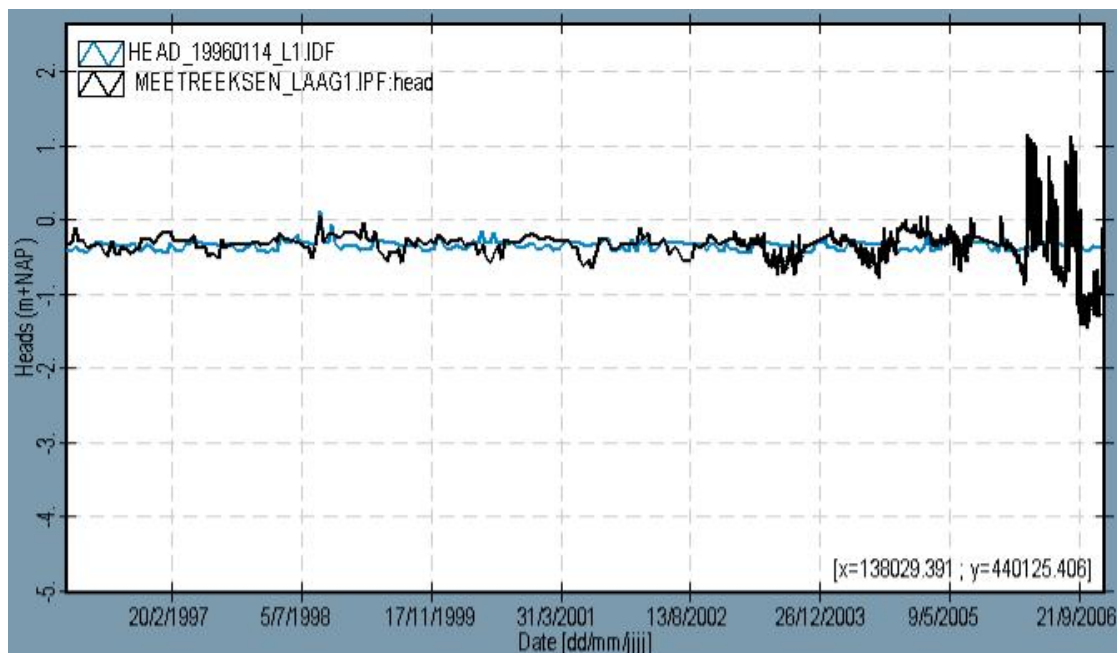


Noord van meetpunt

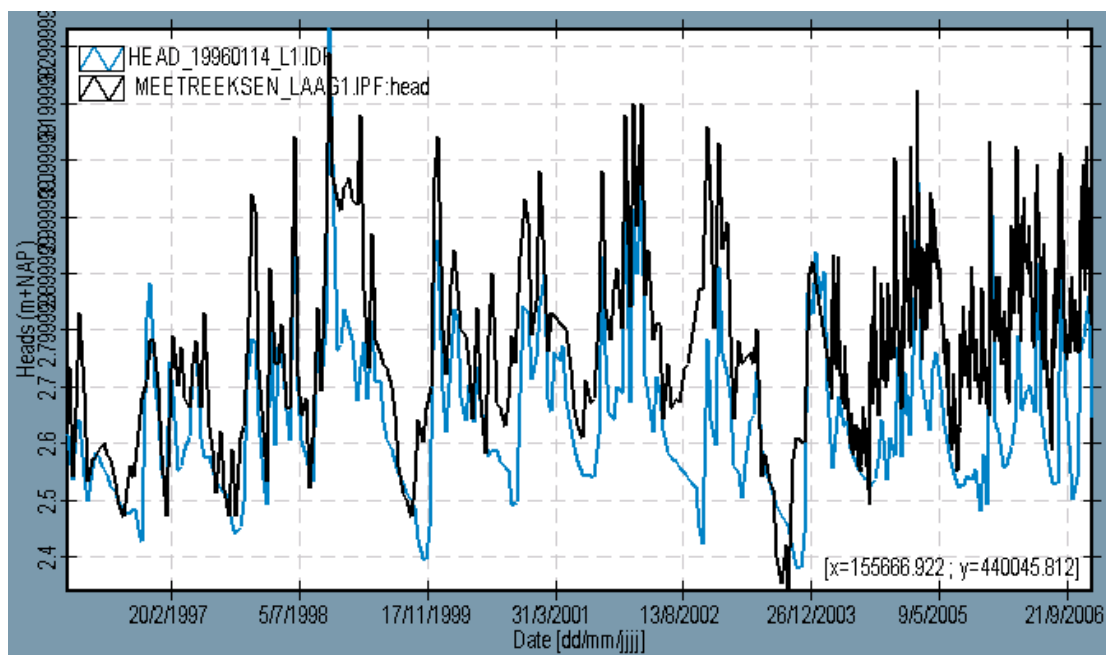


Zuid van meetpunt

Onderstaande grafiek bevat de variatie van een cel en meetpunt in peilbeheerst gebied. De dynamiek in de meting in 2006 is zodanig anders (gebiedsherinrichting?) dat NHI daarin niet kan volgen.



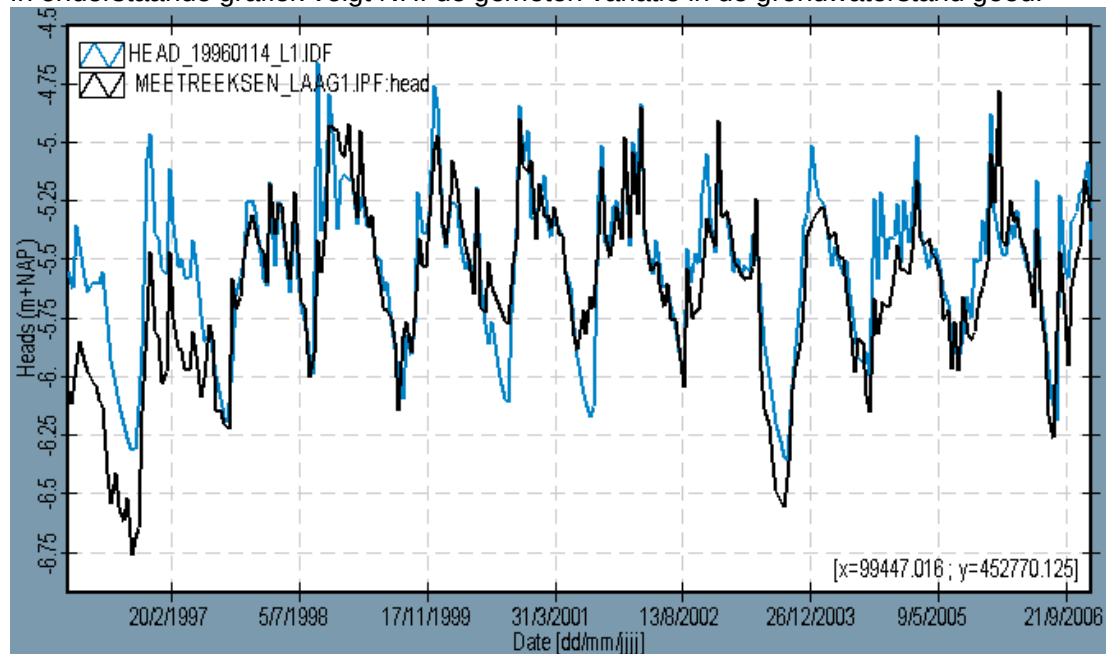
Onderstaande grafiek vertoont veel dynamiek, zowel in NHI als in de meting



Op deze plaats berekent NHI de stijging na een diepe uitzakking goed qua grootte maar vertraagd ten opzichte van de meting.

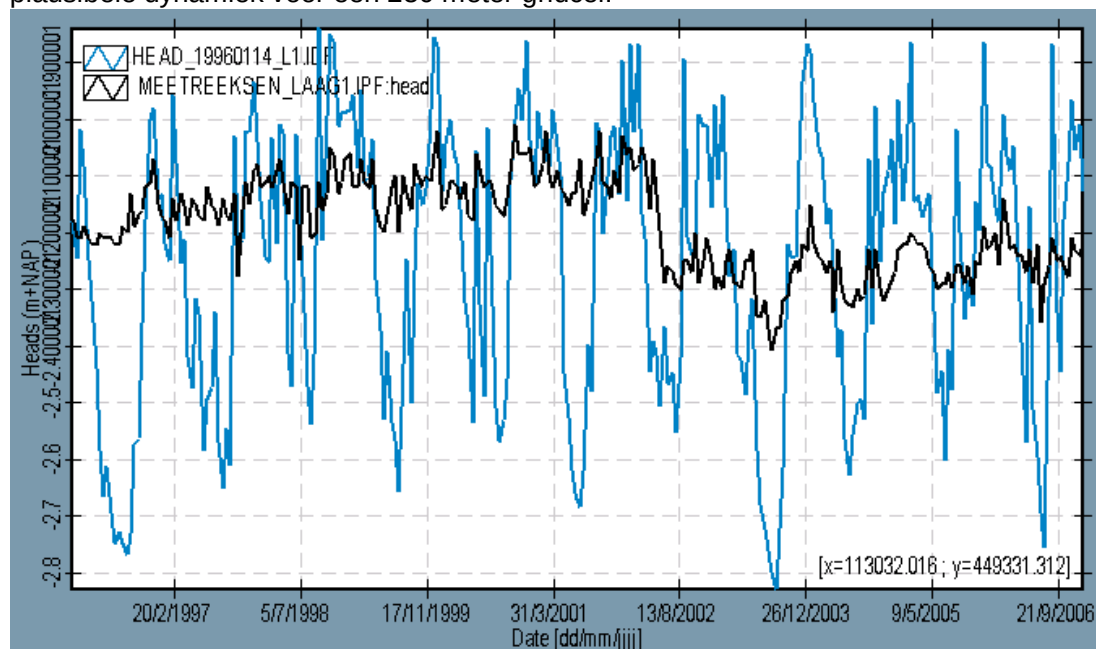
C.12 Zuid-Holland

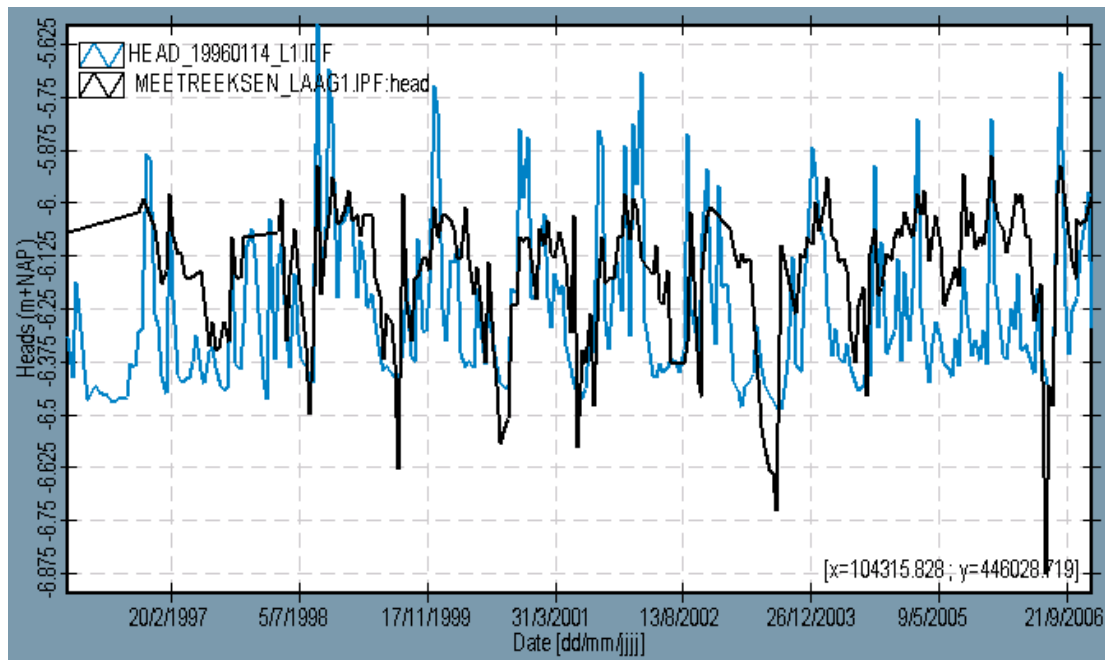
In onderstaande grafiek volgt NHI de gemeten variatie in de grondwaterstand goed.



Diepe polder (bij Zoetermeer?)

In onderstaande grafiek is de meting aan een beheerst peil gekoppeld, NHI vertoont plausibele dynamiek voor een 250 meter gridcel.

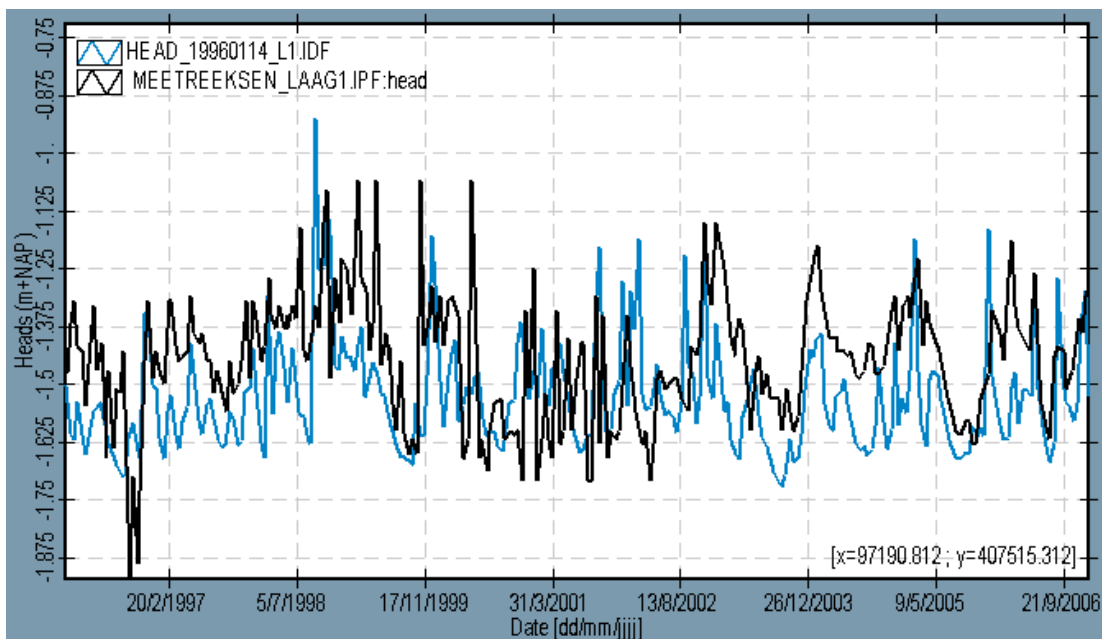
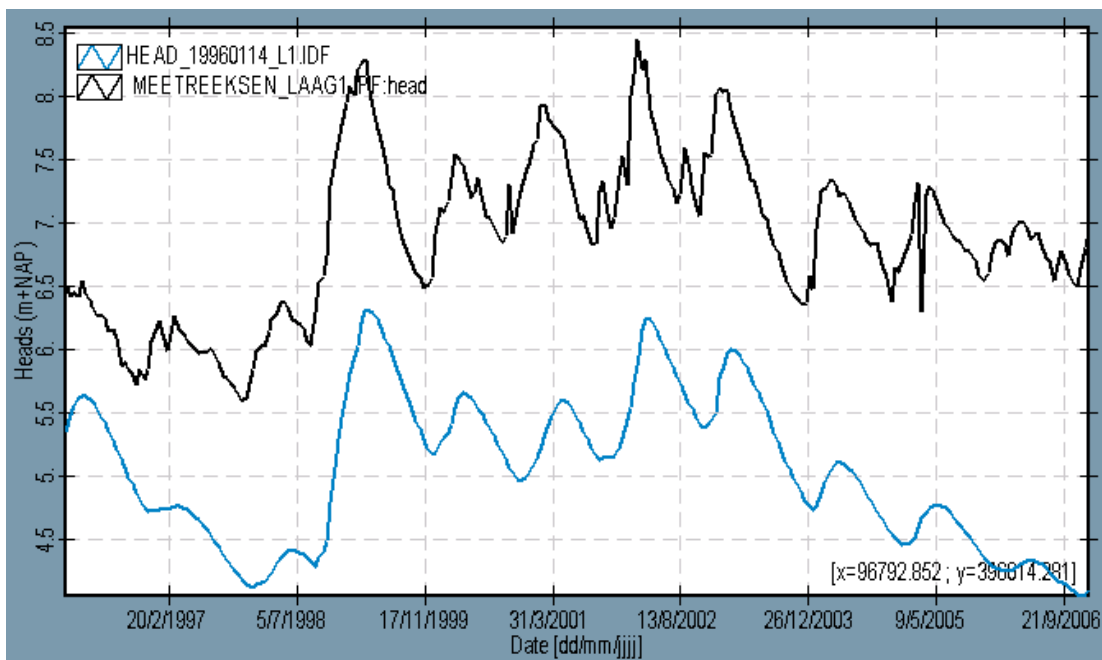




NHI berekent voldoende en plausible dynamiek. NHI berekent de stijging na uitzakking goed ten opzichte van de meting.

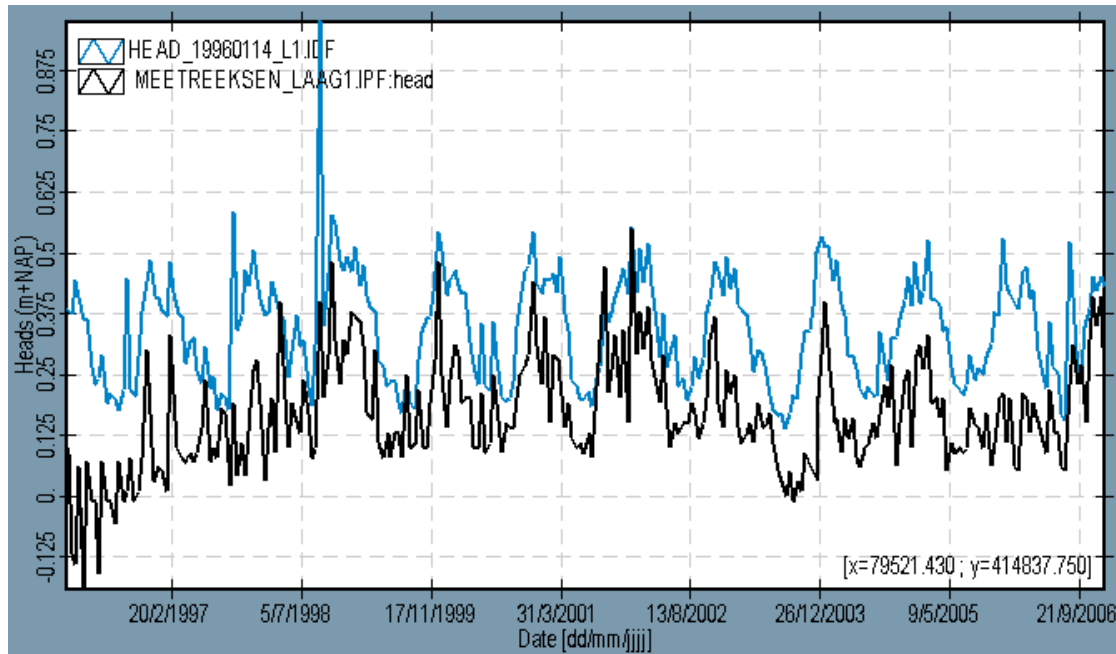
C.13 West-Brabant

In West Brabant is de berekende variatie in grondwaterstanden goed vergelijkbaar met de gemeten variatie. NHI berekent de stijging na uitzakking goed ten opzichte van de meting. In hoge, hellende gebieden kan de hoogte in de orde van meter afwijken. In de bovenste grafiek komt de grondwaterstand in NHI na 2013 niet meer voldoende terug ten opzichte van de meting.



C.14 Goeree – Overflakkee

NHI berekent plausible variatie in de grondwaterstand. NHI berekent de stijging na uitzakking goed ten opzichte van de meting.



C.15 Conclusie van de vergelijking

Uit deze vergelijking op basis van 37 metingen kunnen, met alle beperkingen die dit heeft, de volgende conclusies worden getrokken.

- NHI berekent in het merendeel van de gepresenteerde grafieken een variatie in de grondwaterstand die vergelijkbaar is met de metingen.
- Bij metingen die door beheerst peil worden beïnvloed, berekent NHI meestal meer dynamiek.
- De stijging na een diepe uitzakking wordt in ca 80% van de gepresenteerde gevallen dicht bij het gemeten moment berekend.
- In enkele meetpunten is een systematische vertraging in de berekende grondwaterstanden te zien van een of enkele decades.
- De vertraging komt in alle grondsoorten en hydrologische omstandigheden voor.
- De lengte van de berekende periode met lage grondwaterstanden komt in vrijwel alle grafieken overeen met de gemeten situatie.