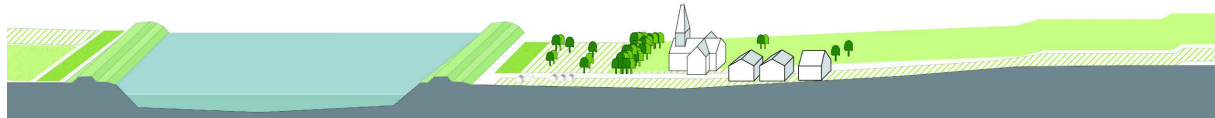


BIJLAGE 7: GEOHYDROLOGISCHE STUDIE RETENTIEBEKKEN EN BEEKVERLEGGING THORN-WESSEM



INHOUDSOPGAVE

1.	Inleiding	4
1.1	Aanleiding	4
1.2	Doel	4
1.3	Leeswijzer	4
2	Randvoorwaarden en uitgangspunten	6
2.1	Locatie	6
2.2	Bodemopbouw	7
2.3	Grondwaterstand	11
2.3.1	Dinoloket	12
2.3.2	Meetnet Waterschap Limburg	12
2.3.3	Meetnet IBM	13
2.4	Maas	17
2.4.1	Historisch hoogwater	17
2.4.2	Maatgevend hoogwater	19
2.5	Binnendijks watersysteem	20
2.6	Beekherstel Thornerbeek	22
2.7	Inzet bekken	23
2.8	Grondwatermodel	25
3	Systeemanalyse	27
4	Opzet grondwatermodel - en actualisatie tot met 2011.....	30
4.1	Schematisatie grondwatermodel.....	30
4.1.1	Schematisatie IBRAHYM model.....	30
4.1.2	Vergelijking schematisatie IBRAHYM model met grondonderzoek - verticale weerstand	32
4.1.3	Vergelijking schematisatie IBRAHYM model met grondonderzoek - horizontale doorlatendheid	33
4.2	Actualisatie model ten behoeve uitvoeren berekeningen.....	34
4.2.1	Modeluitsnede	34
4.2.2	Aanpassing overlandflow / ponding depth bestand	35
4.3	Conclusie actualisatie grondwatermodel.....	36
4.4	Vergelijking modelresultaten geactualiseerd grondwatermodel met metingen.....	36



4.4.1	Hoogwatergolf van 1995	36
4.5	Conclusie actualisatie tot en met 2011	40
5	Opzet grondwatermodel - kalibratie hoogwatergolf 2017	41
5.1	Toelichting verlengen grondwatermodel.....	41
5.2	Aanpassen bestanden voor verlengen modelperiode	41
5.3	Modelprestatie verlengde model zonder kalibratie.....	42
5.3.1	Conclusie modelresultaat zonder kalibratie.....	44
5.4	Modelprestatie verlengde model met kalibratie	44
5.5	Conclusie	46
6	Modellering maatgevend hoogwater.....	47
6.1	Hoogwater situatie - net voor inzet van retentiebekken	47
6.2	Hoogwater situatie - zonder retentiebekken	50
6.3	Hoogwater situatie - met retentiebekken.....	51
7	Modellering maatgevend hoogwater met aangepast peil bij Koningssteendam	55
7.1	Hoogwater situatie -net voor inzet retentiebekken - aangepast peil	55
7.2	Hoogwater situatie - zonder retentie - aangepast peil	56
7.3	Hoogwater situatie - met retentie - aangepast peil	57
7.4	Effect peilaanpassing op kwelflux	59
8	Modellering beekomlegging.....	61
8.1	Kenmerken beek.....	61
8.2	Berekend effect beek in gemiddelde situatie	61
8.3	Berekend effect beek in hoogwatersituatie met retentiebekken.....	62
9	Conclusies en aanbevelingen	67
10	Referenties	71
	Bijlage I Locaties boringen waterschap Limburg.....	72
	BIJLAGE II gemeten en berekende grondwaterstanden voor hoogwater 1995.....	73
	BIJLAGE III gemeten en berekende grondwaterstanden voor hoogwater 2017.....	85
	BIJLAGE IV informatie beschikbare peilbuizen in en rondom modelgebied	91
	Bijlage V Kaarten net voor inzet bekken (paragraaf 6.1 en 7.1).....	95
	Bijlage VI Kaarten zonder bekken (paragraaf 6.2 en 7.2)	99
	Bijlage VII Kaarten met inzet bekken (paragraaf 6.3 en 7.3).....	103



1. Inleiding

1.1 Aanleiding

Nabij Thorn-Wessem wordt de haalbaarheid van een retentiebekken onderzocht. Het retentiebekken is één van de zogenaamde systeemwerkingsmaatregelen langs de Maas. Deze maatregelen dienen als compensatie voor de dijkverhogingen langs de Maas. De dijkverhogingen leiden namelijk tot hogere waterstanden in het rivierbed, doordat de dijken –in tegenstelling tot wat nu het geval is– in de toekomst niet meer kunnen overstromen. Door op meer plaatsen langs de Maas retentie toe te passen, of dijkverleggingen, worden deze hogere waterstanden weer beperkt of tenietgedaan.

Gelijktijdig loopt er een onderzoek naar mogelijkheden voor beekherstel van de Thornerbeek. In de huidige situatie loopt de Thornerbeek tussen Thorn en Wessem langs de waterkering en wordt het water afgevoerd naar de Maas.

Retentie én beekomlegging kunnen invloed hebben op de grondwaterstand en de effectiviteit van het retentiebekken.

1.2 Doel

Het doel van deze rapportage is om een geohydrologische analyse van de waterbalans en het omgevingseffect van het retentiebekken en de omleiding van de Thornerbeek (variant 3) te maken. Dat gebeurt aan de hand van de volgende vragen:

- Hoeveel kwel stroomt er naar het retentiebekken en welke invloed heeft dit op de beschikbare bergingsruimte op het moment dat het retentiebekken zou worden ingezet?
- Welk effect heeft een gevuld retentiebekken op de grondwaterstanden in de omgeving en in welke mate kan wateroverlast verwacht worden?
- Welk effect heeft het verleggen van de Thornerbeek? Zowel voor de huidige situatie (zonder retentiebekken) in relatie tot de aanwezige landbouw en natuur, als op de situatie vlak voor inzet van het retentiebekken en tijdens inzet van het retentiebekken.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de randvoorwaarden en uitgangspunten. In hoofdstuk 3 is een systeemanalyse gegeven. In hoofdstuk 4 en 5 wordt het grondwatermodel beschreven waarmee de effectberekeningen zijn uitgevoerd. In hoofdstuk 6 zijn de berekeningen en resultaten beschreven die zijn uitgevoerd voor beantwoording van de twee deelvragen over het retentiebekken. In hoofdstuk 7 is het resultaat van de peilaanpassing ten zuiden van de Koningssteendam weergegeven. In hoofdstuk 8 zijn de berekeningen en resultaten beschreven voor



de omleiding van de Thornerbeek. Tot slot zijn in hoofdstuk 9 de conclusies en aanbevelingen opgenomen.



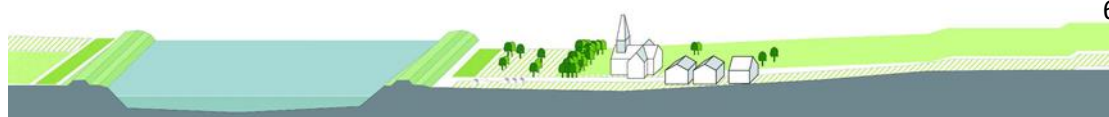
2 Randvoorwaarden en uitgangspunten

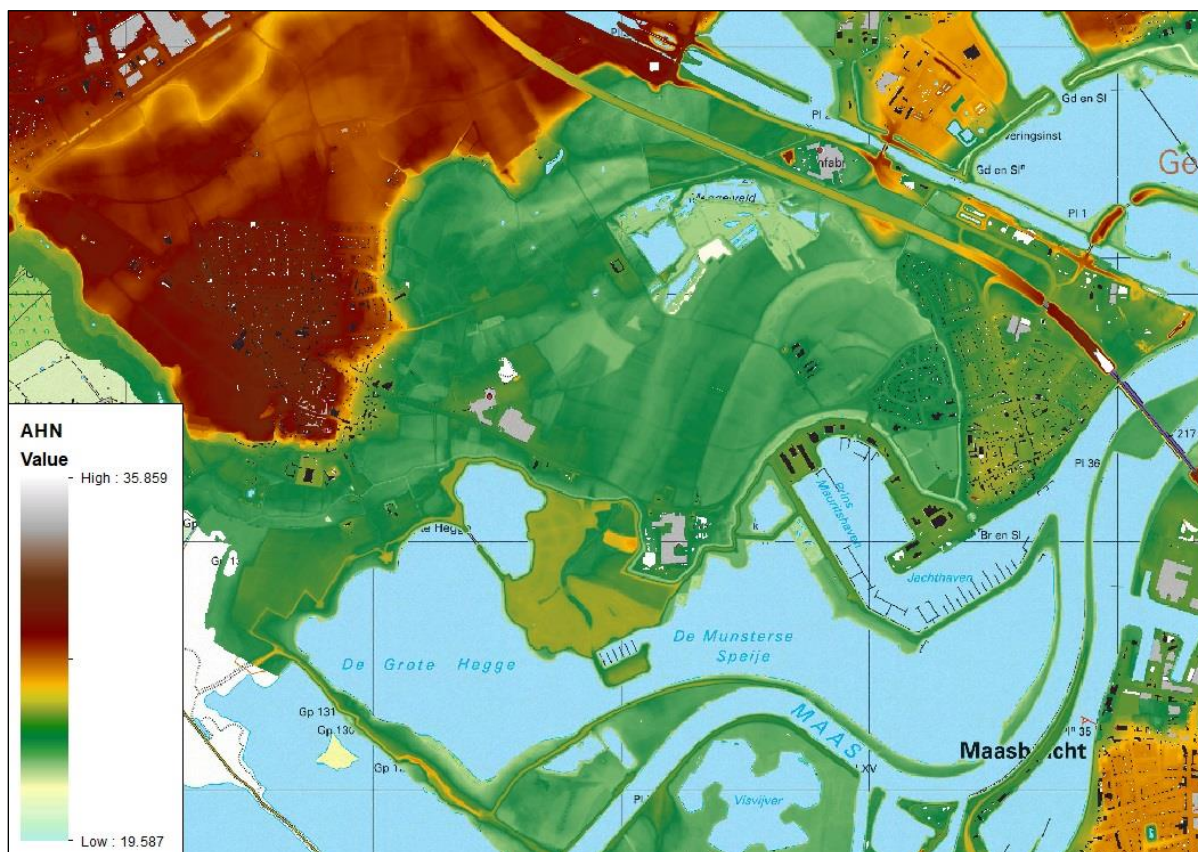
2.1 Locatie

Figuur 2-1 geeft een overzicht van de locatie. Binnen het plangebied vormen Thorn en Wessem de belangrijkste woonkernen. Tussen de kernen is een laag gelegen gebied (zie Figuur 2-2) waar het retentiebekken eventueel kan worden aangelegd. Het retentiegebied wordt aan de zuidzijde begrensd door de Maas, aan de noordoostzijde door de hoge grond en de A2. Aan de west en oostzijde zijn nieuwe dijken beoogd, die het achterliggende woongebied in Thorn en Wessem zullen beschermen als het retentiegebied is gevuld met water.



Figuur 2-1: Locatie van het retentiebekken Thorn-Wessem en de dijktrajecten



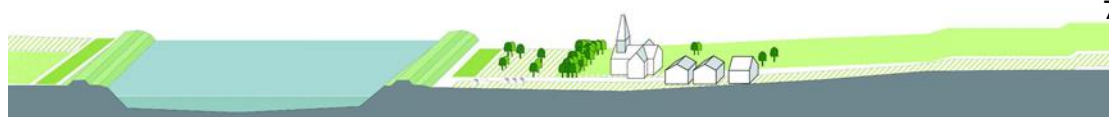


Figuur 2-2: Hoogtekaart in m NAP.

2.2 Bodemopbouw

De bodemopbouw is voornamelijk bepaald aan de hand van grondboringen. Figuur 2-3 geeft de locaties van de gebruikte grondboringen op kaart weer. De bodemopbouw is geanalyseerd met behulp van de volgende bronnen:

- Memo grondonderzoek (Waterschap Limburg 2017a) beschrijft de bodemopbouw voor secties van het dijktraject met behulp van het beschikbare grondonderzoek, waaronder grondboringen en voorgaande studies Regis II v2.1 vanuit Dinoloket;
- Vanuit Dinoloket zijn 273 boormonsterprofielen van geologisch booronderzoek uit de omgeving van Thorn-Wessem gedownload. Doorsneden van de bodemopbouw zijn in Figuur 2-4 tot en met Figuur 2-8 opgenomen;
- Aanvullende boringen van het Waterschap Limburg. Eind augustus 2017 zijn er aanvullend 18 handboringen en 2 mechanische boringen uitgevoerd. De boringen zijn uitgevoerd in 2 raaien, één ten zuiden van de Hagenbroekerweg en de Segershof die tussen Wessem en de plassen liggen en één raai ten oosten van de Hagenbroekerweg.





Figuur 2-3: Locatie boringen Dinoloket en Waterschap Limburg. Boringen Dinoloket zijn ingedeeld in categorieën voor de ligging die verwijzen naar de boringen in Figuur 2-4 tot en met Figuur 2-8; locaties boringen Waterschap Limburg staan op kaart in bijlage I.

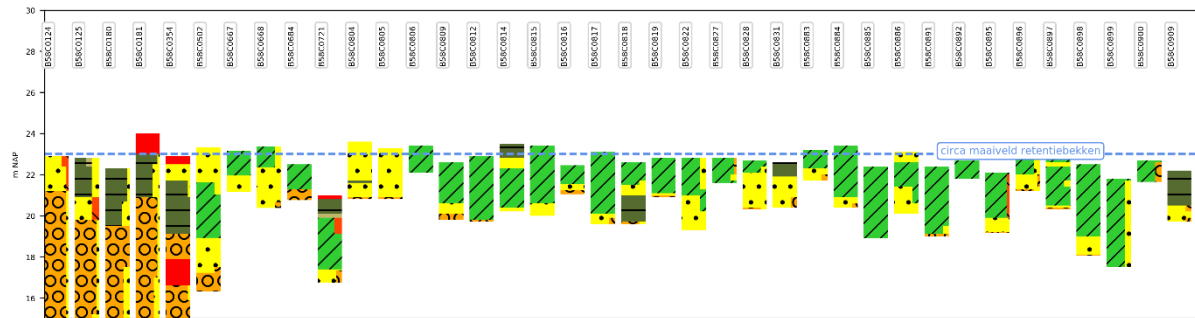
Retentiegebied

Voor het retentiegebied (zie Figuur 2-4) geven de boringen uit Dinoloket weer dat de deklaag van klei een diepte heeft van ongeveer 1 tot 2 meter onder maaiveld. Daaronder begint het 1^e watervoerende pakket dat bestaat uit grind afwisselend met zand. De aanvullende boringen bevestigen dit beeld. De deklaag reikt tot tussen de 0,7 en 3,6 m onder maaiveld (gemiddeld 2,0 m), waarna of zand of grind werd aangetroffen. Bij het bereiken van de grindlaag zijn de handboringen gestaakt bij en dat gebeurde tussen de 0,80 en 3,6 meter (gemiddeld 2,4 m) .

De onderzijde en dikte van het 1^e watervoerend pakket volgen uit de gegevens van Regis II v2.2, namelijk dat de dikte van deze grind- en zandlagen tot dieper dan NAP -60 m reiken. Vanaf NAP -70 m. tot circa NAP -250 m. ligt een Kiezeloöliet formatie met een stromingsweerstand van 1.000 tot 10.000 dagen.

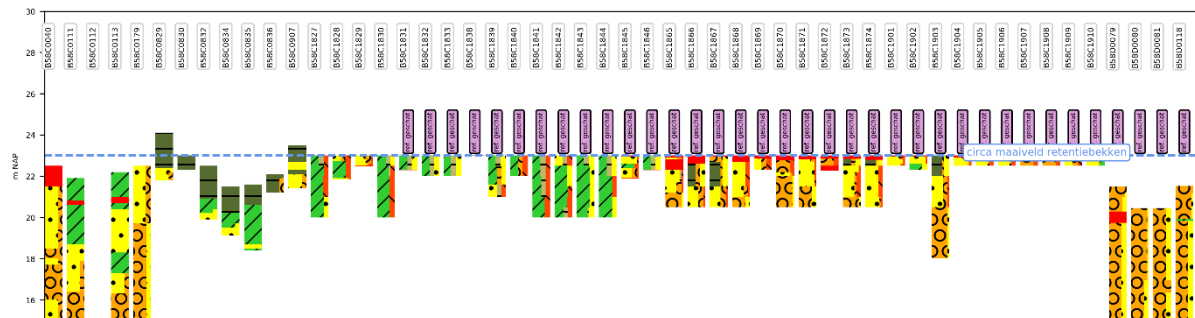


HWBP Noordelijke Maasvallei



Figuur 2-4: Boringen Dinoloket in zone 'retentiebekken en west'

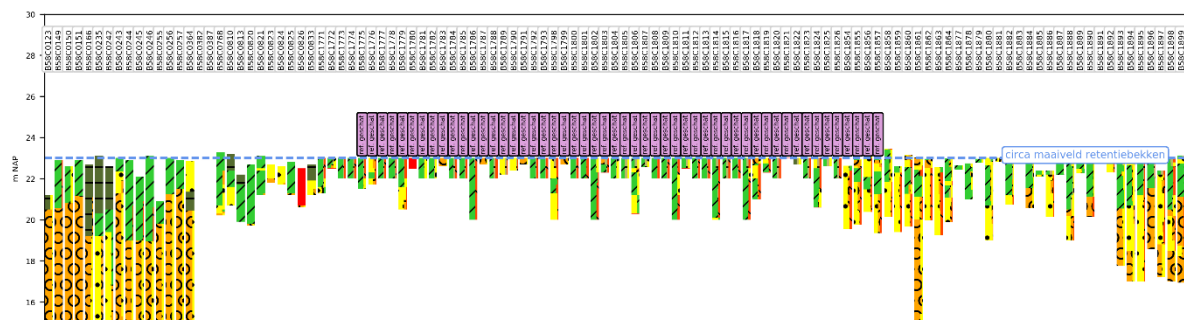
Voor het gebied Wessem zijn de dinoloket boringen weergegeven in Figuur 2-5. Uit deze gegevens volgt dat de boringen verder van de Maas (linkerzijde Figuur 2-5) vergelijkbaar zijn met de gegevens van het retentiebekken, namelijk een deklaag van 1,0 tot 3,0 m dik en daaronder grind en zand. Dichter bij de Maas en meer in de woonkern van Wessem is de deklaag niet meer aanwezig. Deze boringen (rechterzijde Figuur 2-5) liggen allen zeer dicht op elkaar.



Figuur 2-5: Boringen Dinoloket in zone 'Wessem'

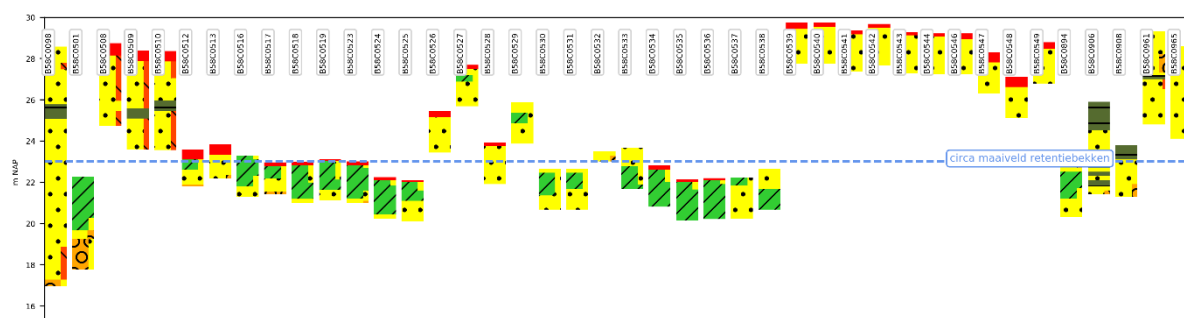
Uit de boringen van Dinoloket (zie Figuur 2-6) en de memo 'Interpretatie grondonderzoek Thorn-Wessem' volgt dat de bodemopbouw in de zone bij de dijk vergelijkbaar is met die bij het retentiebekken. De deklaag varieert hier tussen de 0,5 en 4 m dikte.





Figuur 2-6: Boringen Dinoloket in zone 'dijk'

De bodemopbouw bij de snelweg (weergegeven in Figuur 2-7) is gedeeltelijk gelijk aan de bodemopbouw bij het retentiebekken. Bij de boringen in de lagere delen is een deklaag aanwezig tussen de 1,0 en 2,0 m dikte en daaronder het watervoerend pakket van grind en afwisselend zand. De boringen in de hogere delen geven weer dat er daar geen deklaag aanwezig is en dat het watervoerend pakket bijna tot het maaiveld komt. Deze boringen zijn gemaakt op het kunstmatig verhoogde gedeelte van de snelweg, waardoor deze boringen de aangebrachte laag zand tonen waarop de snelweg is aangelegd. Deze boringen zijn voor de grondwatermodellering niet relevant.



Figuur 2-7: Boringen Dinoloket in zone 'Snelweg'

De boringen in de zone hoge grond tonen dat er vrijwel geen deklaag aanwezig is (zie Figuur 2-8). De ondiepere boringen zijn gemiddeld circa 4,0 m diep en de lagen bestaan vrijwel geheel uit zand met een enkele laag leem. Bij de diepere boringen wordt grind aangetroffen op een hoogte van 18,0 tot 21,0 m NAP.



2.3 Grondwaterstand

Legenda

- Peilbuizen Dinoloket
- Peilbuizen Waterschap Limburg
- Peilbuizen IBM

AHN2
m NAP
High : 53,359
Low : 9,003

0 250 500 750 1000

2.3.1 Dinoloket

Vanuit Dinoloket zijn de meetgegevens van 10 peilbuizen verkregen (zie Figuur 2-9). In Tabel 1 zijn de peilbuizen weergegeven met filternummers, maaiveld hoogte, filterhoogte en opmerking. De filters 2 en 3 van peilbuis B58C0366 liggen op meer dan 140 m onder maaiveld. Hierdoor liggen ze in de Kiezeloöliet formatie. Deze diepte maakt ze niet relevant voor deze studie waarin een korte termijn gebeurtenis wordt onderzocht.

De peilbuizen B58C0721, B58C0684, B58C0671, B58C0670, B58C0669, B58C0668 en B58C0667 hebben een beperkt aantal metingen tussen 1952 en 1995. Hierdoor is het niet mogelijk GxG's te bepalen voor deze peilbuizen.

Voor de verdere analyse zijn daarom de peilbuizen B58C0366-1, B58C0364 en B58C0104 het meest relevant.

Tabel 1: Peilbuis eigenschappen van de peilbuizen uit Dinoloket.

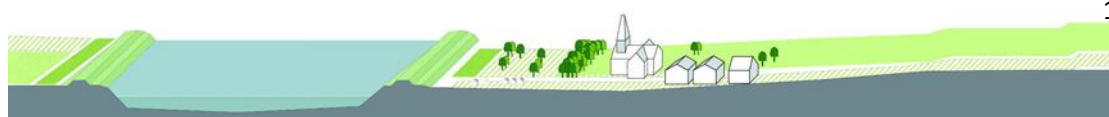
Peilbuis	Filter-nummer	Maaiveld (m NAP)	Filterhoogte (m NAP)	opmerking
B58C0721	1	21.00	18.07	Beperkt aantal metingen (47 metingen)
B58C0684	1	22.50	21.18	Beperkt aantal metingen (121 metingen in 21 jaar)
B58C0671	1	22.54	20.04	Beperkt aantal metingen (22 metingen)
B58C0670	1	22.38	20.83	Beperkt aantal metingen (5 metingen)
B58C0669	1	22.46	20.20	Beperkt aantal metingen (32 metingen)
B58C0668	1	23.37	21.81	Beperkt aantal metingen (124 metingen in 30 jaar)
B58C0667	1	23.15		Beperkt aantal metingen (36 metingen)
B58C0366	3	23.27	-190.90	Filter te diep, niet relevant voor studie
B58C0366	2	23.27	-123.80	Filter te diep, niet relevant voor studie
B58C0366	1	23.27	5.27	Meetreeks sinds 13/06/1996
B58C0364	1	22.85	16.80	Meetreeks sinds 13/09/1995
B58C0104	1	28.65	6.21	Meetreeks sinds 30/07/1965, gelegen op de hoge zandgrond

Tabel 2: GLG, GVG en GHG van de peilbuizen van Dinoloket.

Peilbuis	Filter nummer	GLG (m NAP)	GVG (m NAP)	GHG (m NAP)
B58C0366	1	20.78	21.00	21.28
B58C0364	1	20.86	20.94	21.05
B58C0104	1	23.08	23.56	23.64

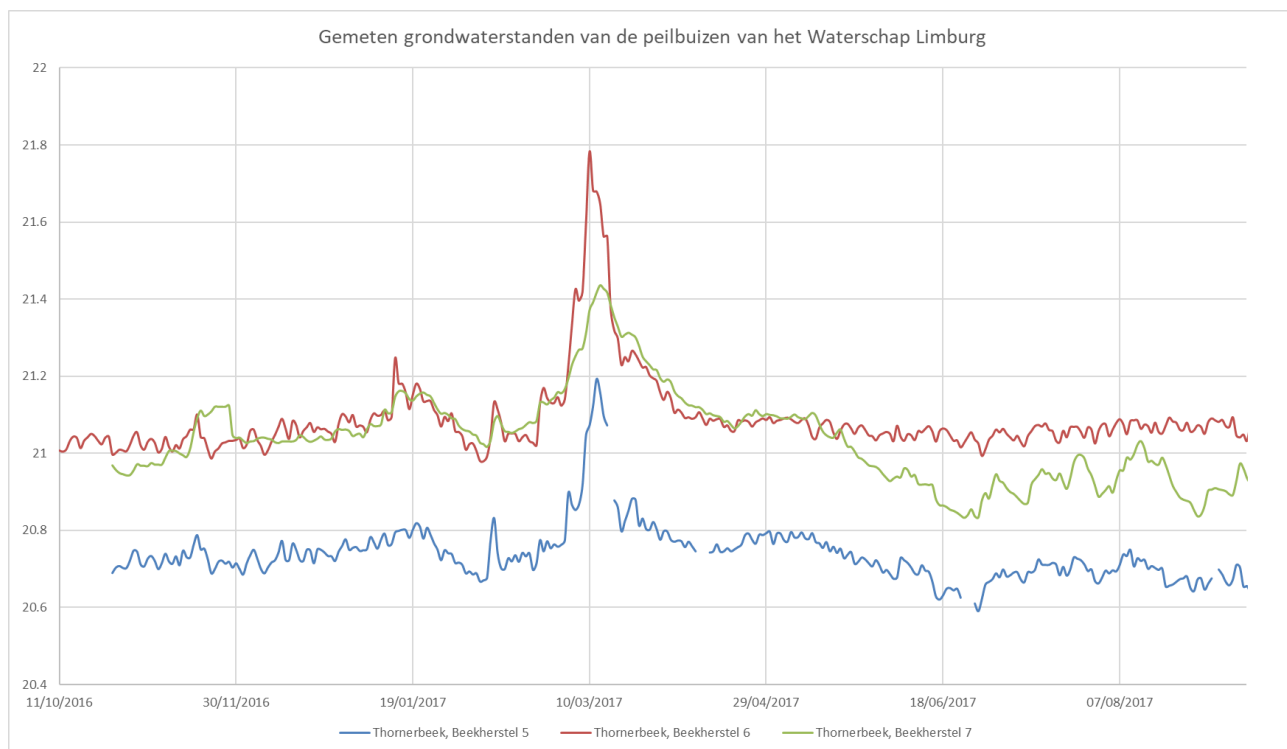
2.3.2 Meetnet Waterschap Limburg

Waterschap Limburg heeft drie eigen peilbuizen met dagelijkse metingen van 11 oktober 2016 tot 13 september 2017. Deze reeksen zijn niet lang genoeg voor de bepaling van een GHG en GLG, daarom zijn ter informatie de laagste, de gemiddelde en de hoogste grondwaterstand weergegeven in Tabel 3. In Figuur 2-10 zijn de grondwaterstanden in de tijd weergegeven.



Tabel 3: Laagste, gemiddelde en hoogste grondwaterstanden van de metingen bij de peilbuizen van Waterschap Limburg.

Peilbuis		Laagste	Gemiddelde	Hoogste
Thornerbeek, Beekherstel 5		20.59	20.74	21.19
Thornerbeek, Beekherstel 6		20.98	21.09	21.78
Thornerbeek, Beekherstel 7		20.83	21.04	21.44



Figuur 2-10: Gemeten grondwaterstanden in de 3 peilbuizen van Waterschap Limburg.

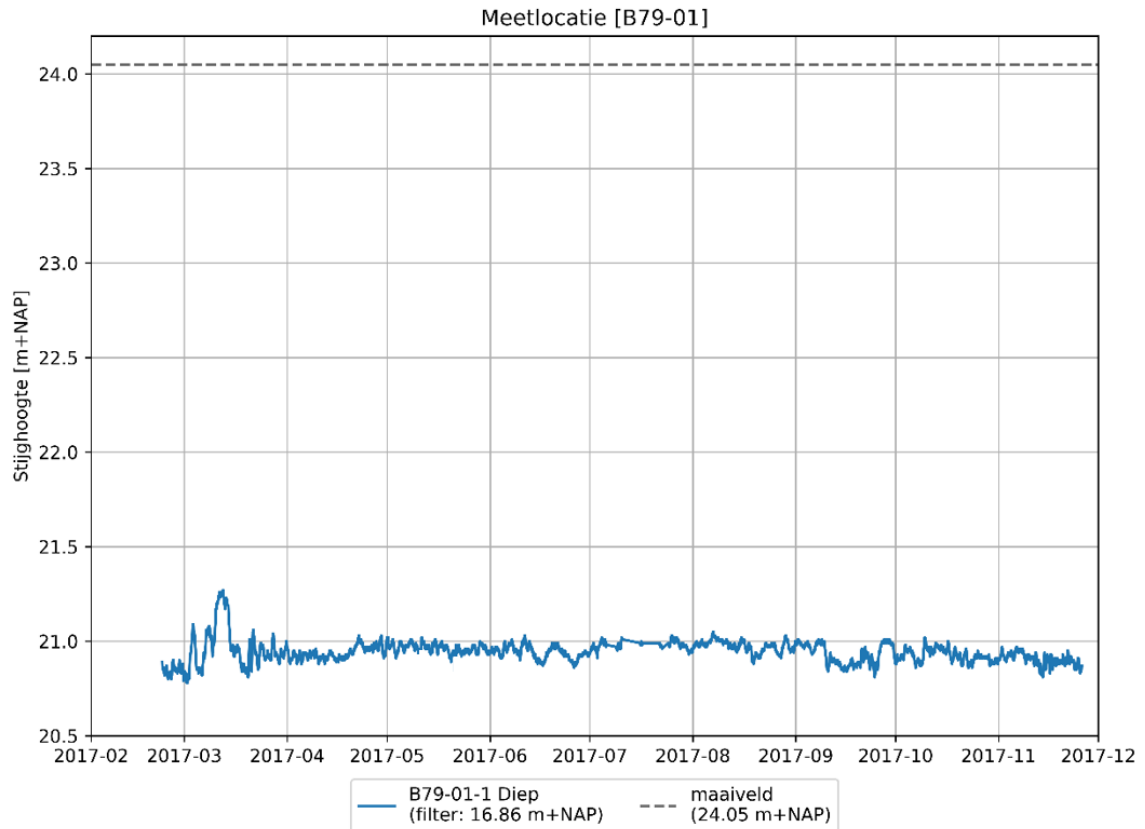
2.3.3 Meetnet IBM

Waterschap Limburg heeft een geohydrologisch meetnet ingericht. Voor deze locatie Thorn-Wessem wordt dit meetnet in twee fases gerealiseerd:

- 4 peilbuizen nemen sinds mei 2017 de grondwaterstand weer in Wessem. De waarnemingen zijn hieronder weergegeven en de locaties zijn weergegeven in Figuur 2-9.
- in het retentiebekken zijn in september 2017 twee aanvullende peilbuizen geplaatst, de waarnemingen zijn opgestart en worden aan de rapportage toegevoegd als deze digitaal beschikbaar zijn in de database van het waterschap.



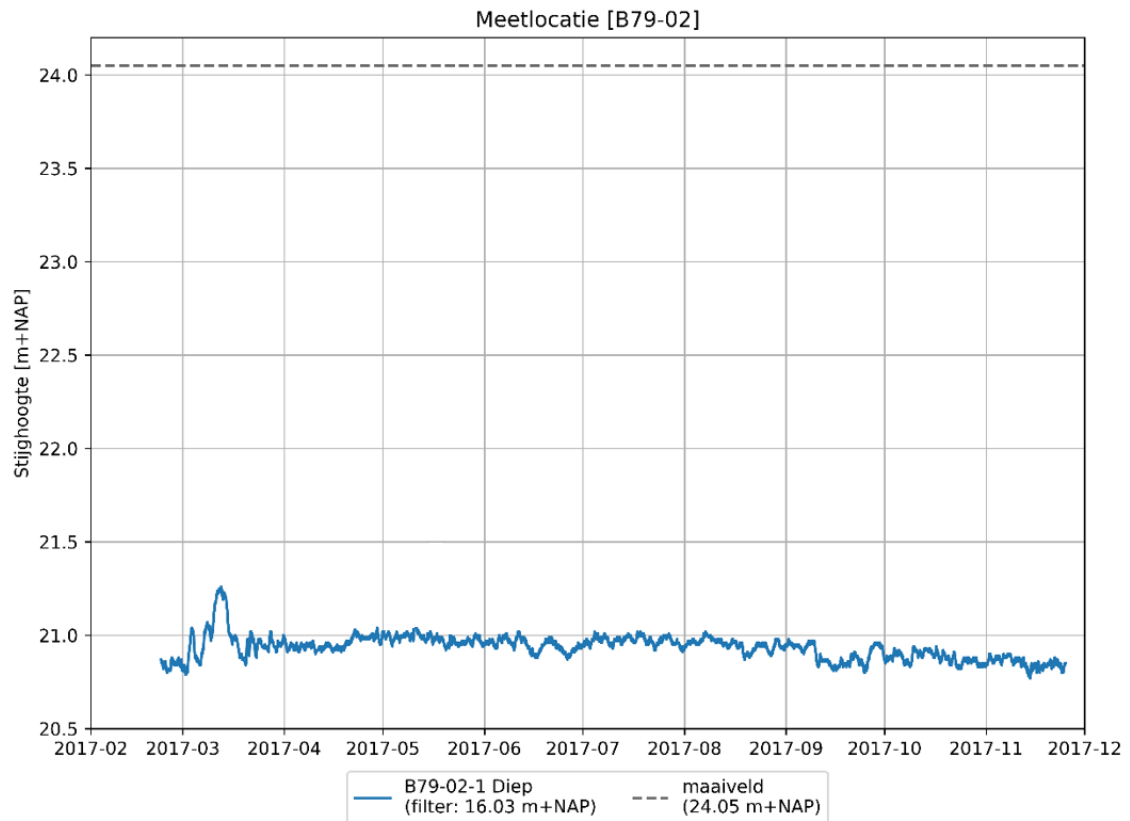
HWBP Noordelijke Maasvallei



Figuur 2-11: Gemeten grondwaterstanden bij peilbuis B79-01 van meetnet Waterschap Limburg.

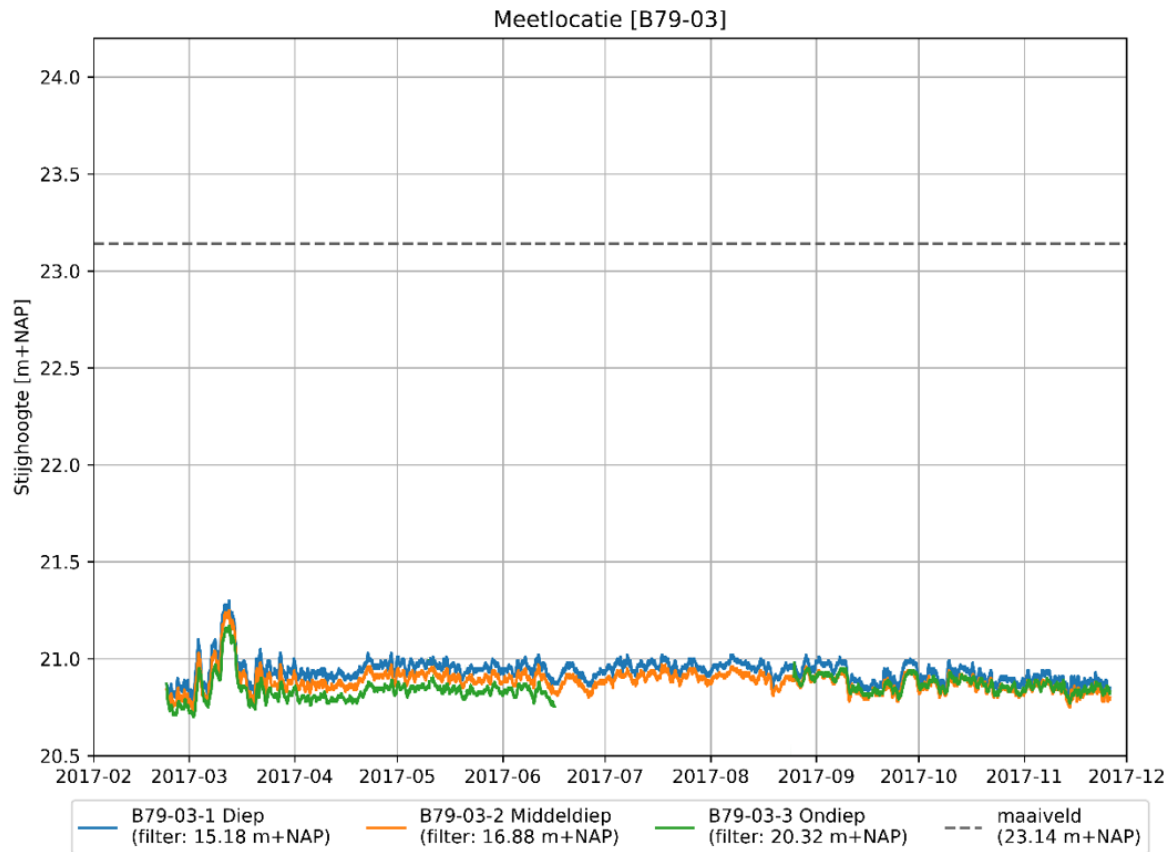


HWBP Noordelijke Maasvallei



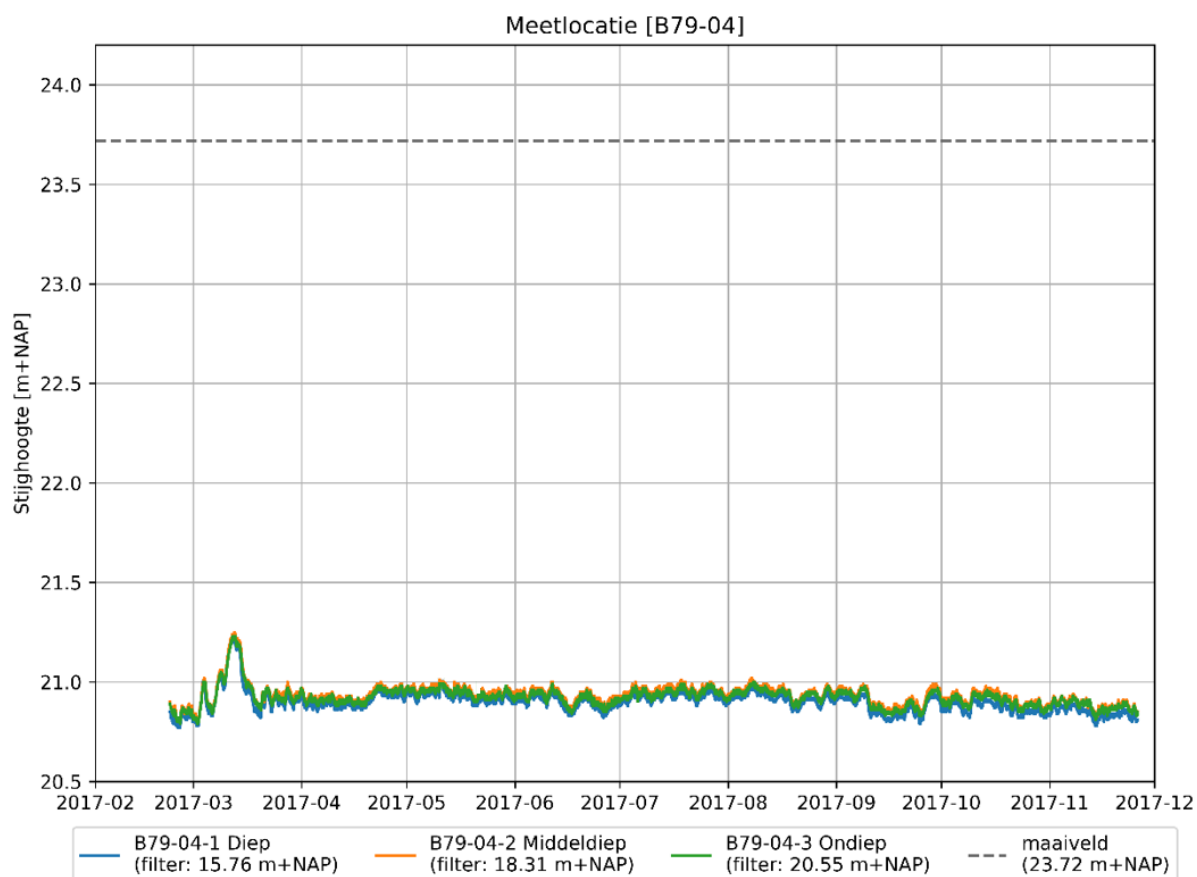
Figuur 2-12: Gemeten grondwaterstanden bij peilbuis B79-02 van meetnet Waterschap Limburg.





Figuur 2-13: Gemeten grondwaterstanden bij peilbuis B79-03 van meetnet Waterschap Limburg.





Figuur 2-14: Gemeten grondwaterstanden bij peilbuis B79-04 van meetnet Waterschap Limburg.

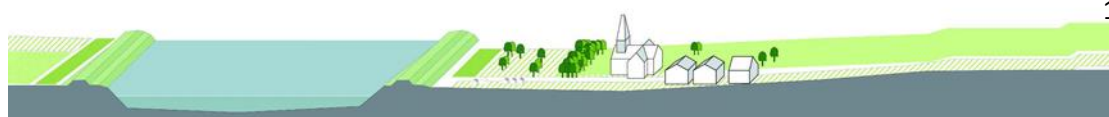
2.4 Maas

De Maas is een regen gestuurde rivier waarvan het stroomgebied in Noord-Frankrijk, België, Duitsland en Nederland ligt. De Maas stroomt bij Eijsden Nederland binnen en stroomt vanaf hier 250 km door Nederland, en uiteindelijk via de Zuid-Hollandse Rijn-Maasmonding naar de Noordzee.

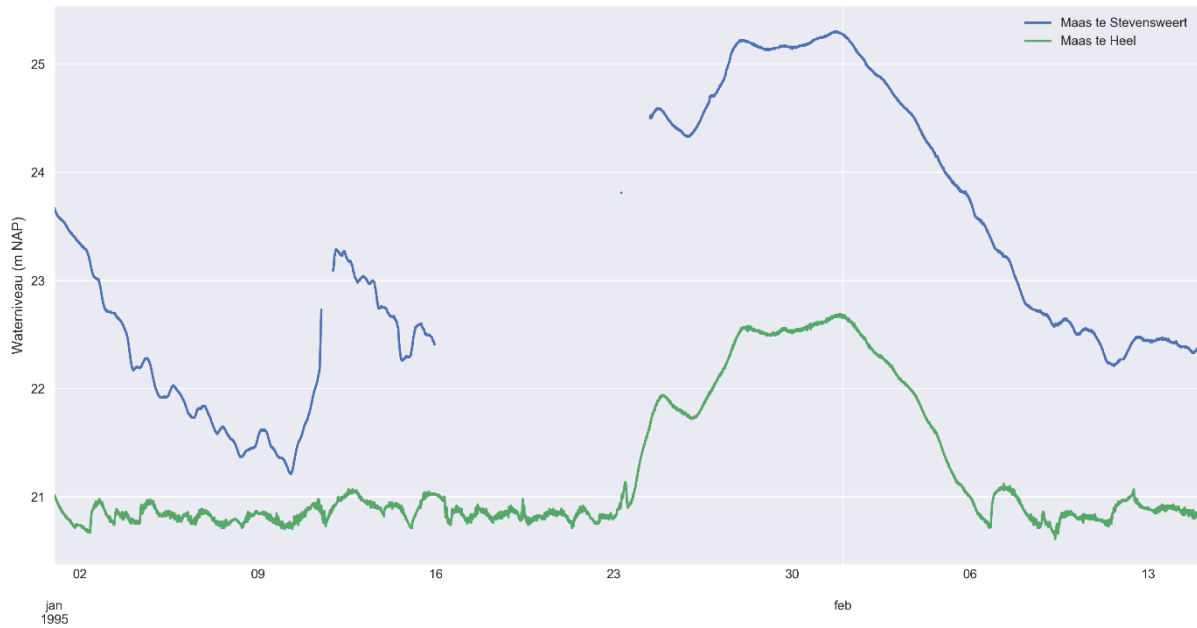
2.4.1 Historisch hoogwater

De laatste extreme hoogwatersituatie in de Maas is voorgekomen in de winter van 1995. Voorafgaand aan dit hoogwater heeft het in het stroomgebied voor een lange periode gestaag geregend met soms hevige regen. In de periode voorafgaand aan de piekwaterstanden had het in een maand 350 mm geregend, het dubbele van een normale wintermaand. De neerslag in die periode viel in Hoog-België tevens op een half bevroren grond, wat leidde tot snelle afvoer en afvoer van de smeltende sneeuw.

De waterstanden bij Heel voor de periode 16 januari tot 15 februari 1995 zijn weergegeven in Figuur 2-15. Vanaf 23 januari begon het water te stijgen en op 24 januari steeg het water boven de NAP +21,5 m uit. 27 januari 's avonds steeg het water boven de NAP +22,5 m uit en bleef het bijna 5 dagen zo hoog met een

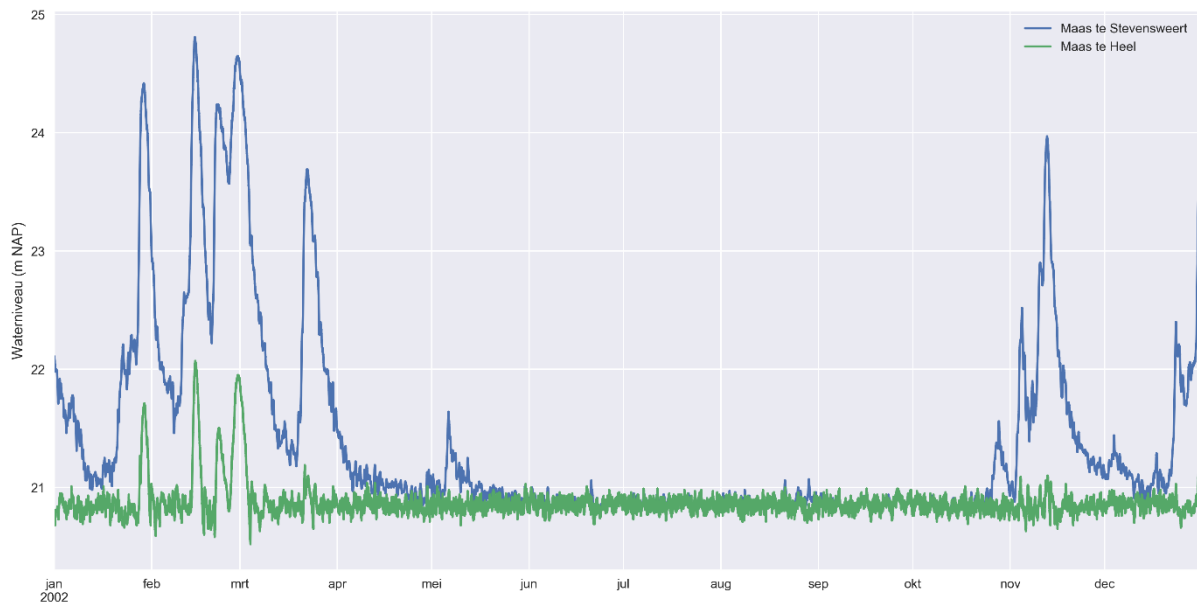


piekwaterstand van NAP +22,69 m. Daarna zakte het peil waarna op 6 februari het gemiddelde Maaspeil werd bereikt.

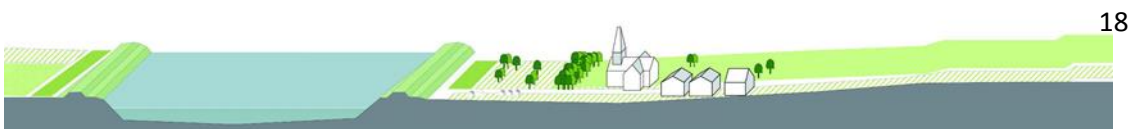


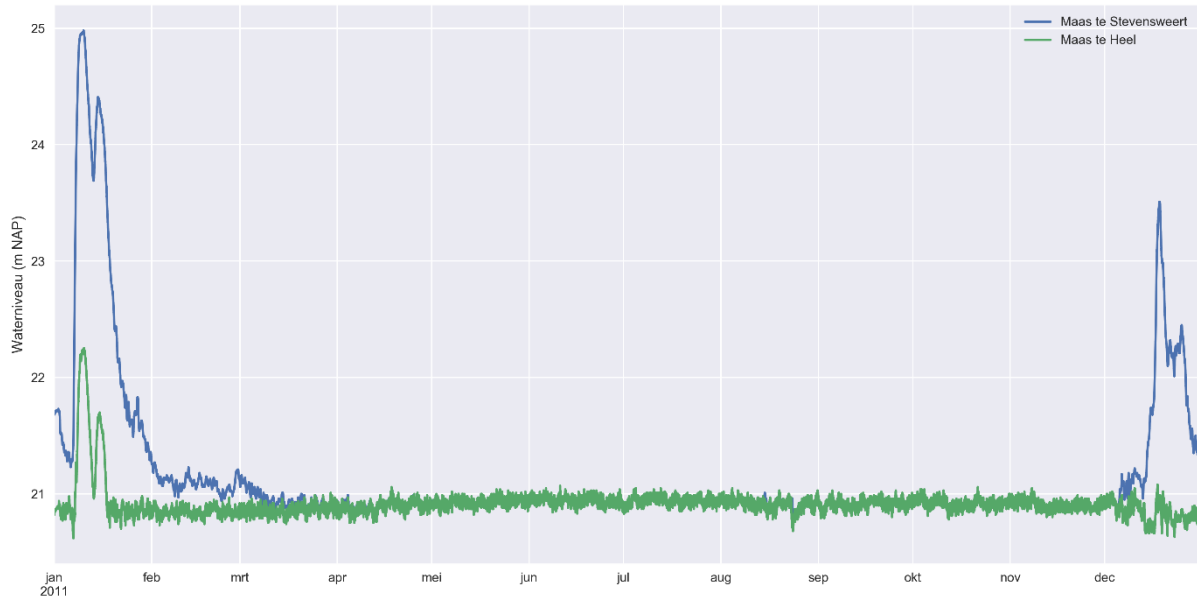
Figuur 2-15: Gemeten waterstanden in de Maas bij Stevensweert en Heel van 16 januari tot 15 februari 1995.

Andere extreme recente hoogwater perioden hebben zich in 2002 en 2011 voorgedaan, zie de volgende grafieken.



Figuur 2-16: Gemeten waterstanden in de Maas bij Stevensweert en Heel in 2002

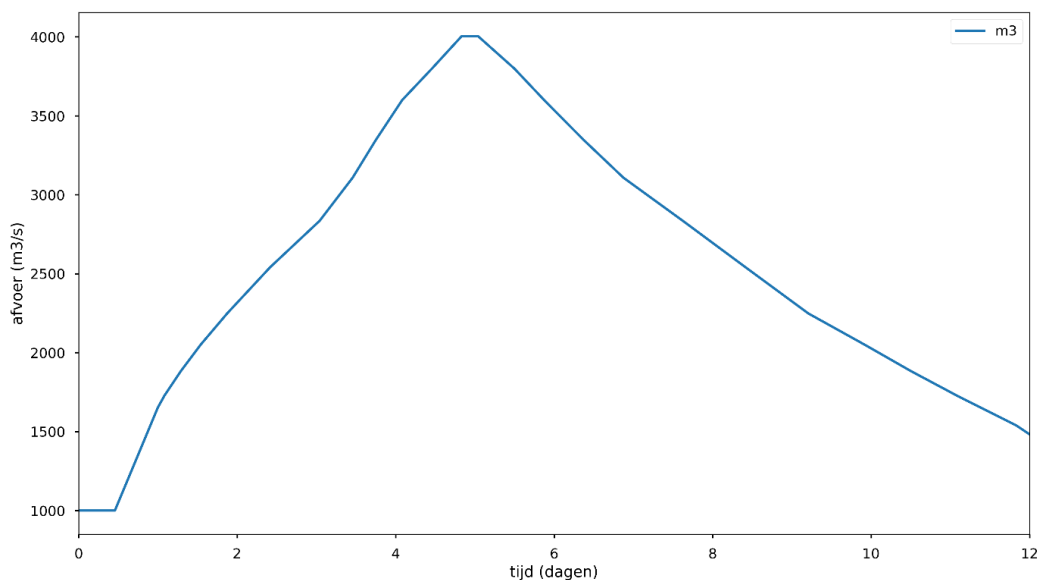




Figuur 2-17: Gemeten waterstanden in de Maas bij Stevensweert en Heel in 2011

2.4.2 Maatgevend hoogwater

Voor de rivierkundige berekeningen (Waterschap Limburg 2017b), waarmee de inzet van het retentiebekken en de waterstanden bij Thorn-Wessem zijn berekend, wordt gerekend met afvoergolven met piekwaarden van $3.612 \text{ m}^3/\text{s}$ en $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$ die ongeveer passen bij een herhalingstijd van T300 en T2000 in het zichtjaar 2015. De afvoergolf bij $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$ is weergegeven in Figuur 2-18.



Figuur 2-18: Afvoergolf bij $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$.



Voor het zichtjaar 2015 zijn de maximale waterstanden in de Maas ter hoogte van Wessem NAP +24,16 m en NAP +24,38 m voor respectievelijk de T300 en T2000 herhalingstijden in de referentiesituatie. Bij Wessem worden deze piekwaterstanden waterstanden 0,5 tot 3,9 cm verlaagd afhankelijk van de inzet van het retentiebekken.

2.5 Binnendijks watersysteem

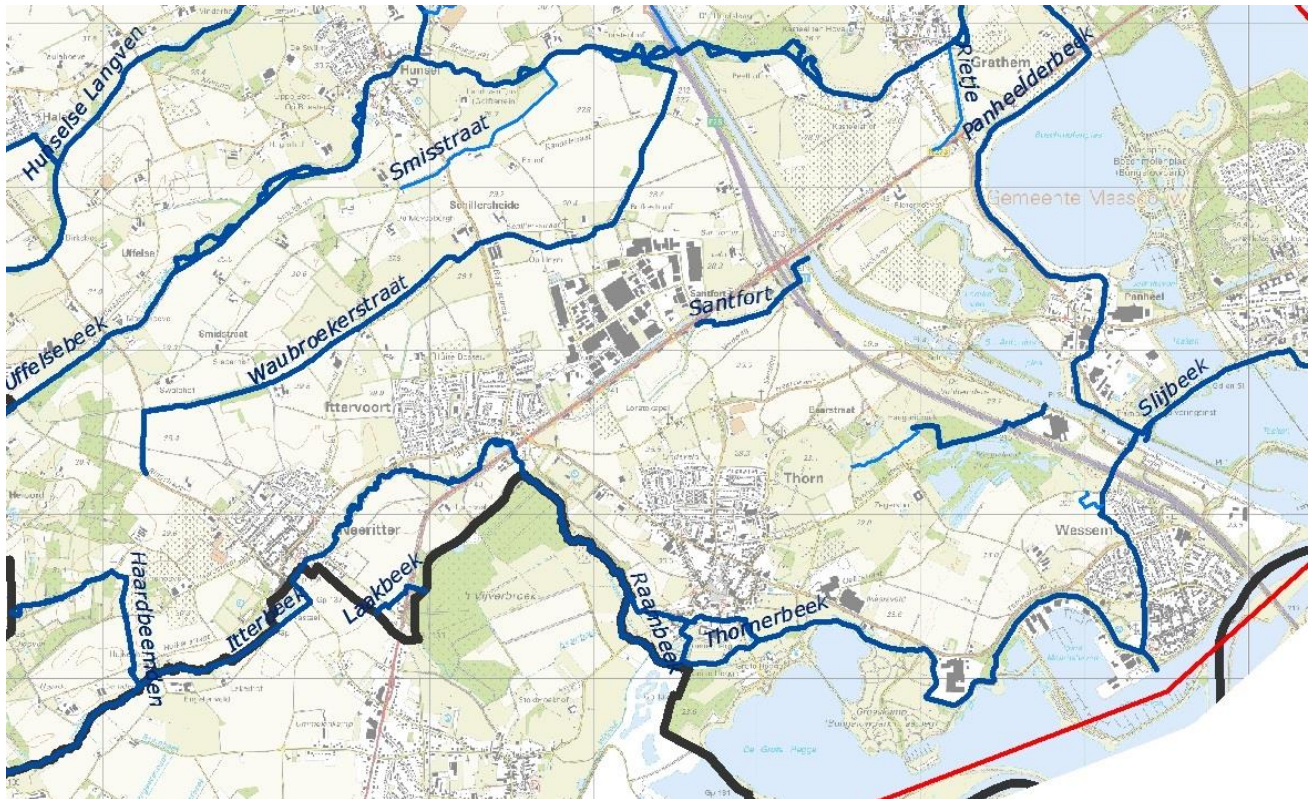
Het binnendijks watersysteem bestaat uit enkele watergangen die voornamelijk in noordoostelijke richting afwateren en het Kanaal Wessem-Nederweert.

Voor deze studie zijn de Thornerbeek en de Panheelderbeek van belang. De Thornerbeek ontstaat ten zuiden van Thorn, door de samenkomst van de Itterbeek en de Witbeek. De beek stroomt binnendijks langs de dijk naar Wessem. Onder normale omstandigheden watert de Thornerbeek af in de Maas, maar bij hoogwater in de Maas wordt de beekmonding bij Wessem dichtgezet en wordt het water uit de beek met noodpompen naar de Maas gepompt. In dergelijke situaties kan het water van de Thornerbeek ook deels worden omgeleid naar het noorden via de Panheelderbeek en de sifon onder het kanaal Wessem-Nederweert naar de Slijbeek (zie Figuur 2-20). De Slijbeek loost op het Lateraalkanaal, tenzij het bestaande retentiebekken Lateraalkanaal-West in gebruik is, dan wordt het water van de Slijbeek met noodpompen naar dit bestaande retentiebekken gepompt. De Panheelderbeek begint bij Grathem en stroomt in zuidelijke richting om samen met de Thornerbeek uit te monden in de Maas bij Wessem. Bij hoogwater in de Maas wordt het water uit de beek met noodpompen bij Panheel naar het Tesken gepompt. Eventueel dan nog overtollig water wordt via de Slijbeek afgevoerd.

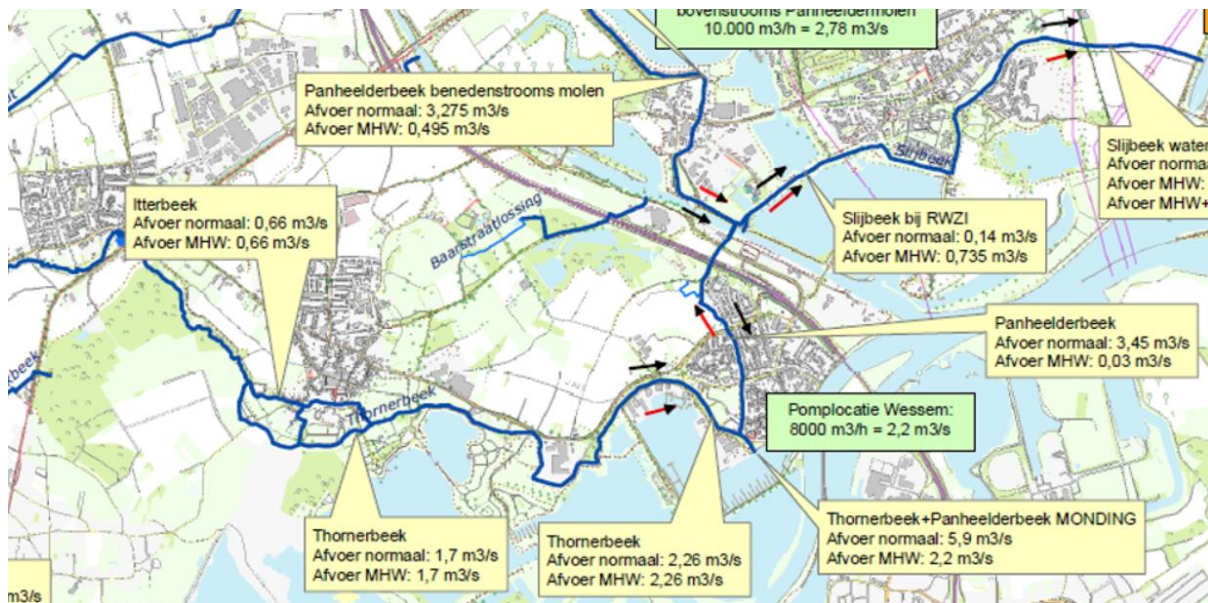
Aan de noordkant van natuurgebied het Meggelveld ligt de Baarstraatlossing, dit is een kleinere watergang, die uitmondt in het kanaal Wessem-Nederweert.

Het Kanaal Wessem-Nederweert is opgenomen in het regionale grondwatermodel IBRAHYM. In dat model is de intredeweerstand van het kanaal meegenomen in de kalibratie.





Figuur 2-19: De blauwe lijnen geven de binnendijkse watergangen weer.



Figuur 2-20: Normale en maatgevende hoogwater afvoeren en stroomrichtingen van de binnendijkse watergangen (zwarte pijlen bij normale afvoer en rode pijlen bij maatgevend hoogwater afvoer); bron: Streefbeeld beken rondom Thorn, Ittervoort & Gratem, Arcadis 2017.



Te beschouwen waterpeil in deze studie

Conform het beleid van en in overleg met Waterschap Limburg wordt in deze studie alleen hoogwater op de Maas beschouwd met een gemiddeld peil in het binnendijkse watersysteem. Een combinatie met een hoog peil in het binnendijkse watersysteem is niet relevant omdat:

- Beide watersystemen (Maas en het binnendijkse watersysteem) zijn regenwater gevoed, maar de respons tijd (tijd die er tussen neerslag en piekafvoer zit) verschilt sterk. Bij de Maas ontstaat de meeste afvoer in de Belgische Ardennen en duurt het enkele dagen voordat dit tot piekafvoeren in Nederland leidt. Het binnendijkse watersysteem reageert sneller, meestal binnen een aantal uren.
- Waterschap Limburg kan in een situatie met hoge regionale afvoer maatregelen nemen om de afvoer naar de Maas te behouden. Dit zijn de hiervoor beschreven inzet van noodpompen en eventuele afvoer via de Slijbeek.

2.6 Beekherstel Thornerbeek

De mogelijkheden voor het beekherstel van de Thornerbeek zijn onderzocht (Waterschap Limburg 2017c). In de huidige situatie loopt de Thornerbeek tussen Thorn en Wessem langs de waterkering en wordt het water afgevoerd naar de Maas. Bij hoogwater in de Maas wordt eenemaal met een capaciteit van 2,2 m³/s ingezet.

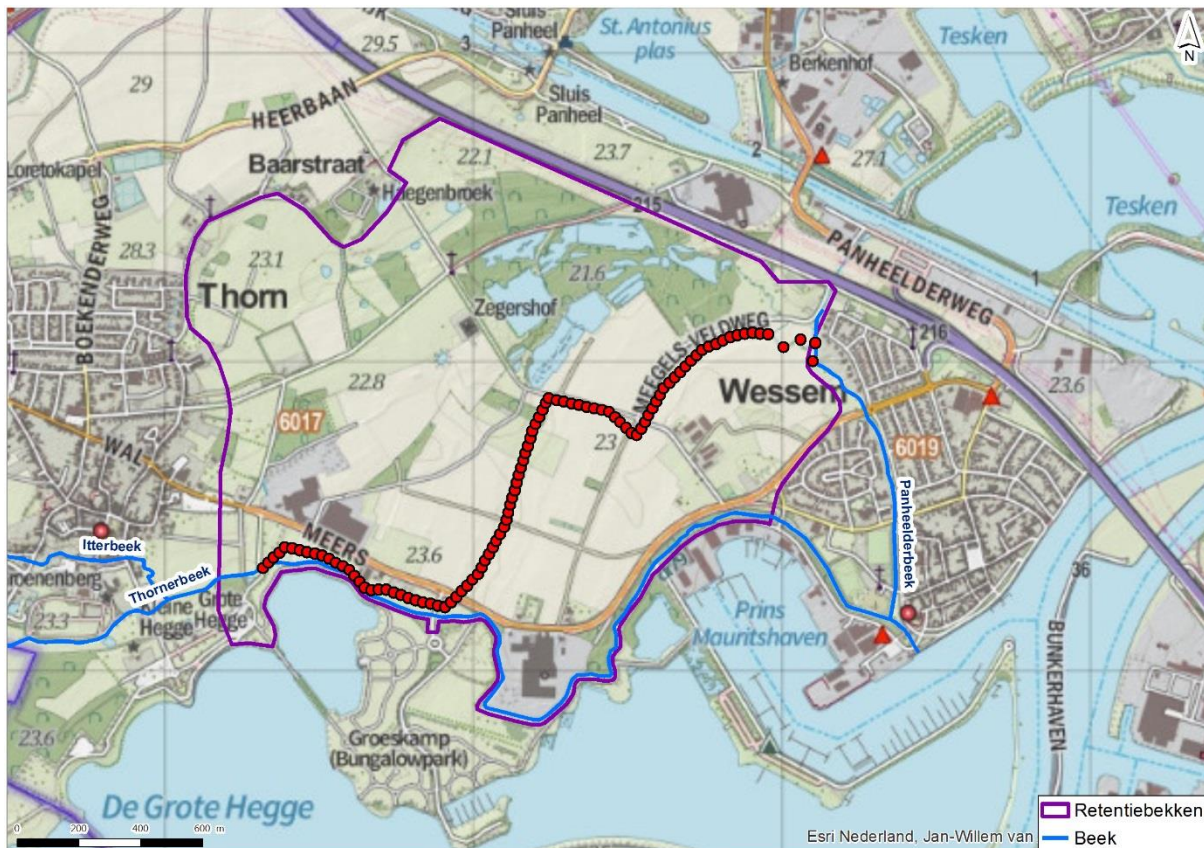
In het beekherstel onderzoek worden varianten onderzocht, waarvan variant 3 invloed kan hebben op de inzetbaarheid van het retentiebekken. In variant 3 wordt de Thornerbeek omgeleid door de lagere delen van het retentiebekken en komt samen met de Panheelderbeek nabij het Meggelveld (zie Figuur 2-21).

Variant 3 kan betekenen dat:

- bij hoogwater in de Maas kwel in het retentiegebied via de omgeleide beek kan worden afgevoerd terug naar de Maas;
- door de ontgraving van het nieuwe tracé de deklaag (deels) wordt doorsneden wat een extra kwelbelasting geeft in het retentiegebied;
- het retentiegebied na inzet via de omgeleide beek makkelijker kan worden leegstromen naar de Maas.

Omdat er nog geen besluit is genomen over de aan te brengen varianten worden alle berekeningen uitgevoerd met en zonder variant 3 voor beekherstel. Daarbij is de huidige ligging van de Thornerbeek behouden, omdat verwacht wordt dat de huidige ligging een ontwaterende functie blijft behouden.





Figuur 2-21: Voorgestelde beekloop voor beekherstel Thornerbeek bij variant 3

2.7 Inzet bekken

Tabel 4 en Figuur 2-22 vatten Waterschap Limburg (2017b) samen. In de memo zijn de inzet van het retentiebekken en de effecten die deze inzet heeft op de rivierkundige effecten beschreven. Er zijn voor deze memo een referentiesituatie en 3 varianten doorgerekend. In deze geohydrologische studie wordt voor het retentiebekken een inzetpeil van NAP +24,10 m gehanteerd, omdat dit het maximale peil is dat volgt uit de analyse.



Tabel 4: Beschrijving van de varianten van de rivierkundige berekeningen.

Variant	Aanpassingen geometrie	inzet niveau retentiebekken (m NAP)
Referentie-situatie	De huidige kering is zodanig versterkt dat deze niet-overstroombaar is	geen inzet
Variant 1	Maximale retentiegebied: oplossingsrichtingen 6A en 7A voor Thorn en Wessem, en Oude kering tussen Thorn en Wessem handhaven op huidige hoogte	23,90
Variant 2	Maximale retentiegebied: oplossingsrichtingen 6A en 7A voor Thorn en Wessem, en Geoptimaliseerde instroomdrempel (T300/ zichtjaar 2050)	24,10
Variant 3	Beperkte retentiegebied: oplossingsrichtingen 6B en 7B voor Thorn en Wessem, en Geoptimaliseerde instroomdrempel (T300/ zichtjaar 2050)	24,10



Figuur 2-22: De dijktracés waaronder de tracés 6A, 6B, 7A en 7B die de oost- en westgrenzen vormen van het retentiebekken. De instroom voorziening voor de hydraulische berekeningen in varianten 2 en 3 is weergegeven binnen de rode cirkel.



2.8 Grondwatermodel

Het grondwater modelinstrumentarium IBRAHYM (Integraal Gebiedsdekkend Regionaal Hydrologisch Model) vormt de basis voor deze geohydrologische studie. Dit grondwatermodel is opgezet voor Waterschap Limburg, de provincie Limburg en de Waterleidingmaatschappij Limburg.

Waterschap Limburg heeft hiervoor een gastaccount voor de IBRAHYM-server ter beschikking gesteld aan IBM. IBRAHYM bestaat uit de toepassingsomgeving iMOD (interactief MODeleren) en de gegevensset, die beide noodzakelijk zijn voor het grondwatermodel. Er wordt gerekend met IBRAHYM versie 2. Dit is het model dat is gebaseerd op de invoerbestanden uit de DBASE v2 map op de IBRAHYM rekenserver. Deze bestanden worden aangeroepen via een runfile. De volgende runfiles zijn aangehouden als basisbestanden:

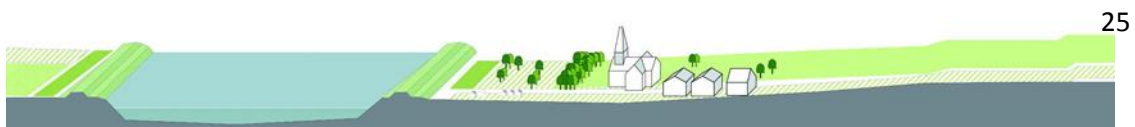
- Stationaire berekeningen: ibv2_STAT_25_iMOD_v3_3.RUN
- Instationaire berekeningen: ibv2_NSTAT_25_iMOD_v3_3__1994-2011.RUN

Voor zowel het stationaire model als het instationaire model is de modelperiode 14-01-1994 tot 31-12-2011. Dit is de volledig beschikbare modelperiode van het IBRAHYM model. Deze periode omvat de hoogwatersituaties van 1995, welke gebruikt kunnen worden voor het bepalen van de effecten van het retentiebekken.

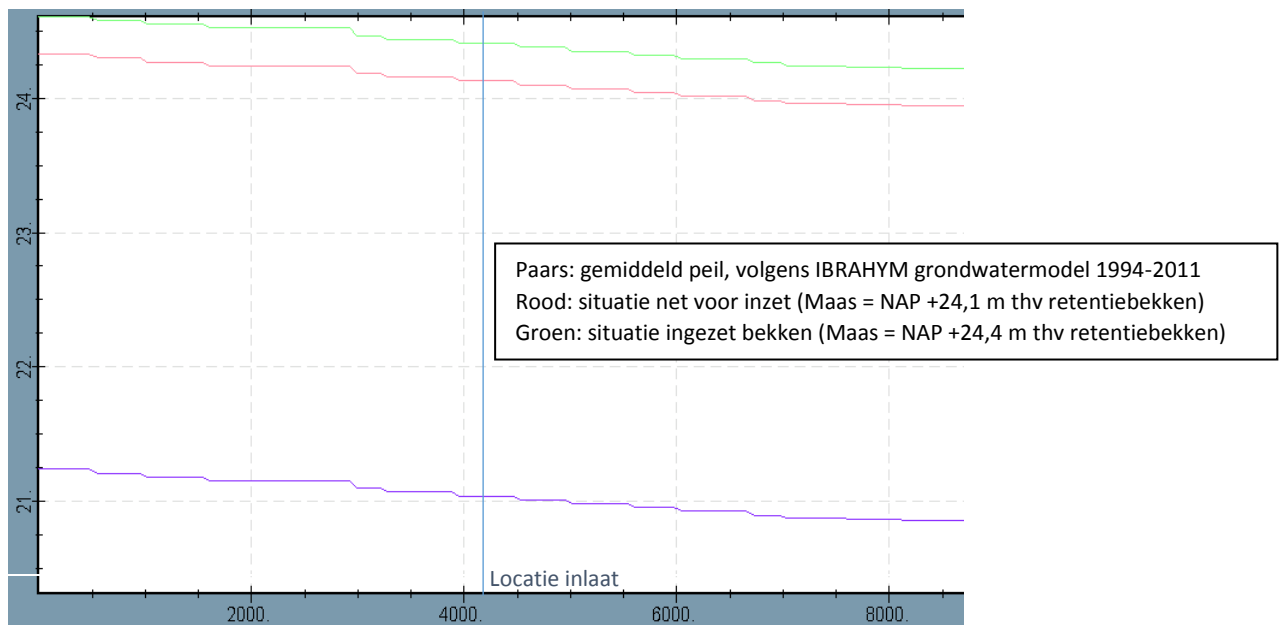
Voor de effecten van het beekherstel tijdens dagelijkse omstandigheden is een periode van 8 jaar voldoende om het effect op de GxGs te berekenen. Daarom kan de modelperiode worden beperkt tot de recente jaren binnen het IBRAHYM-model, namelijk de jaren 2004-2011.

Peil Maas

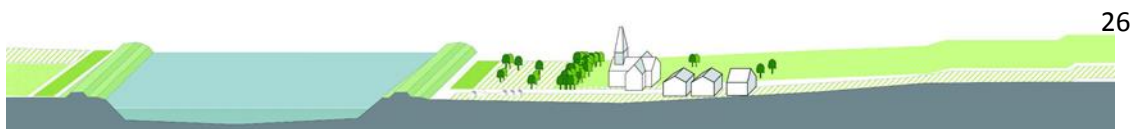
In het grondwatermodel wordt het peil in de Maas opgelegd. Daarvoor is ter hoogte van de inlaat van het retentiebekken het Maaspeil resp. NAP +24,10 m (scenario berekening voor inzet) en NAP +24,39 m (scenario ingezet bekken). Het verhang in de Maas is gemodelleerd op basis van het verhang dat in de gemiddelde situatie is opgelegd. Figuur 2-23 geeft een langsdoorsnede met het verhang. In hoofdstuk 4 ('opzet grondwatermodel') en hoofdstuk 5 ('opzet grondwatermodel hoogwatergolf 2017') wordt verder ingegaan op de gebruikte modelinvoer.



HWBP Noordelijke Maasvallei



Figuur 2-23: Langsdoorsnede van Maas met peil in verschillende scenario's.



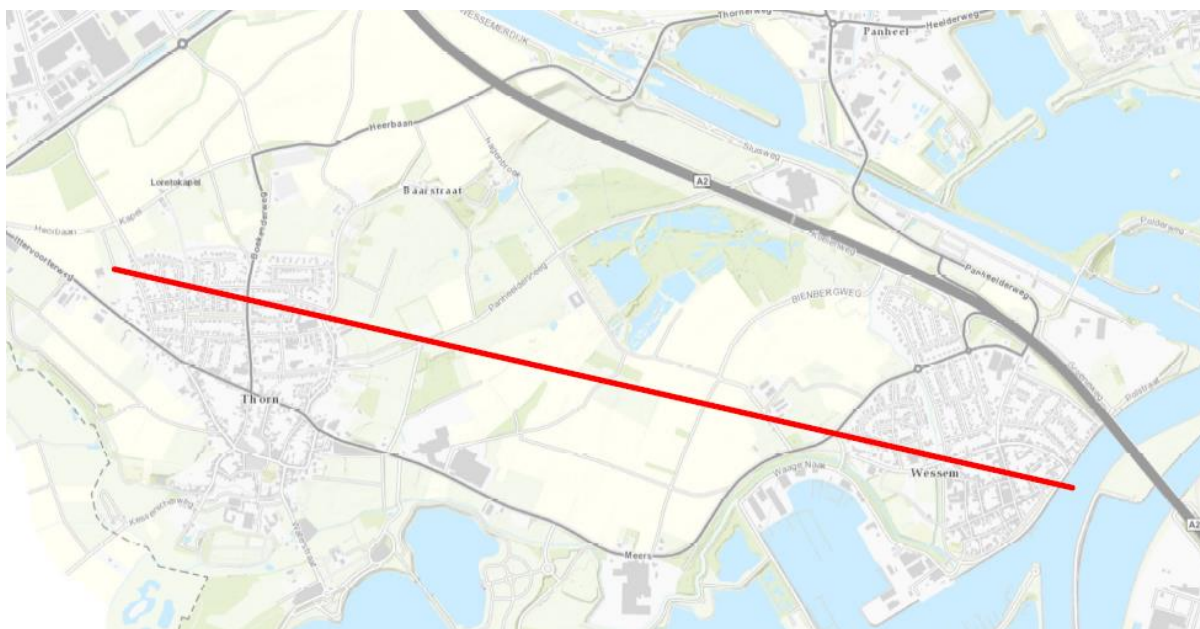
3 Systeemanalyse

De randvoorwaarden en uitgangspunten uit het vorige hoofdstuk zijn op basis van ervaring samengebracht in een systeemanalyse in dit hoofdstuk. Deze systeemanalyse vormt de basis voor de gedachtes en aandachtspunten bij de geohydrologische modellering.

De systeemanalyse wordt visueel in beeld gebracht via een dwarsdoorsnede over het gebied. Deze is weergegeven in onderstaande figuur en loopt vanuit de hoge grond van Thorn, door het retentiebekken en beekherstel variant 3 naar Wessem en de Maas. Figuur 3-2 geeft de huidige situatie weer tijdens MHW. Vanuit de hoge grond en de Maas treedt kwel op naar de locatie van het retentiegebied en Wessem. De ontwatering is een aandachtspunt in Wessem.

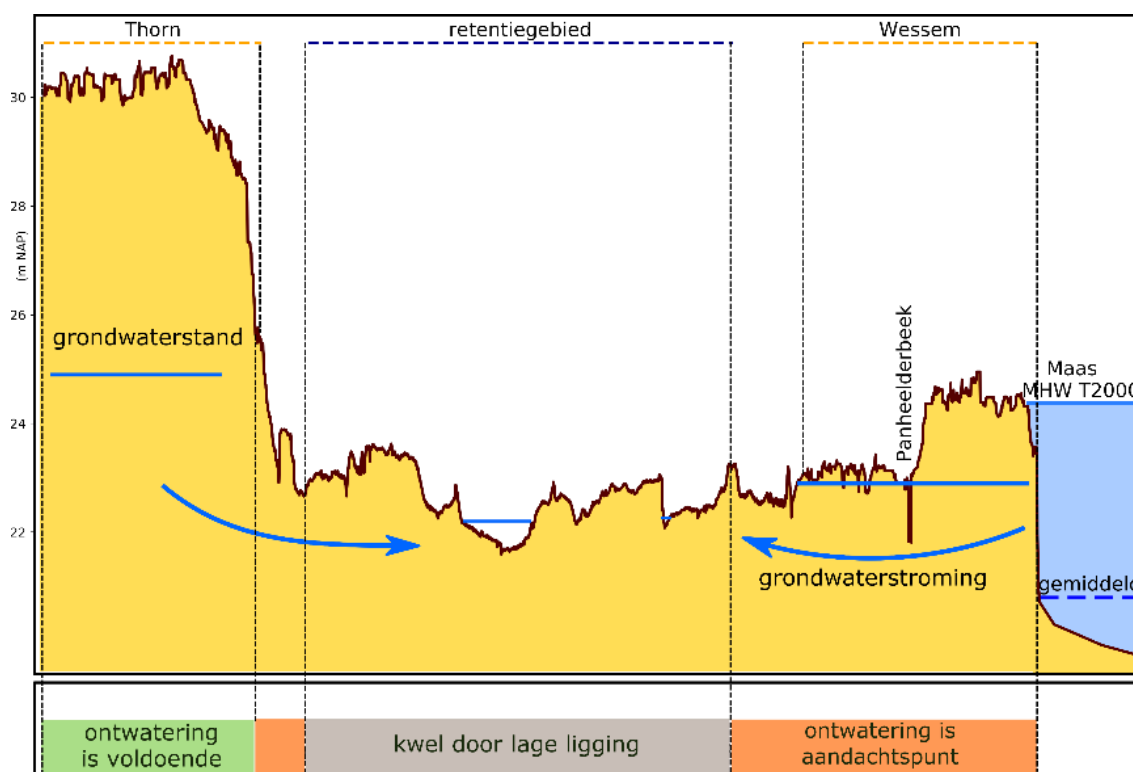
Figuur 3-3 geeft de geohydrologische situatie weer na aanleg van het retentiegebied en bij inzet van het retentiegebied tijdens MHW. Door het gevulde retentiegebied kan de kwelstroom vanuit de hoge grond daar niet meer opkwellen. Hierdoor stijgt de grondwaterstand onder de hoge grond. Door de diepe huidige grondwaterstand blijft de ontwatering hier voldoende.

Verwacht wordt dat met name in de lagere delen van Wessem de kweldruk toeneemt door de inzet van het retentiebekken. Of dit leidt tot extra wateroverlast kan in de systeemanalyse niet worden beoordeeld, omdat de ontwatering in de huidige situatie tijdens MHW al een aandachtspunt is.

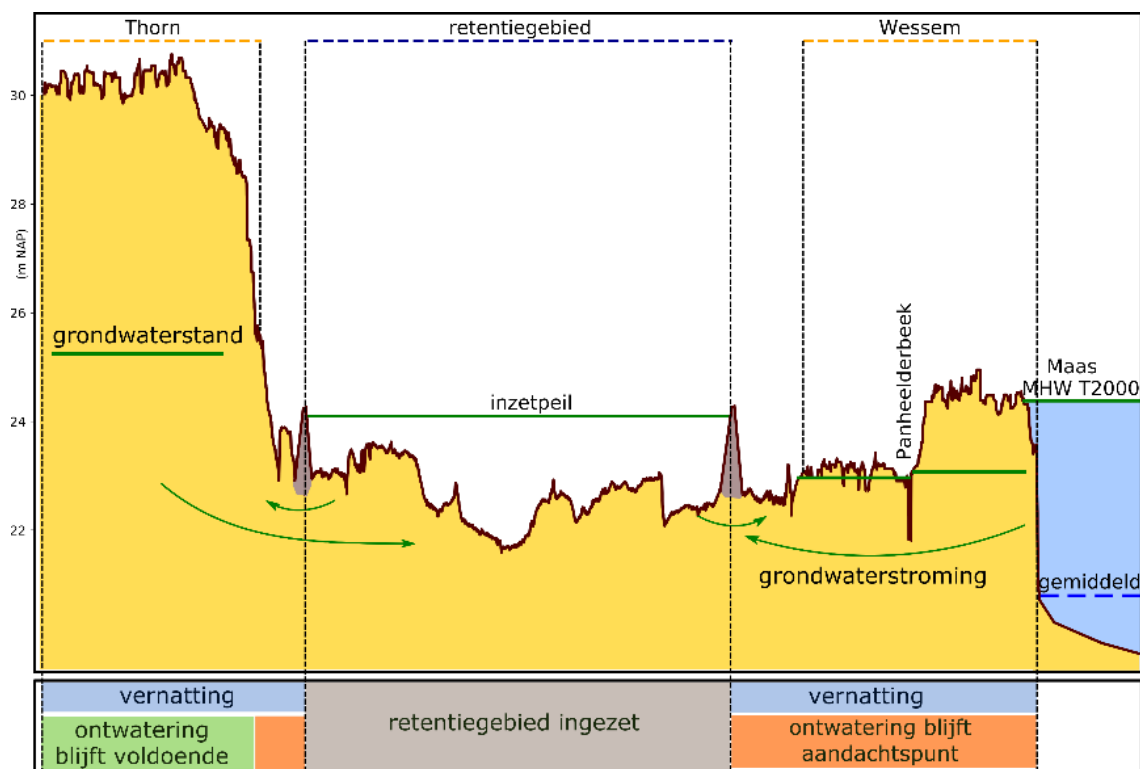


Figuur 3-1: Locatie doorsnede op topografische kaart





Figuur 3-2: Schematische grondwaterstroming in huidige situatie bij MHW



Figuur 3-3: Schematische grondwaterstroming bij ingezet retentiebekken tijdens MHW



Het effect van beekherstel variant 3 is niet weergegeven op bovenstaande doorsneden. In de huidige situatie kan de beek een verandering geven van de kwelstroming en verlaging van de freatische grondwaterstand. Bij inzet van het retentiebekken kan de infiltratie vanuit het retentiebekken naar de omgeving toenemen.



4 Opzet grondwatermodel - en actualisatie tot met 2011

Dit hoofdstuk beschrijft de opzet van het IBRAHYM grondwatermodel en de aanpassingen die aan het model zijn gemaakt. Het model is geactualiseerd aan de hand van beschikbaar grondonderzoek. Dit hoofdstuk beschrijft de modelperiode tot en met 2011. In hoofdstuk 5 is beschreven hoe de modelperiode is verlengd tot en met 2018.

4.1 Schematisatie grondwatermodel.

Deze paragraaf beschrijft de geohydrologische schematisatie van het model ter plaatse van het projectgebied.

Vervolgens zijn de geohydrologische parameters van de deklaag in het IBRAHYM grondwatermodel vergeleken met het beschikbare grondonderzoek om te bepalen of deze goed is geschematiseerd in het model.

4.1.1 Schematisatie IBRAHYM model

Het IBRAHYM model bestaat uit 19 modellagen. Deze zijn gebaseerd op het REGIS II v2.1 ondergrondmodel. Onderstaande tabel toont de modelschematisatie ter plaatse van het projectgebied. Ook zijn de parameters in de tabel opgenomen.



Tabel 5: Geohydrologische schematisatie / lagenopbouw IBRAHYM model ter plaatse van retentiebekken.

Model-laag	boven-kant [m NAP]	onder-kant [m NAP]	globale dikte [m]	Globale parameterwaarden kh [m/dag] weerstand [dagen]	geohydrologie / REGIS II
1	+22,7	22,3	0 tot 0,5	kh: 0 tot 1 weerstand: ca. 10 tot 100	Holoceen
2	+22,3	+19,3	0 tot 3	kh: 0 tot 1 weerstand: ca. 10 tot 100	Formatie van Boxtel
3	+19,3	+9,8	8 tot 10	kh: 105 weerstand: geen weerstand	Formatie van Beegden
4	+9,8	+3,2	ca. 6	kh: 64 weerstand: geen weerstand	
5	+3,2	-3,4	ca. 6	kh: 16 weerstand: geen weerstand	
6	-3,4	-11	ca. 6	kh: 40 weerstand: geen weerstand	Formatie van Sterksel
7	-11	-19	ca. 8	kh: 15 weerstand: geen weerstand	Formatie van Stramproy
8	-19	-30	ca. 10	kh: 15 weerstand: geen weerstand	
9	-30	-44	11 tot 14	kh: 30 weerstand: geen weerstand	
10	-44	-54	ca. 10	kh: 39 weerstand: geen weerstand	
11	-54	-61	ca. 7	kh: 39 weerstand: geen weerstand	
12	-61	-69	6 tot 10	kh: 39 weerstand: ca. 3.500 tot ca. 5.500	Formatie van Kiezeloöliet
13	-69	-139		kh: 19 weerstand: ca. 28.000 tot ca. 47.000 Beschouwd als geohydrologische basis, daarom zijn lagen hieronder niet beschouwd.	
14	-139	-165			
15	-165	-220			Formatie van Kiezeloöliet
16	-220	-279			Formatie van Inden
17	-279	-580			Formatie van Breda
18	-580	-655			
19	-655	-1120			

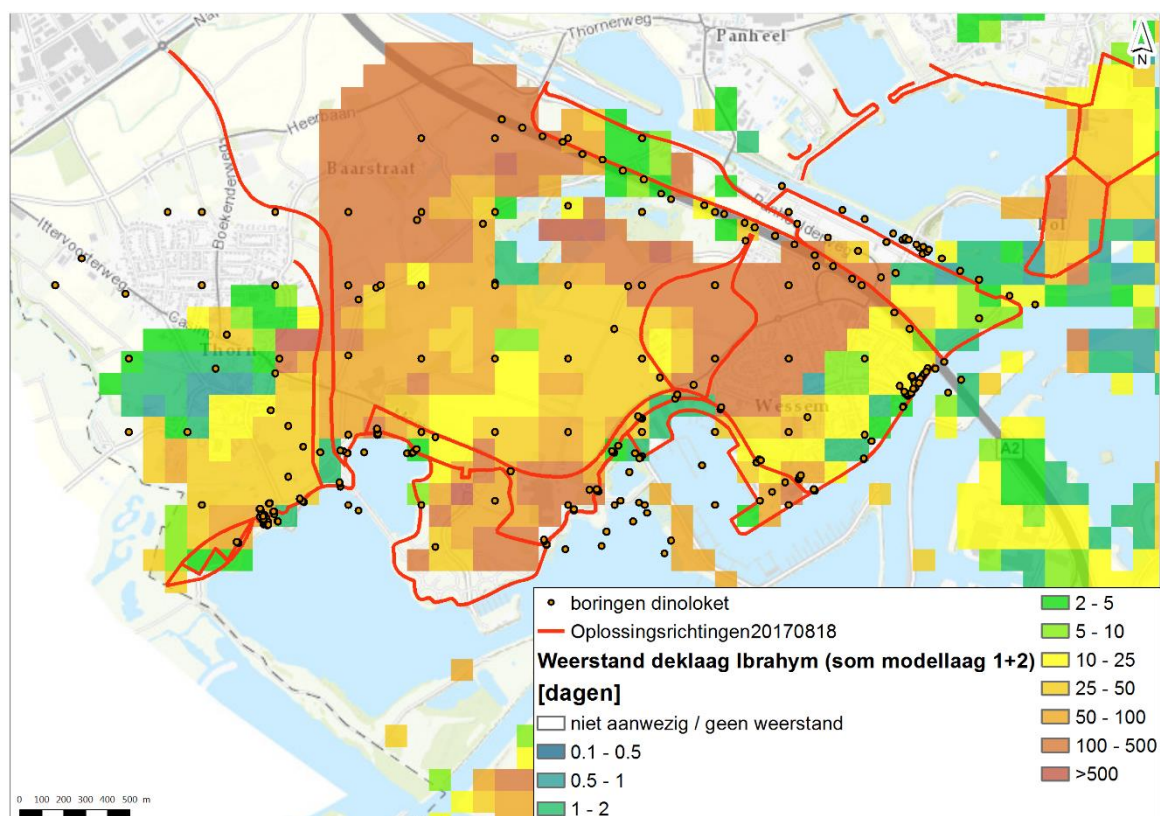
Het model bestaat op de locatie van het retentiebekken uit een Holocene deklaag met een verticale weerstand van in totaal tientallen tot maximaal enkele honderden dagen. De horizontale doorlatendheid is in delen van het retentiebekken afwezig, zie tabel 5. Daar waar wel een horizontale doorlatendheid aan de deklaag is toegekend is deze circa 1 m/dag.



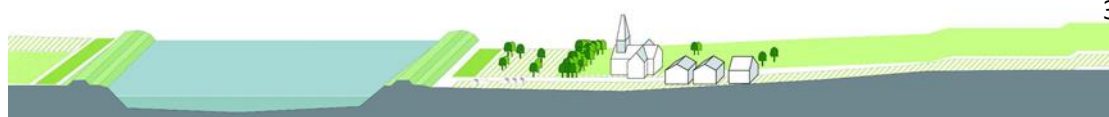
Onder de deklaag bevindt zich een dik watervoerend pakket bestaande uit zanden en grinden van de formaties van Beegden, Sterksel en Stramproy. Er is geen verticale weerstand in het model opgenomen in deze modellagen. De horizontale doorlatendheid is hier hoog. De onderkant van dit dikke watervoerende pakket ligt op circa NAP -70 m, waaronder een zeer slecht doorlatende laag is geschematiseerd, van de Formatie van Kiezeloöliet. Er is dus sprake van een Holocene deklaag met daaronder grovere afzettingen die als één dik watervoerend pakket beschouwd kunnen worden.

4.1.2 Vergelijking schematisatie IBRAHYM model met grondonderzoek - verticale weerstand

De eerste twee modellagen vormen de deklaag. Deze zijn vergeleken met het uitgevoerde grondonderzoek. Daarom is de dikte van deze modellagen uit IBRAHYM gehaald, en met de verticale doorlatendheid omgezet naar een vlakdekkende weerstandskaat. Deze deklaagweerstand is op onderstaande kaart gepresenteerd.



Figuur 4-1: Deklaagweerstand in het grondwatermodel en locaties beschikbare boorprofielen

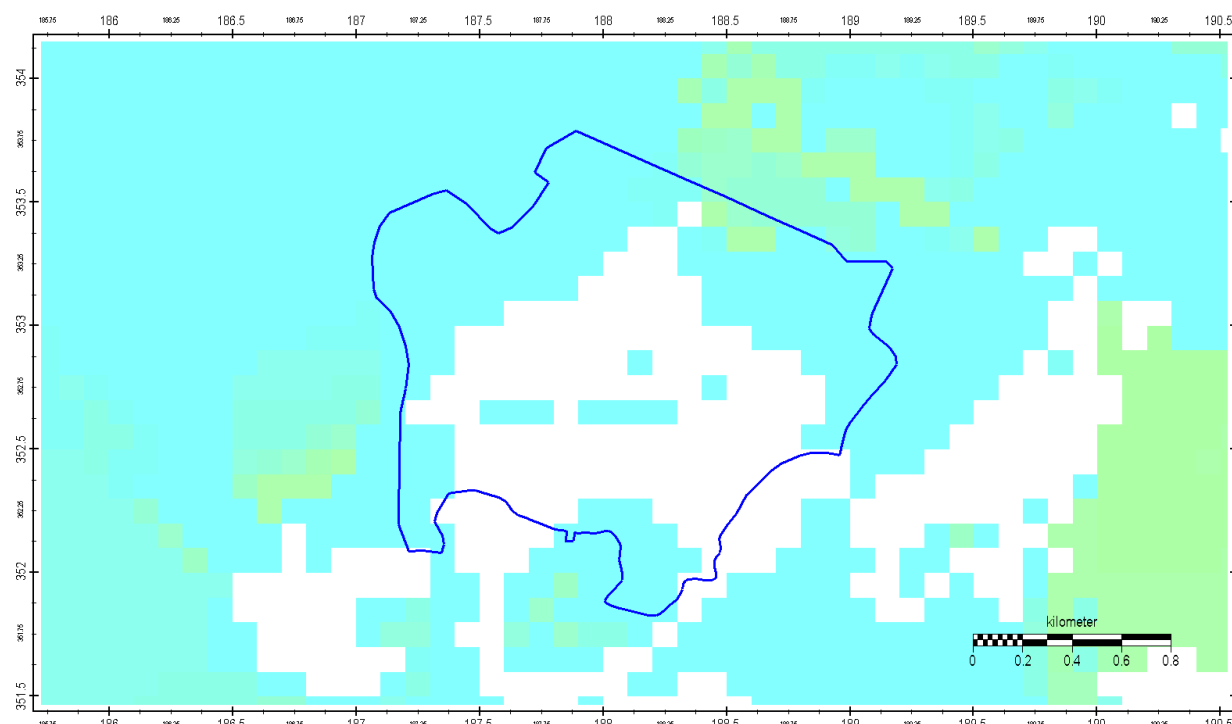


In bovenstaande kaart zijn ook de locaties van de beschikbare DINO-Loket boringen weergegeven. Naast deze boringen is er ook aanvullend grondonderzoek beschikbaar (Inpijn-Blokpoel, Grondonderzoek HWBP Noordelijke Maasvallei, augustus 2017). Van al deze boringen is de verticale weerstand van de deklaag zoals aangetroffen in het boorprofiel bepaald. Dit is gedaan door de maatgevende (weerstandbiedende) lithologie in de deklaag te bepalen. Vervolgens is op basis van de dikte en standaardwaarden uit het Grondwaterzakboekje (B. Bot, Grondwaterzakboekje, Rotterdam 2016) een weerstand bepaald per boring. Deze is vergeleken met de weerstandswaarde zoals opgegeven in het model.

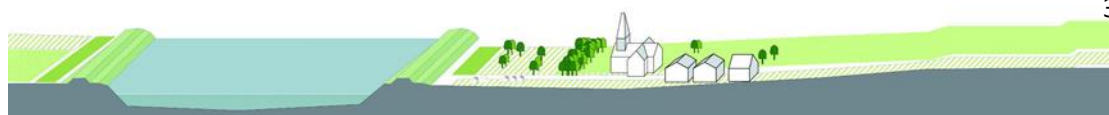
De weerstand in het IBRAHYM model is gemiddeld lager dan die in de boorprofielen

4.1.3 Vergelijking schematisatie IBRAHYM model met grondonderzoek - horizontale doorlatendheid

Uit tabel 5 blijkt dat in het IBRAHYM model de Holocene deklaag niet overal een kh waarde en dikte toegekend heeft gekregen. Dit betekent dat op een deel van de locaties er geen watervoerend deel van de deklaag is geschematiseerd. Figuur 4-2 geeft dit weer met de witte cellen, de blauwe lijn geeft de grens van het retentiebekken weer.



Figuur 4-2: Watervoerendheid deklaag: afwezig (wit) en aanwezig (blauw).



De schematisatie van de watervoerendheid past niet bij de beschikbare boringen. Daarom is voor de horizontale doorlatendheid een analyse uitgevoerd op basis van het beschikbare grondonderzoek. Voor elk boorprofiel is de maatgevende lithologie van de deklaag bepaald. Op basis van het Grondwaterzakboekje (B. Bot, Grondwaterzakboekje, Rotterdam 2016) zijn deze maatgevende lithologieën omgezet naar een horizontale doorlatendheid.

Vervolgens zijn deze met behulp van de dikte van de deklaag omgezet naar een transmissiviteit (kD) in het grondwatermodel. Uit deze analyse volgt dat de kD van de deklaag gemiddeld circa 0,2 m²/dag is. Dit komt goed overeen met de waarden in IBRAHYM waar de deklaag wél een horizontale doorlatendheid heeft (blauwe cellen in Figuur 4-2), waar gemiddeld een kD van 0,2 tot 0,5 m²/dag is ingevoerd. Daarom zijn de witte cellen binnen het retentiebekken aangepast: hier is een waarde van 0,2 m²/dag ingevoerd.

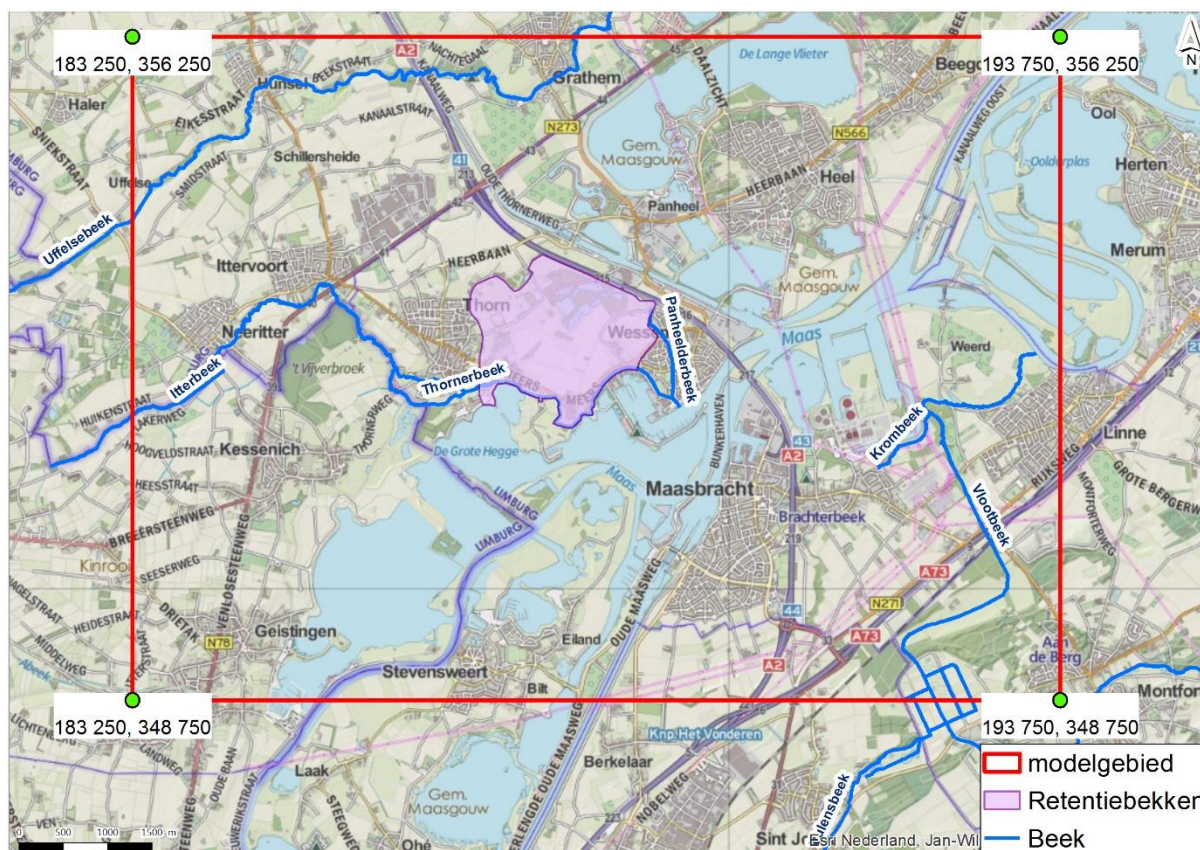
4.2 Actualisatie model ten behoeve uitvoeren berekeningen

Deze paragraaf beschrijft de verdere stappen die zijn uitgevoerd om met het IBRAHYM model de gewenste berekeningen te kunnen maken.

4.2.1 Modeluitsnede

Allereerst is er een uitsnede gemaakt uit het totale IBRAHYM model, zodat een werkbaar model ontstaat. Het modelgebied is hieronder weergegeven. Het modelgebied is zo gekozen dat aan de zuid- en oostkant van het model de Maas en de Maasplassen onderdeel uitmaken van het model. De westelijke rand is op minimaal 4 kilometer afstand van het retentiebekken gelegd.





Figuur 4-3: Modelgebied met coördinaten hoekpunten

4.2.2 Aanpassing overlandflow / ponding depth bestand

Uit verkennende berekeningen is gebleken dat er een verschil is tussen de berekende grondwaterstanden met het uitgesneden model ten opzichte van de referentieresultaten van het IBRAHYM model. Er is een analyse uitgevoerd naar de oorzaak van deze verschillen, waaruit bleek dat dit veroorzaakt wordt doordat de berekeningen van de onverzadigde zone in relatie met oppervlakkige afstroming (overlandflow) wordt beïnvloed door het begrenzen van het model.

In eerdere iMODFLOW versies werd gerekend met een overlandflow-bestand dat de grondwaterstanden boven maaiveld afvoert uit het model. In de thans beschikbare nieuwere iMODFLOW versie is het overlandflow bestand vervangen door een 'ponding depth'-bestand dat wordt aangeroepen in de MetaSwap berekeningen (onverzadigde zone). Uit de analyse bleek dat de drempelhoogte van de 'ponding depth' niet correct is ingevoerd.

Samen met Waterschap Limburg is dit verholpen door een nieuw bestand voor de Ponding Depth aan te maken. Uit testberekeningen is gebleken dat het model daarna (nagenoeg) dezelfde berekeningsresultaten geeft als het referentiemodel (IBRAHYM v2). Er kan daarom met deze modeluitsnede gerekend worden.



4.3 Conclusie actualisatie grondwatermodel

De resultaten van het IBRAHYM model zijn voor de volledigheid in bijlage II weergegeven in grijs met de legenda 'berekend basis IBRAHYM'. De volgende aanpassingen zijn gemaakt aan het model ten opzichte van het basis IBRAHYM model:

- Er is een modeluitsnede gemaakt rondom het retentiebekken.
- De horizontale doorlatendheid van de deklaag is aangepast op basis van beschikbaar grondonderzoek. De aanpassing betreft die delen waar de deklaag inactief was voor de horizontale grondwaterstroming in het referentiemodel.
- Het bestand dat oppervlakkige afstroming bepaalt is aangepast.

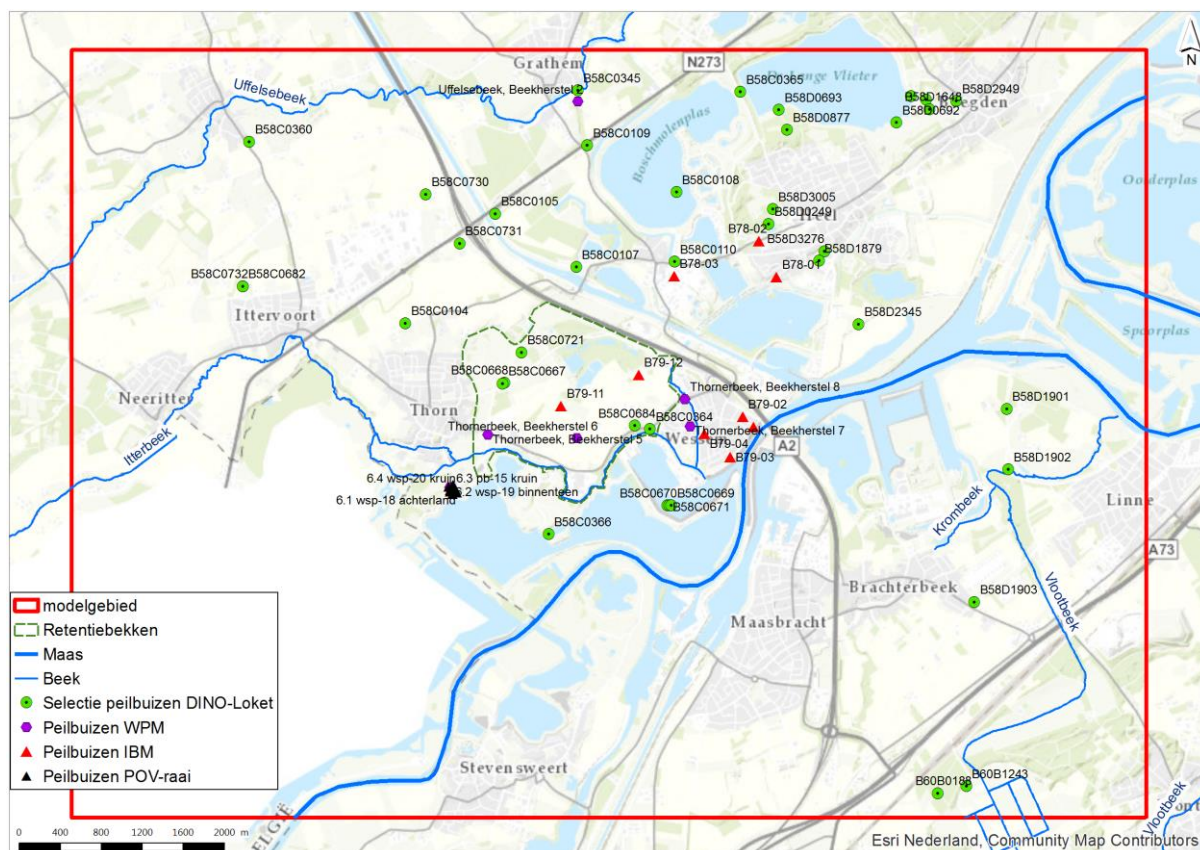
In de volgende paragraaf worden de modelresultaten vergeleken met de metingen.

4.4 Vergelijking modelresultaten geactualiseerd grondwatermodel met metingen

4.4.1 Hoogwatergolf van 1995

Om de modelprestatie te bepalen is een instationaire modelberekening uitgevoerd voor de modelperiode 1994-2011. De modelresultaten zijn vergeleken met gemeten grondwaterstanden. Figuur 4-4 toont de peilbuizen waarvan data beschikbaar is binnen het modelgebied. Tabel 6 toont de peilbuizen waarvan de metingen zijn vergeleken met de berekende grondwaterstanden. De peilbuizen zijn ruimtelijk verspreid over het gebied. De beschikbare meetperiode en -frequentie is wisselend. In het (lage deel van) het retentiegebied zijn via de peilbuizen Thornerbeek 5 en 6 alleen recente waarnemingen beschikbaar. De prestatie in Thornerbeek 5 is niet beoordeeld omdat de meetreeks niet betrouwbaar lijkt. De metingen liggen minimaal 0,5 m lager dan andere meetreeksen, en circa 1 m lager dan de modelberekening.





Figuur 4-4: Peilbuizen binnen modelgebied met data binnen modelperiode 1994-2011.

In bijlage II zijn de gemeten en berekende grondwaterstanden per peilbuis in een grafiek gepresenteerd. Er is extra aandacht voor de hoogwatersituatie 1995, omdat de hoogwatersituatie relevant is voor het retentiebekken. Onderstaande tabel geeft de belangrijkste conclusies op basis van het modelresultaat 'berekend referentie'.

Tabel 6: Modelprestatie (op basis van rode kleur en legenda 'berekend referentie' in Bijlage II)

peilbuis	modelprestatie bij hoogwater	modelprestatie onder dagelijkse omstandigheden
B58C0104-1	overschatting circa 0,2 m	overschatting circa 0,2 m
B25C0105-1	overschatting in 1995 circa 0,1 m. 2002 en 2011 juist circa 0,2 m onderschatting	goed
B25C0366-1	onderschatting circa 0,4 m	berekening redelijk vlak in zomer, meting heel variabel



B58C0364-1	overschatting van hoogwater pieken	overschatting in winter van circa 0,1 m
B79-02-1	onbekend, geen overlap in periode	lijkt redelijk, ondanks dat er geen overlap is in meetperiode
B58C0721-1	onbekend, geen overlap in periode	onbekend, geen overlap in periode. Beschikbare waarnemingen volgens Waterschap Limburg niet betrouwbaar.
Thornerbeek6	onbekend, geen overlap in periode	lijkt overschatting van 0,5 m, ondanks dat er geen overlap is in meetperiode
Thornerbeek7	onbekend, geen overlap in periode	lijkt goede inschatting, ondanks dat er geen overlap is in meetperiode

De verschillen tussen de berekende en waargenomen stijghoogte kunnen duiden op een te hoge bodemweerstand van de Maas. De bodemweerstand van de Maas is ingesteld op 5 dagen.

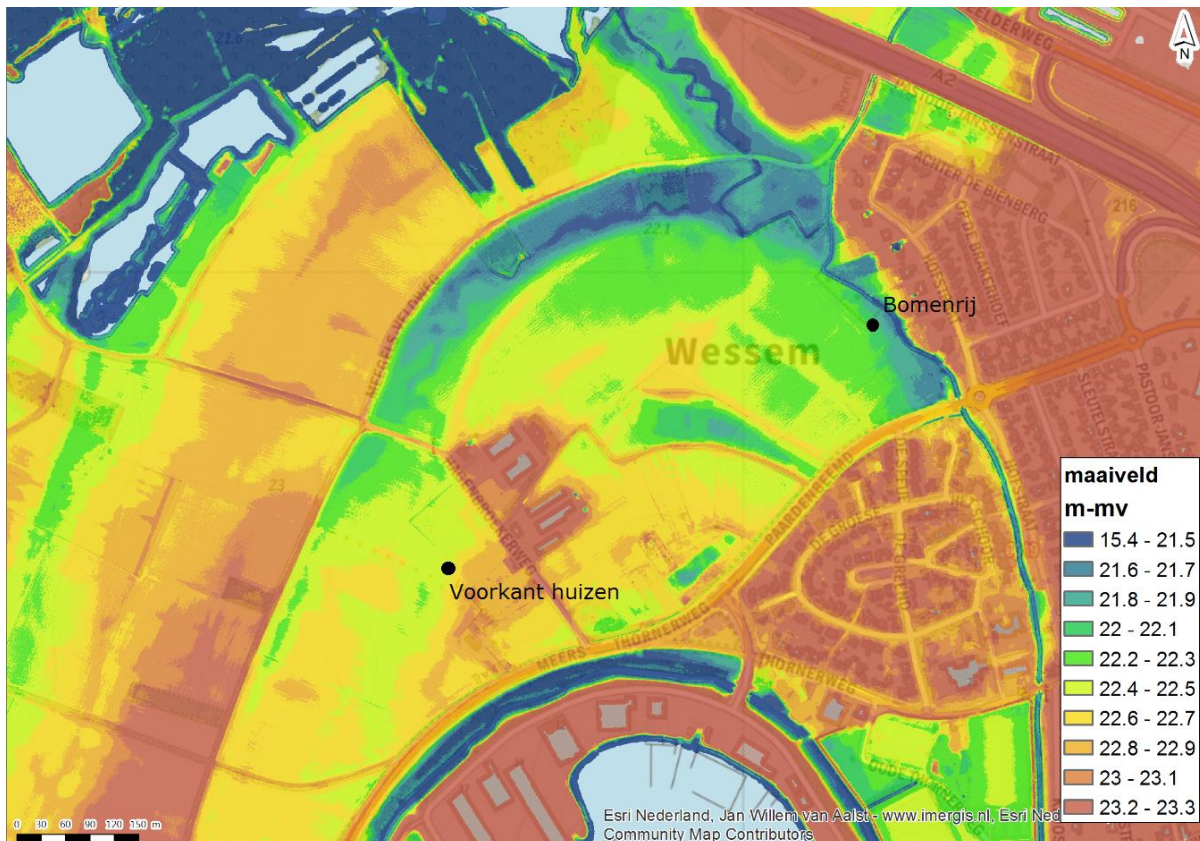
Er is een kalibratieberekening gedaan met een bodemweerstand van 1 dag en een berekening met een bodemweerstand van 3 dagen.

Het resultaat van de berekening met 1 dag bodemweerstand (bordeaux rood in bijlage II) toont aan dat de pieken nu worden overschat. De berekening met een bodemweerstand van 3 dagen (licht groen in bijlage II) geeft een (lichte) verbetering van de modelprestatie. In een laatste stap is de horizontale doorlatendheid van de deklaag aangepast (conform 4.1.3), de modelprestatie is met de donkergroene kleur en stippellijn weergegeven in bijlage II.

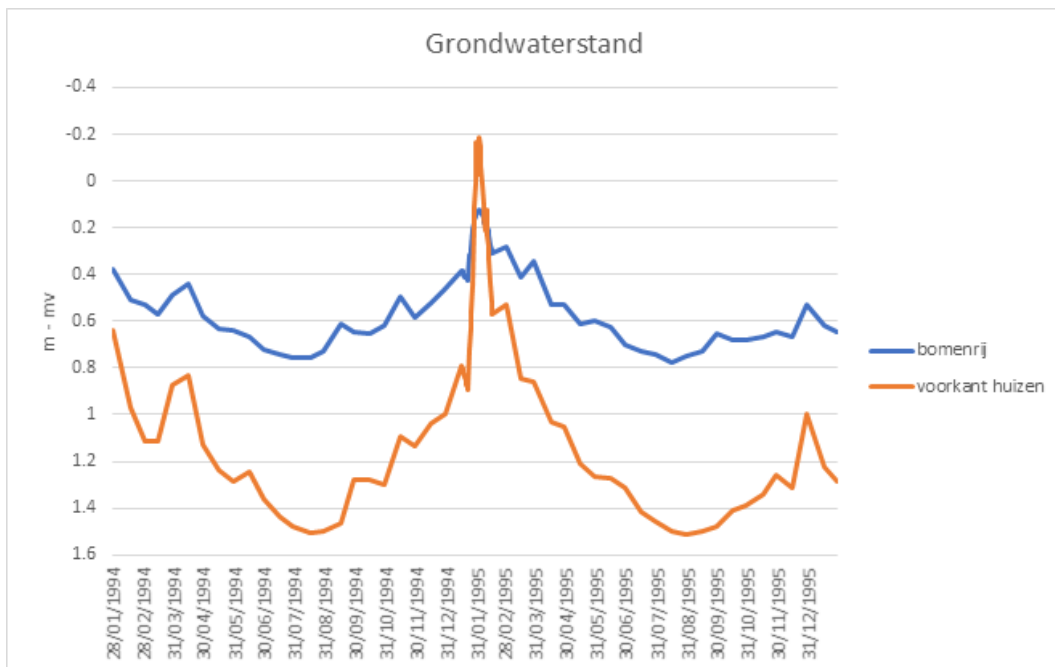
Bij hoogwater hebben bewoners aan de Hagenbroekweg ondervonden dat het gebied achter hun huizen bij de bomenrij als eerste onder water komt te staan (Figuur 4-5). Wanneer het Maaspeil en het water achter de huizen zakt ontstaan natte plekken aan de voorkant van het huis.

Het grondwatermodel is uitgelezen op de aangegeven locaties in Figuur 4-5. De berekende grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld zijn weergegeven in Figuur 4-6. Zichtbaar is dat het model op beide locaties een vernatting tijdens het hoogwater berekend. Het model berekent geen vertraging tussen de locaties. Dit komt waarschijnlijk doordat in de praktijk de vernatting nabij de bomenrij optreedt doordat zowel de grondwaterstand stijgt als het peil in de watergang. In het grondwatermodel is het peil in de watergang gefixeerd.





Figuur 4-5 Maaiveld ter hoogte van Hagenbroekweg 4, en locaties voor uitlezen model



Figuur 4-6: Grondwaterstand ten opzichte van maaiveld voor de locaties uit Figuur 4-5



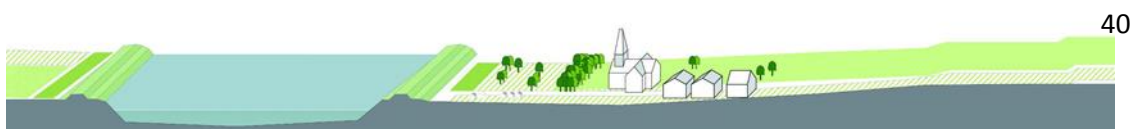
4.5 Conclusie actualisatie tot en met 2011

Er is een uitsnede gemaakt van het IBRAHYM model. De uitsnede is geschikt gemaakt voor het uitvoeren van effectberekeningen voor het retentiebekken en beekherstel door aanpassingen aan de bodemweerstand van de Maas, de horizontale doorlatendheid van de deklaag en de oppervlakkige afstroming.

Op basis van de huidige beschikbare waarnemingen van de grondwaterstand en stijghoogte geeft het model een goede schematisatie. In het retentiegebied ontbreken echter waarnemingen van de grondwaterstand tijdens een hoogwater situatie, en waarnemingen van de afvoer door oppervlaktewater. De betrouwbaarheid en acceptatie van het model in de omgeving kan op de volgende wijzen worden vergroot:

- Door het aantal waarnemingslocaties van de freatische grondwaterstand, stijghoogte en afvoer door oppervlaktewater uit te breiden. Daarbij is het wenselijk dat in de meetreeks een hoogwater situatie voorkomt;
- door de modelperiode van het grondwatermodel uit te breiden naar de meest recente waarnemingen (1 januari 2018, zie hoofdstuk 5) zodat de modelperiode en meetperiode gelijk zijn.
- Door het uitvoeren van gevoeligheidsanalyses van de modelparameters. Gevoeligheidsanalyses voor gemiddelde omstandigheden en bij scenario's identificeren de gevoelige modelparameters voor het modelresultaat. De betrouwbaarheid neemt toe wanneer gevoelige parameters met een grote zekerheid kunnen worden ingeschat. Hiervoor is mogelijk aanvullend veldwerk nodig.
- Een bespreking van het modelresultaat met bewoners. Daarbij is het met name relevant om de berekende grondwaterstand tijdens hoogwatersituaties te vergelijken met hun ervaringen, omdat van de hoogwatersituaties weinig metingen beschikbaar zijn.

In het volgende hoofdstuk is beschreven hoe de modelperiode van het IBRAHYM model verlengd is. Door de modelperiode te verlengen is het mogelijk om de berekende grondwaterstanden tijdens de hoog water periode van december 2017 te vergelijken met de gemeten grondwaterstanden in deze periode.



5 Opzet grondwatermodel - kalibratie hoogwatergolf 2017

Dit hoofdstuk beschrijft het verlengen van het IBRAHYM grondwater model. Tevens is het resultaat (en kalibratie) van het verlengde IBRAHYM grondwatermodel gepresenteerd.

5.1 Toelichting verlengen grondwatermodel

De standaard modelperiode van het IBRAHYM model is 1994-2011. Uit inventarisatie van de beschikbare peilbuizen binnen het modelgebied blijkt echter dat het aantal peilbuismetingen in deze periode beperkt is. Het is daarom lastig het model te valideren aan peilbuismetingen. Omdat het doel van het model is om het effect van het retentiebekken te bepalen, zijn met name hoogwatersituaties belangrijk. Tijdens het hoogwater in de reguliere modelperiode, in januari 1995, zijn er zeer beperkt peilbuismetingen beschikbaar. Het is daarom voor de reguliere modelperiode niet goed vast te stellen hoe het model presteert tijdens hoogwatersituaties.

In december 2017 heeft zich een hoogwatersituatie voorgedaan: op 15 december is het maximale Maaspeil gemeten op 23,25 m NAP ter hoogte van Stevensweert. Ter vergelijking: in 31 januari 1995 was het maximale Maaspeil 25,29 m NAP ter hoogte van Stevensweert. De hoogwatersituatie in december 2017 was daarmee lager dan 1995 maar binnen deze periode zijn veel meer peilbuizen in het gebied beschikbaar dan ten tijde van het hoogwater in 1995. Door de modelperiode van het IBRAHYM model te verlengen tot en met 8 januari 2018 kan de hoogwatersituatie van december 2017 berekend worden. Deze berekende grondwaterstanden kunnen gevalideerd worden aan de peilbuismetingen.

Om de hoogwatergolven van december 2017 mee te kunnen nemen in de modelberekeningen is het model verlengd. De verlengde periode beslaat 2013 tot en met 8 januari 2018. Voor het verlengde grondwatermodel zijn bestanden aangemaakt om het waterpeil van de Maas en de neerslag/verdamping te implementeren in het verlengde grondwatermodel.

5.2 Aanpassen bestanden voor verlengen modelperiode

Voor het verlengen van het model zijn invoerbestanden voor de neerslag, verdamping en het Maaspeil op dagbasis nodig. Om de neerslag en verdamping aan te maken is gebruik gemaakt van de data van het KNMI van weerstation Ell. Dit is het meest nabijgelegen meetstation. Gezien de relatieve beperkte omvang van het modelgebied (10,5 km bij 7,5 km) is er geen ruimtelijke nabewerking op de neerslag- en verdampingsrasters toegepast.

Het Maaspeil is ingevoerd op dagbasis. Deze bestanden zijn samen met Waterschap Limburg aangemaakt op basis van de gemeten afvoer bij Sint Pieter, betrekking lijn per jaar en een aangenomen gemiddelde looptijd van de golf.



Daarmee zijn waterstandsreeksen bepaald voor elke 100m op de Maas-hartlijn en die zijn vervolgens op de rekenpunten van de Maas in IBRAHYM ingevoerd.

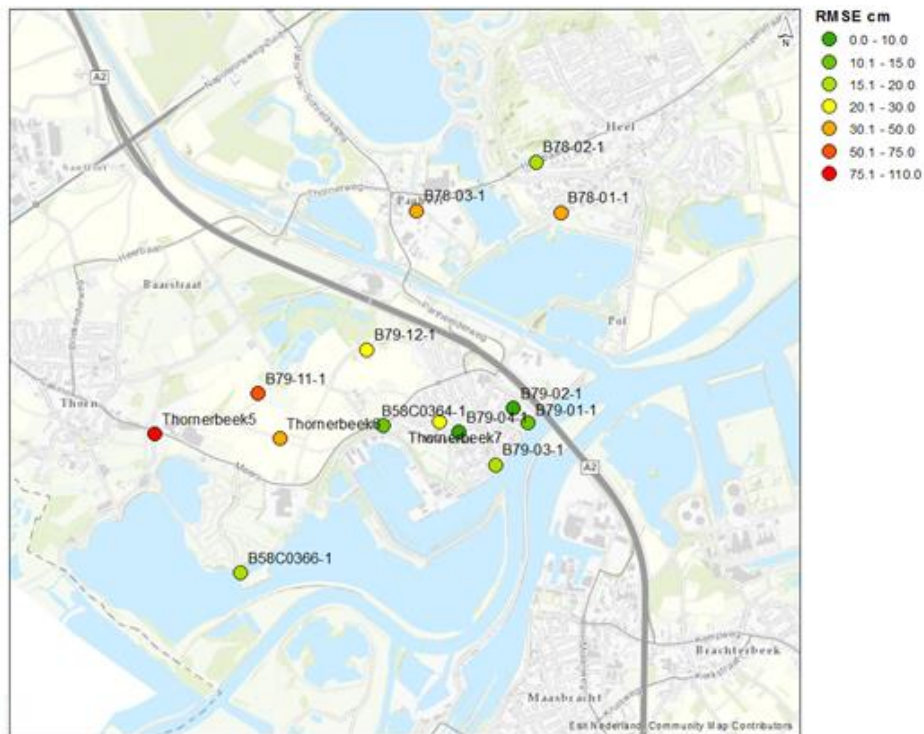
5.3 Modelprestatie verlengde model zonder kalibratie

De peilbuizen die zijn gebruikt ter validatie van het verlengde model zijn weergegeven in afbeelding 5.1. De selectie van de peilbuizen is gebaseerd op meetreeks en locatie. De meetreeks moet recent genoeg zijn om de periode op of rondom december 2017 te beslaan om de gemodelleerde hoogwatergolf te toetsen met metingen.

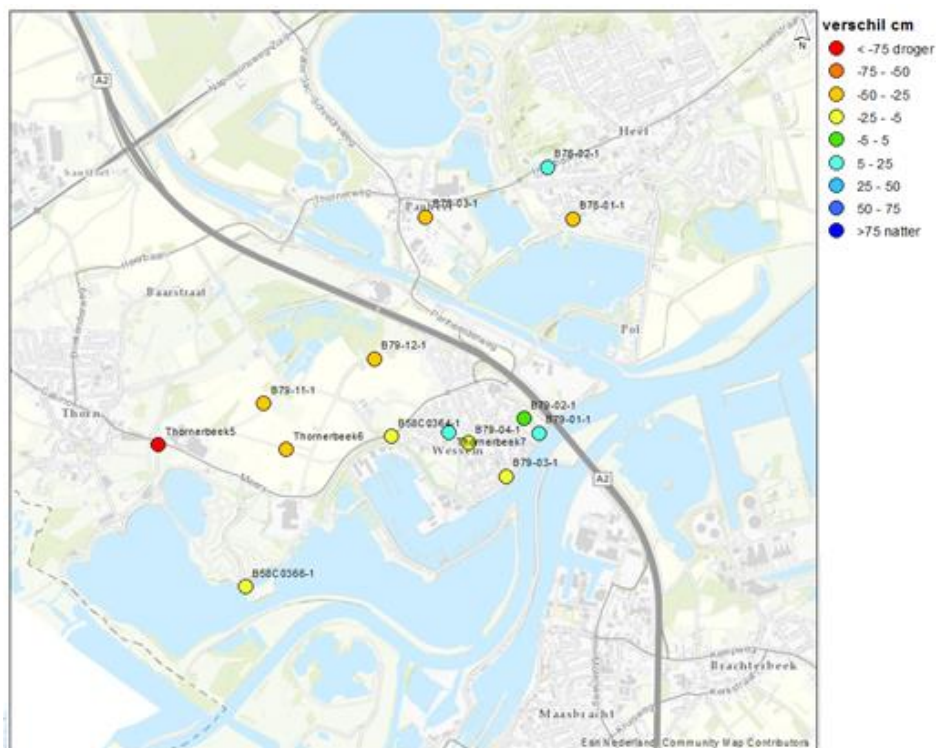
Figuur 5-1 toont de Root Mean Squared Error (RMSE) per peilbuis over de modelperiode. De RMSE geeft een statistische toets van de fout tussen gemeten en berekende grondwaterstanden. Bij de RMSE wordt, anders dan de standaard afwijking, een grote onderschatting of overschatting sterker meegenomen. Deze toetsing komt door het sterker meenemen van grote onderschatting/overschatting van pas bij het toetsen van de gemodelleerde hoogwatergolf. De grootste fout wordt in dit model namelijk gemaakt bij de uiterste waarden.

In Figuur 5-2 is de gemiddelde relatieve fout weergegeven. Peilbuizen waar het model een lagere grondwaterstand berekent dan gemeten waarden zijn in rood tinten weergegeven. Peilbuizen waar he model een hogere grondwaterstand berekent zijn in blauw tinten weergegeven. In Bijlage III zijn de grafieken weergegeven die per peilbuis de meting tonen en de berekende grondwaterstand voor het verlengde grondwatermodel.





Figuur 5-1: RMSE waarden per getoetste peilbuis voor het verlengde grondwatermodel.



Figuur 5-2: De gemiddelde relatieve fout per getoetste peilbuis voor het verlengde grondwatermodel.



5.3.1 Conclusie modelresultaat zonder kalibratie

Het gemiddelde verschil tussen model berekeningen en peilbuismetingen varieert tussen de -105 cm en + 23 cm. Dit is een relatief groot verschil. Het algemene beeld toont zowel een lichte overschatting als onderschatting van grondwaterstanden. De hoogwatergolf uit 2017 wordt zowel onderschat als overschat. De onder en overschatting ligt respectievelijk tussen de -50 cm en +30 cm. Negatieve uitschieter is hierbij peilbuis Thornerbeek5 al lijkt deze meting foutief (metingen liggen 0.5 - 1.0 meter lager dan de rest van de metingen in het gebied). In de volgende paragraaf is de kalibratie beschreven.

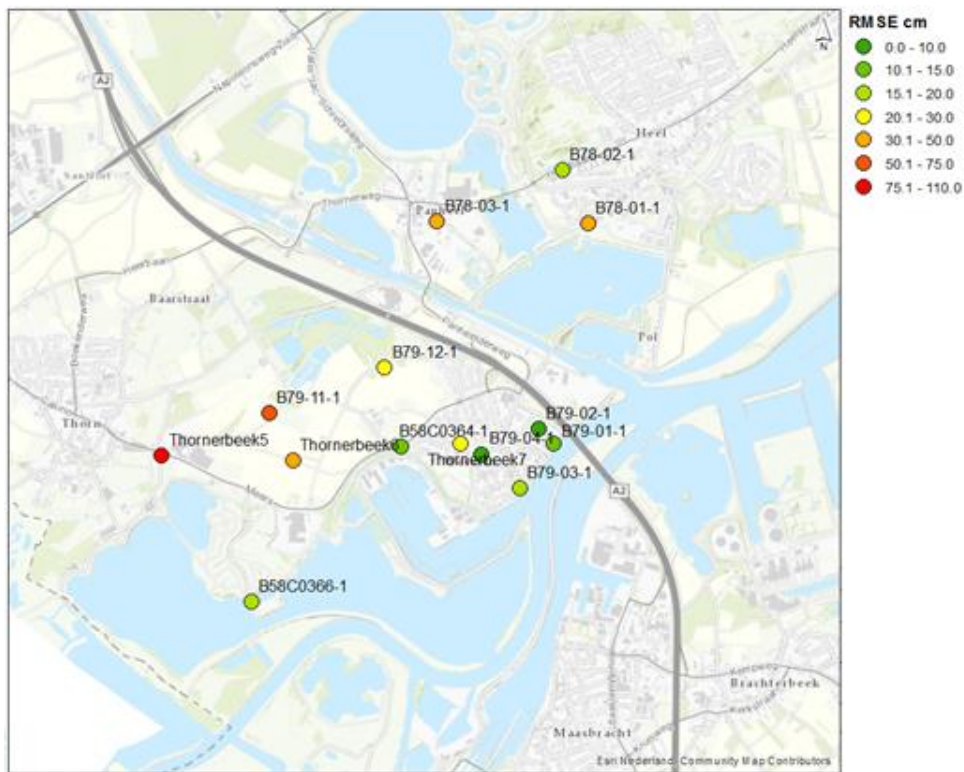
5.4 Modelprestatie verlengde model met kalibratie

Ter bevordering van de modelprestatie is het verlengde grondwatermodel gekalibreerd. De volgende aanpassingen zijn gedaan aan het model:

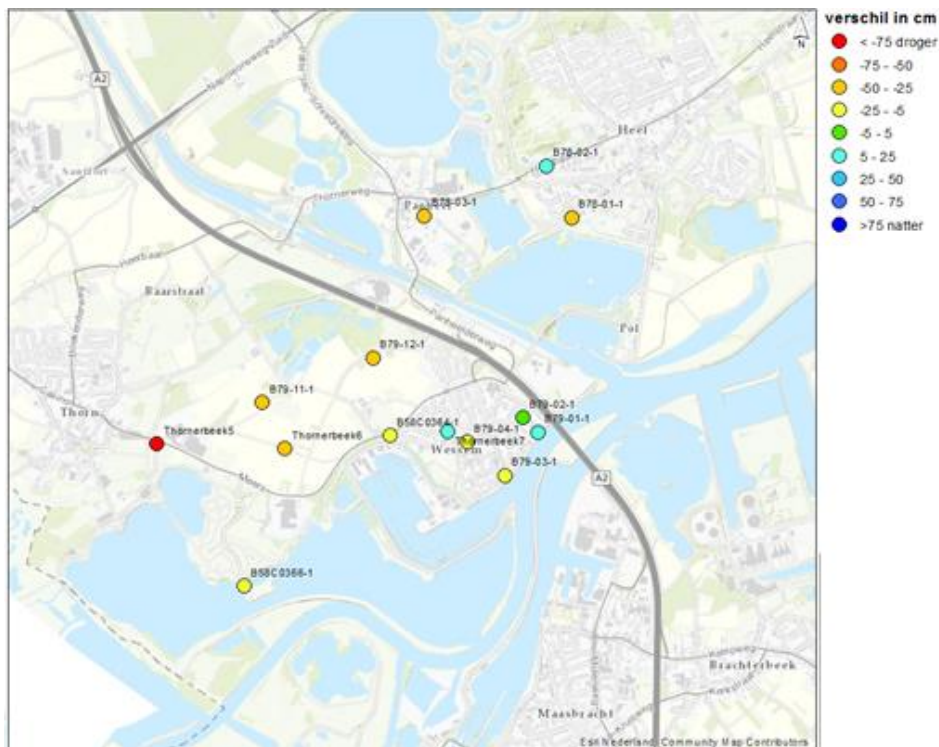
- Bergingscoëfficiënt deklaag aangepast omdat deze ingesteld stond op zandige gronden, terwijl de deklaag in het modelgebied vooral bestaat uit kleiige/lemige gronden. De bergingscoëfficiënt is van 0,15 naar 0,10 aangepast.
- Verticale weerstand van de deklaag is verlaagd om meer invloed van topsysteem op stijghoogte te simuleren ('piekeriger'). De verlaging is ingevoerd door de deklaagweerstand met een factor 0,5 te verkleinen. De verticale weerstand in het IBRAHYM model was feitelijk al kleiner dan de boorprofielen in het gebied aan tonen (zie paragraaf 4.1.2). De berekende grondwaterstanden in de zandige formaties onder de deklaag tonen echter een beperkte invloed van het topsysteem. Om deze invloed (neerslag, verdamping en oppervlaktewater) te vergroten is de deklaagweerstand met de factor aangepast.
- Bodemweerstand van de watergangen verlaagd, om meer invloed van topsysteem te simuleren.

Figuur 5-3 en Figuur 5-4 tonen respectievelijk de RMSE en de relatieve fout voor het gekalibreerde model. De afbeeldingen komen grotendeels overeen met Figuur 5-1 en Figuur 5-2. In Bijlage (III) zijn de modelresultaten per peilbuis uitgezet tegen de peilbuismetingen om specifieker te kunnen kijken naar de resultaten van de hoogwatergolf na kalibratie. Uit Bijlage III valt op te maken dat de hoogste waterstand (piek hoogwatergolf) voor de peilbuislocaties terug komt in de gemodelleerde pieken. Er is in het gekalibreerde model nog steeds sprake van zowel een onder- als een overschatting van de hoogwatergolf. Echter is met name de onderschatting gereduceerd ten opzichte van het niet gekalibreerde model.

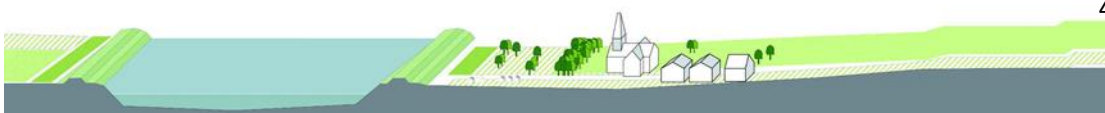




Figuur 5-3: RMSE waarden per getoetste peilbuis voor het gekalibreerde grondwatermodel.



Figuur 5-4: De gemiddelde relatieve fout per getoetste peilbuis voor het gekalibreerde grondwatermodel.



Tabel 7 toont de gemiddelde fout per peilbuis voor het model zonder kalibratie (referentie model) en de gemiddelde fout per peilbuis na kalibratie. De gemiddelde fout over 13 peilbuizen neemt met 4 cm af. Tabel 7 toont tevens de RMSE van het model met kalibratie minus het model zonder kalibratie (referentie model). De grootste winst is geboekt voor peilbuizen B79-11-1, Thornerbeek 6 en 7. De RMSE is hierbij met 9 cm tot 39 cm verbeterd.

Tabel 7: Resultaat model versus meting per peilbuis.

peilbuis	gemiddelde fout referentie (cm)	gemiddelde fout na kalibratie (cm)	RMSE kalibratie - referentie (cm)
B58C0364-1	-6,1	0,9	-7,0
B58C0366-1	-11,6	-12,2	0,6
B78-01-1	-35,3	-41,3	5,8
B78-02-1	17,7	17,4	-0,3
B78-03-1	-29,5	-26,6	-2,8
B79-01-1	6,6	8,2	0,9
B79-02-1	0,9	2,9	0,5
B79-03-1	-12,1	-8,2	-2,7
B79-04-1	-5,7	-3,6	-1,0
B79-11-1	-49,6	-5,6	-39,9
B79-12-1	-27,2	-58,1	31,1
Thornerbeek5	-105,4	-97,9	-9,1
Thornerbeek6	-36,2	-20,6	-21,8
Thornerbeek7	23,4	14,4	-9,6

5.5 Conclusie

Het model is verlengt voor periode 2013 - 2018 om de hoogwatergolven tussen 26 november 2017 en 12 januari 2018 te kunnen modelleren. het verlengde model is vervolgens gekalibreerd. De kalibratie heeft voornamelijk gezorgd voor een verbetering van de onderschatting. De overschatting is hier nagenoeg gelijk gebleven.

De aanpassingen van het verlengde model zijn vervolgens overgenomen in het IBRAHYM model waarmee de periode 1994-2011 is doorgerekend. In dat model wordt het retentiebekken ingevoerd.



6 Modellerings maatgevend hoogwater

Dit hoofdstuk beschrijft de berekeningen naar het effect van het retentiebekken. Eerst wordt de hoogwatersituatie net voor inzet van het retentiebekken berekend. Vervolgens wordt een maatgevende hoogwatersituatie zonder inzet van het retentiebekken berekend. Tot slot wordt de maatgevende hoogwatersituatie met retentiebekken vergeleken met de berekening zonder retentiebekken. Het model dat hierbij is gebruikt, is het stationaire model. De tijdsafhankelijke parameters die op basis van de kalibratie van het 2013 - 2018 instationaire model zijn bepaald zijn in het stationaire model ingevoerd.

Op basis van het resultaat wordt het effect van inzet van het retentiebekken op de grondwaterstand in de omgeving bepaald.

De berekeningen in dit hoofdstuk zijn uitgevoerd met het peil ten zuiden van de Koningsteendam gelijk aan de schematisatie in IBRAHYM. Daarbij wordt het peil in de Maas gevolgd, dat is NAP +24,1 m voor de inzet van het retentiebekken en NAP +24,4 m bij de inzet. De praktijk situatie is dat over de dam een peilverschil van 0,61 m ontstaat. (Waterschap Limburg, 2018). In het volgende hoofdstuk zijn daarvoor aanvullende berekeningen opgenomen.

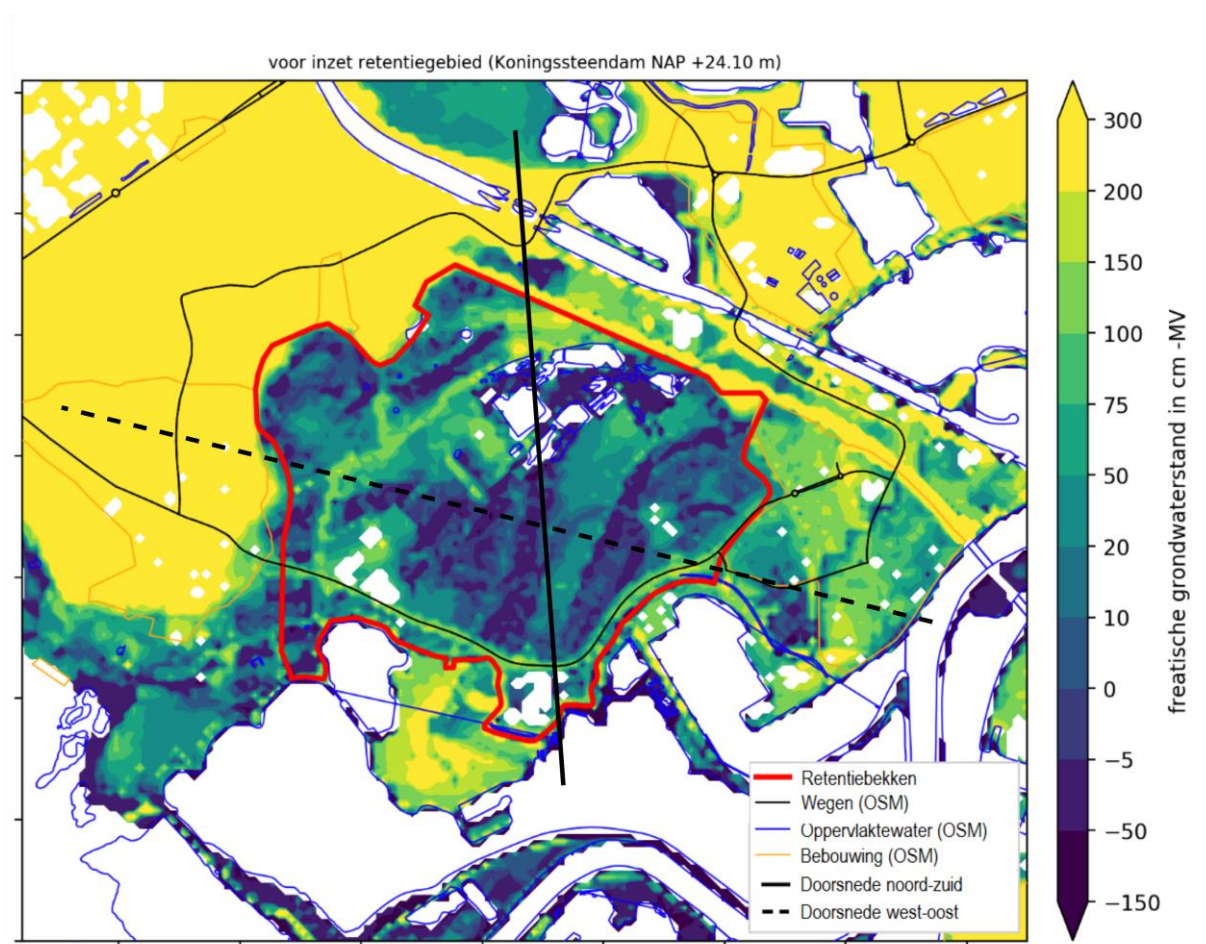
6.1 Hoogwater situatie - net voor inzet van retentiebekken

De kwelstroom voorafgaand aan de inzet van het bekken kan het bergingsvolume bij inzet reduceren, wanneer deze kwel niet tijdig kan worden afgevoerd. Daarom is een berekening gemaakt van de maximale kwelstroom, door de situatie te beschouwen net voordat het bekken wordt ingezet.

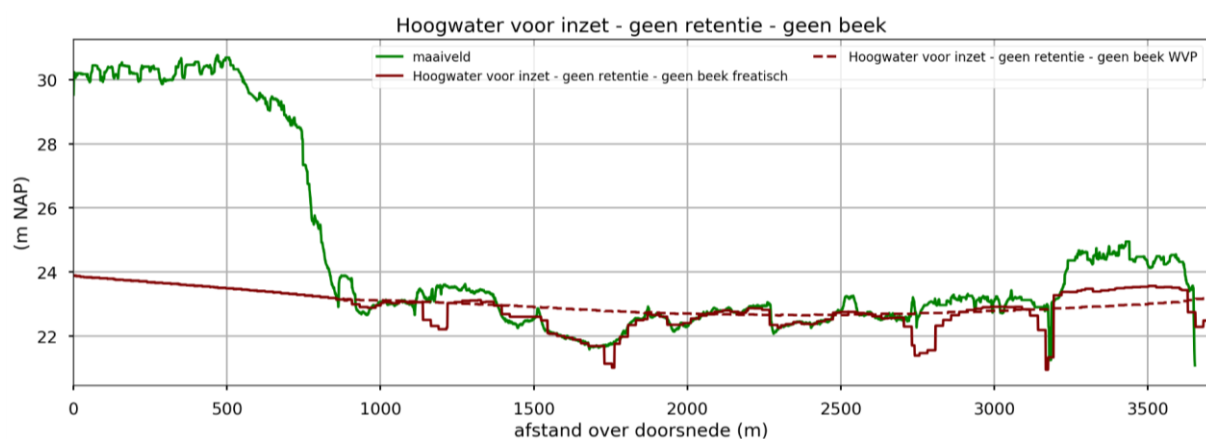
De situatie net voor de inzet van het retentiebekken is berekend via een stationaire berekening met Maaspeil van NAP +24.1 m. Dit is gelijk aan het niveau van de drempel.

Figuur 6-1 geeft de freatische grondwaterstand als kaart met daarin de locatie van de doorsneden. Figuur 6-2 en Figuur 6-3 geven doorsneden met de berekende freatische grondwaterstand en stijghoogte.



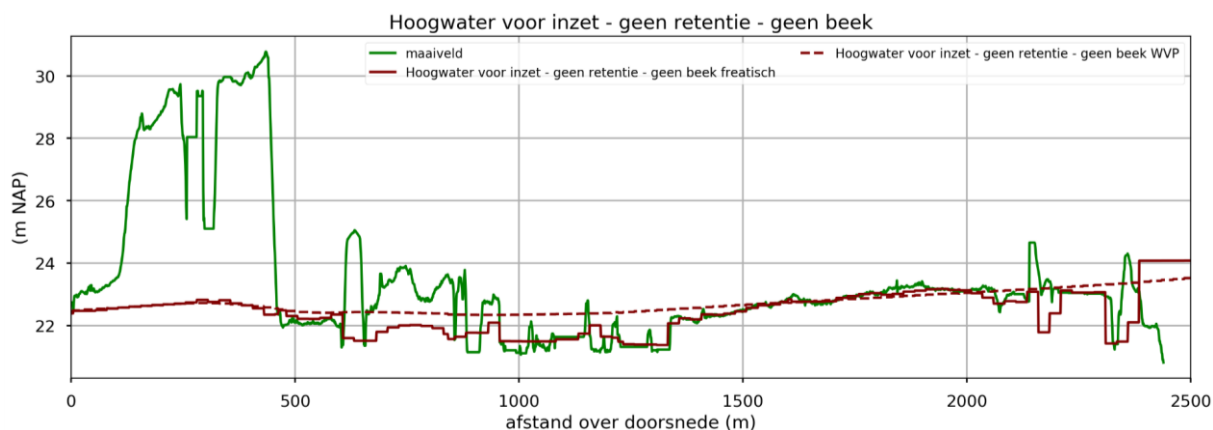


Figuur 6-1: Stationair berekende freatische grondwaterstand bij hoogwater net voor inzet retentiebekken (NAP +24,10 m). De doorsnede voor traject noord-zuid en west-oost zijn tevens opgenomen.



Figuur 6-2: Berekende grondwaterstand over west-oost doorsnede bij hoogwater (NAP +24.1 m), net voor inzet van retentiebekken (locatie doorsnede in Figuur 6-1)



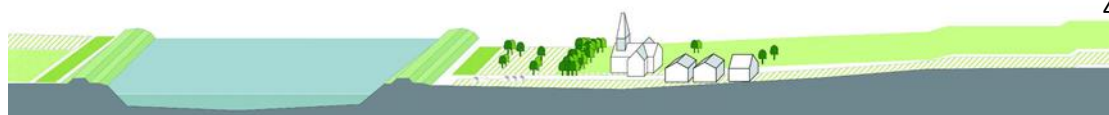


Figuur 6-3: Berekende grondwaterstand over noord-zuid doorsnede bij hoogwater (NAP +24.1 m), net voor inzet van retentiebekken (locatie doorsnede in Figuur 6-1).

Het grondwatermodel berekent dat in het grootste deel van het retentiebekken het grondwater in deze situatie boven maaiveld berekend is. In de praktijk zal dit water oppervlakkig afstromen, in het grondwatermodel gebeurt dit ook op een niveau van enkele centimeters boven maaiveld. Alleen bij de hoger gelegen delen binnen het retentiebekken is de grondwaterstand onder maaiveldniveau berekend.

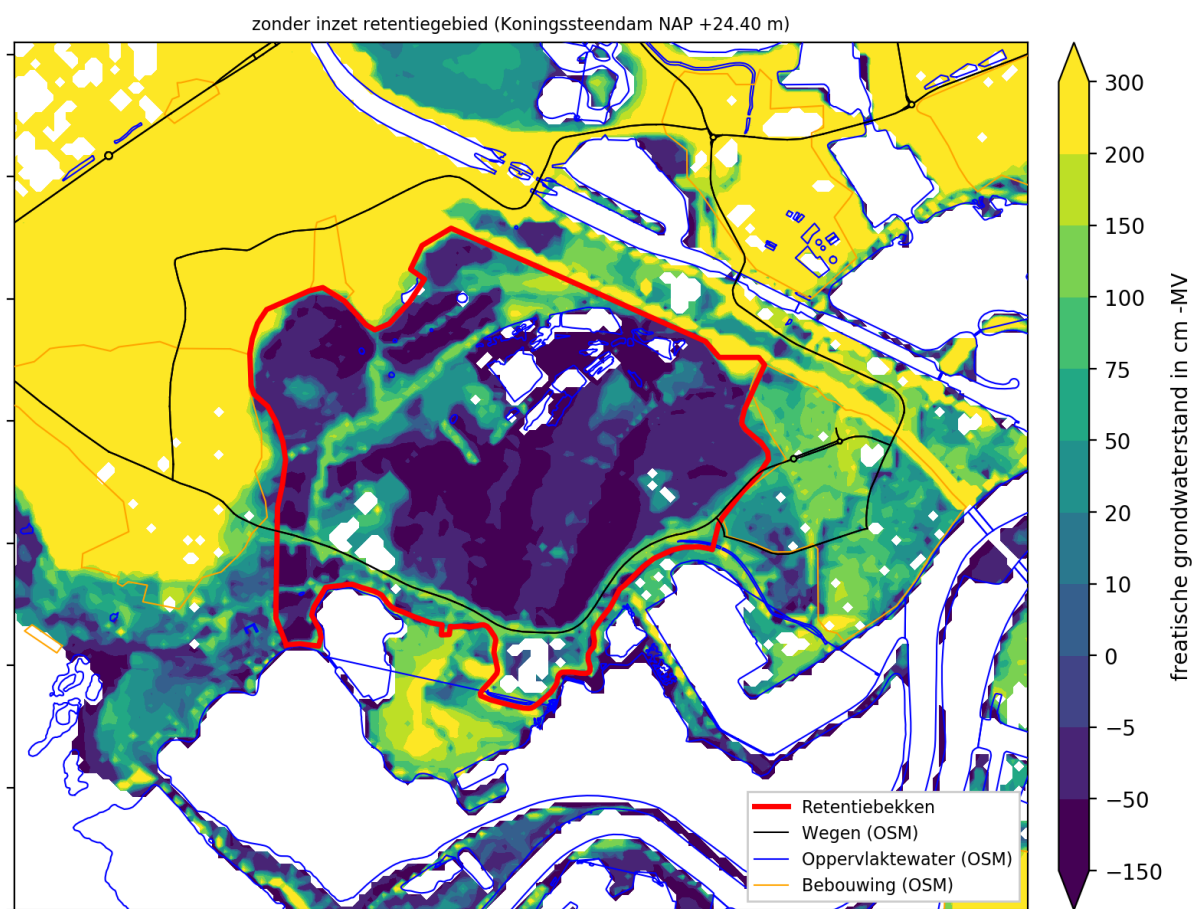
Om te bepalen wat de kwelflux is in deze situatie is de waterbalans bepaald voor de periode net voor de inzet van het retentiebekken. De waterbalans is gemaakt met de waterbalance tool in iMOD. Als waterbalansgebied is de grens van het retentiebekken aangehouden. De berekende kwelflux in het gebied is circa 23.000 m³/dag over circa 255 hectare, dit is een vlakdekkende kwelflux in het retentiebekken van circa 9 mm/dag. Als alle kwel via greppels en watergangen naar de beken kan stromen, dan kan het worden afgevoerd door de noodpomp in de Thornerbeek. De capaciteit van deze pomp is bij hoogwater 2,2 m³/s (paragraaf 2.6), de berekende kwelflux is 12% van dit debiet (circa 0,3 m³/s). Daarmee lijkt de capaciteit voldoende om de kwel af te voeren. Aandachtspunt is of voldoende greppels en watergangen aanwezig zijn om de kwel naar het gemaal te voeren.

De piekafvoer capaciteit van de beek door neerslag is 2,2 m³/s. De berekende kwel in het retentiegebied is circa 12% hiervan. Dit betekent dat nog 88% van de capaciteit van de beek beschikbaar is. Dus in bijna alle neerslagsscenario's kan de neerslag nog worden afgevoerd, behalve als de piekafvoer optreedt.



6.2 Hoogwater situatie - zonder retentiebekken

Als referentiesituatie is een berekening gemaakt zonder retentiebekken, maar met een maatgevend hoogwater op de Maas (NAP +24,38 m, ter hoogte van inlaat retentiebekken). Figuur 6-4 toont de berekende freatische grondwaterstand tijdens hoogwater en zonder inzet van het retentiebekken. Doorsneden met de berekende grondwaterstand en stijghoogte zijn in de volgende paragraaf opgenomen. De situatie is evenals omschreven in de vorige paragraaf stationair doorgerekend. De freatische grondwaterstand bereikt op veel plekken het maaiveld.



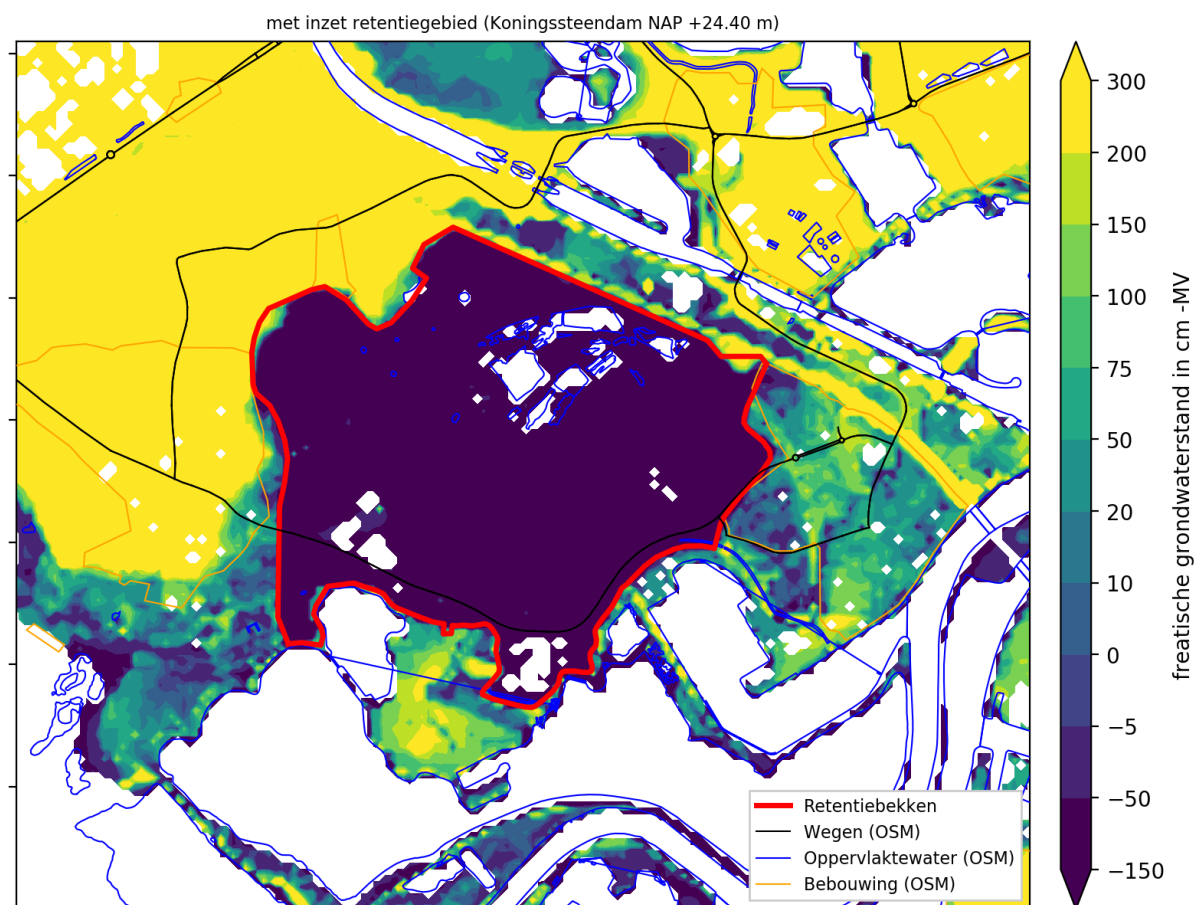
Figuur 6-4: Stationair berekende freatische grondwaterstand bij hoogwater zonder retentiebekken (NAP +24,38 m).



6.3 Hoogwater situatie - met retentiebekken

Vervolgens is de inzet het retentiebekken toegevoegd aan het grondwatermodel. Het peil van het water in het retentiebekken is gefixeerd op NAP +24,38 m¹.

Error! Reference source not found. Figuur 6-5 toont de berekende freatische grondwaterstand tijdens hoogwater en inzet van het retentiebekken. De situatie is net als in de vorige paragraaf stationair doorerekend.

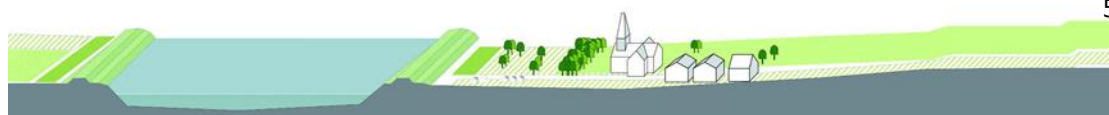


Figuur 6-5 : Stationair berekende grondwaterstand bij hoogwater met retentiebekken (NAP +24,38 m).

Figuur 6-6 toont het berekende effect van het retentiebekken op de freatische grondwaterstand ten opzichte van de hoogwatersituatie zonder retentiebekken (paragraaf 6.2). Het effect is ook zichtbaar op de twee doorsneden in Figuur 6-8 en Figuur 6-9.

Het effect op de freatische grondwaterstand strekt zich met name in noordwestelijke richting uit. Aan de zuidwestelijke zijde wordt geen of weinig effect van het retentiebekken op de freatische grondwaterstand berekend. Op deze locatie wordt vanwege de directe ligging naast het retentiebekken wel een

¹ Het peil is gefixeerd via een bodemweerstand van 0,1 dagen, het maaiveldniveau is ingesteld als bodemniveau en de infiltratiefactor op de standaardwaarde van 0,3.

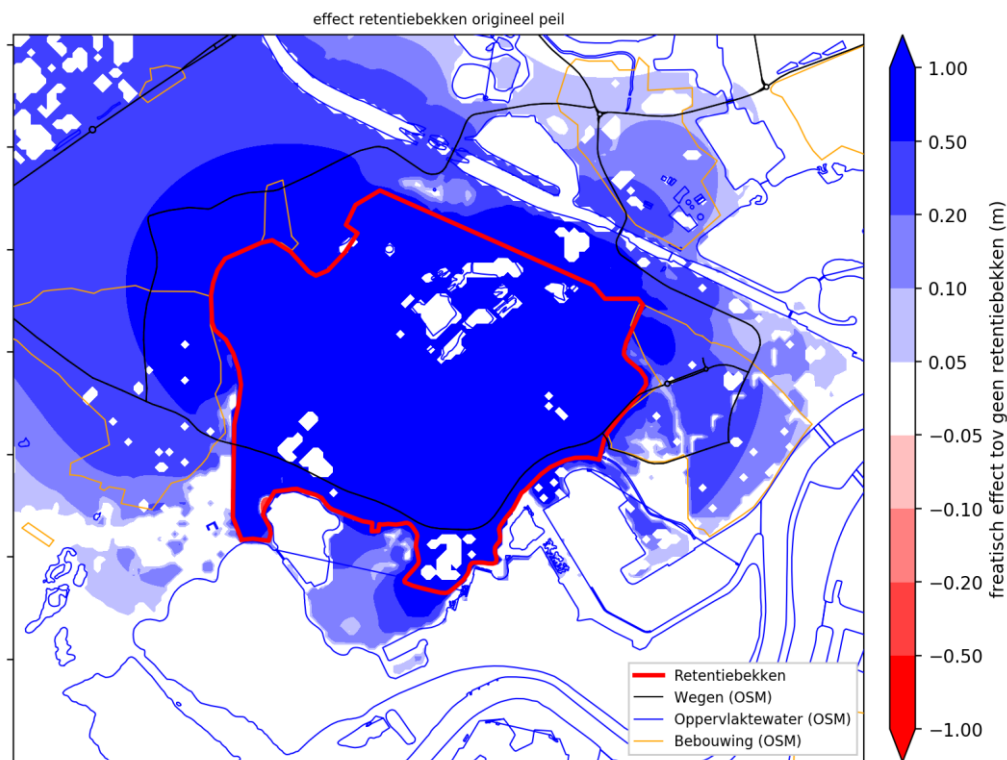


stijging van de freatische grondwaterstand verwacht. De verklaring voor het niet berekende effect is hier dat er in het model lokaal een hogere deklaagweerstand aanwezig is: enkele honderden dagen, ten opzichte van 1 tot 50 dagen in het gebied er omheen.

In de laag gelegen woonwijk aan de westkant van Wessem (tussen Thornerweg en Paardenbeemd) stijgen de kweldruk en de freatische grondwaterstanden bij inzet van het retentiebekken. De freatische grondwaterstand bereikt hierdoor op veel plekken het maaiveld. Ook in een zone aan de oostkant van Thorn, net buiten de hoge gronden, bereiken de freatische grondwaterstanden het maaiveld.

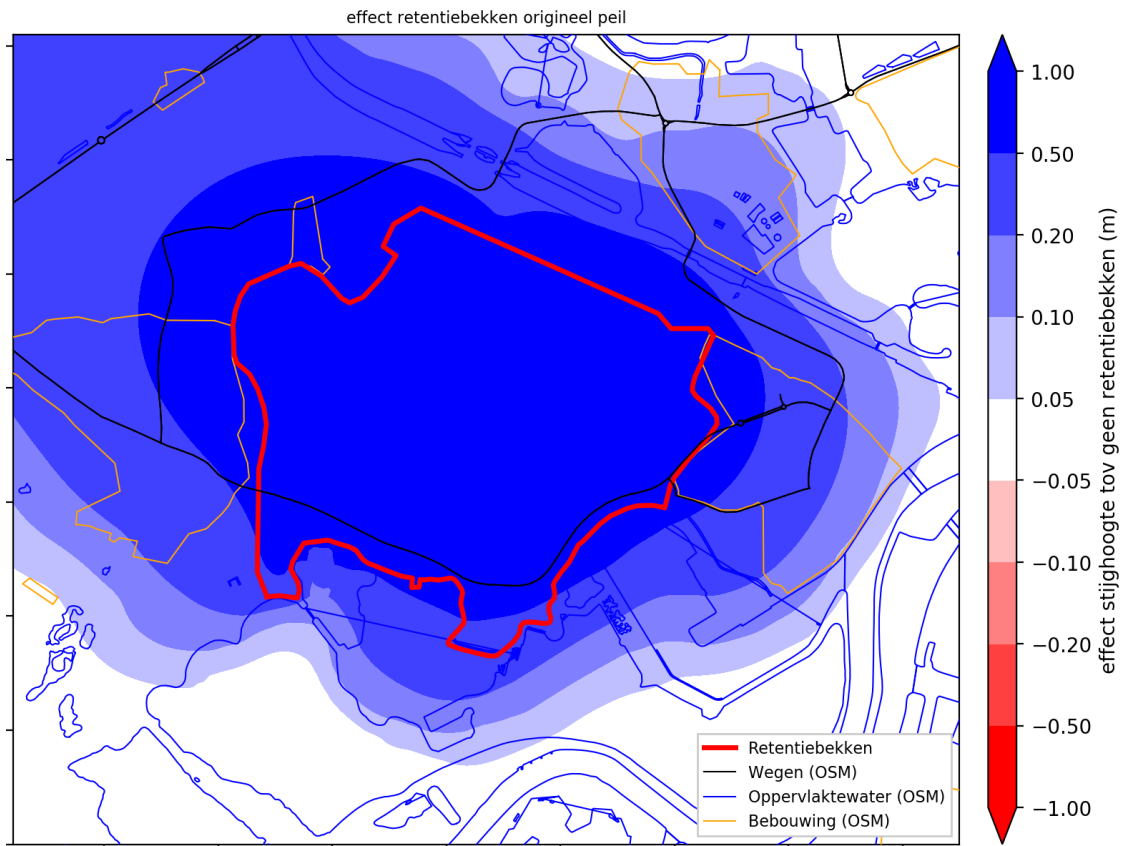
Tot slot is te zien dat het effect tot voorbij het noordelijk gelegen Kanaal Wessem-Nederweert uitstrekt. Dit komt doordat het kanaal een hoge bodemweerstand heeft. Er is nauwelijks uitwisseling tussen het kanaal en de omgeving. Figuur 6-7 laat zien dat het retentiebekken ook de stijghoogte in het watervoerende pakket beïnvloed, en daardoor een uitstralingseffect heeft naar het freatische grondwater aan de andere zijde van het kanaal.

Mitigerende maatregelen kunnen de berekende uitstralingseffecten mogelijk verminderen. Voorbeelden zijn de aanleg van een kwelsloot of een drainagesysteem. Een drainagesysteem tegen wateroverlast is reeds gerealiseerd in Bunde.



Figuur 6-6: Stationair berekend effect retentiebekken op grondwaterstand ten opzichte van situatie zonder retentiebekken voor freatisch peil.

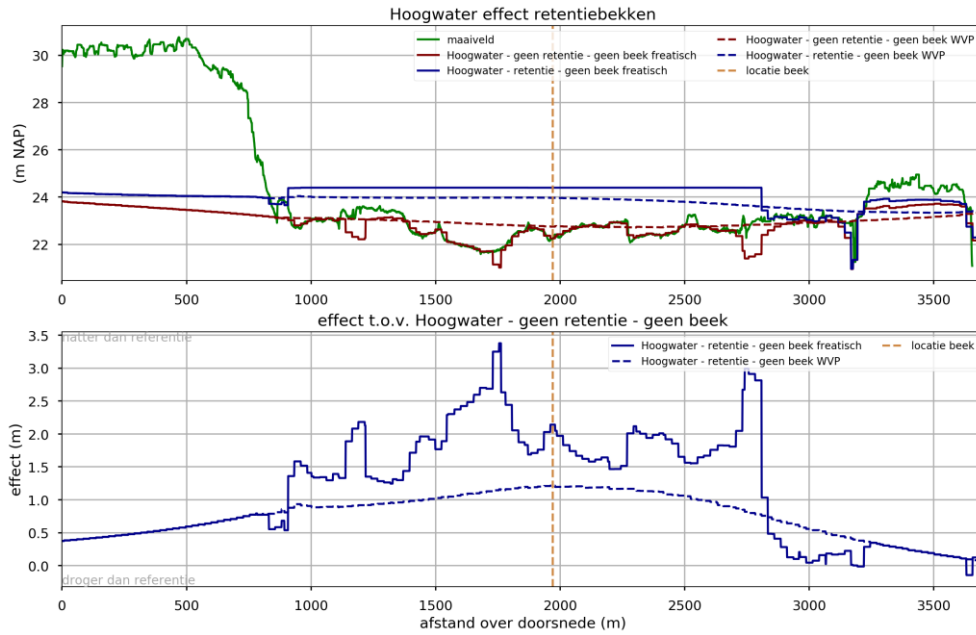




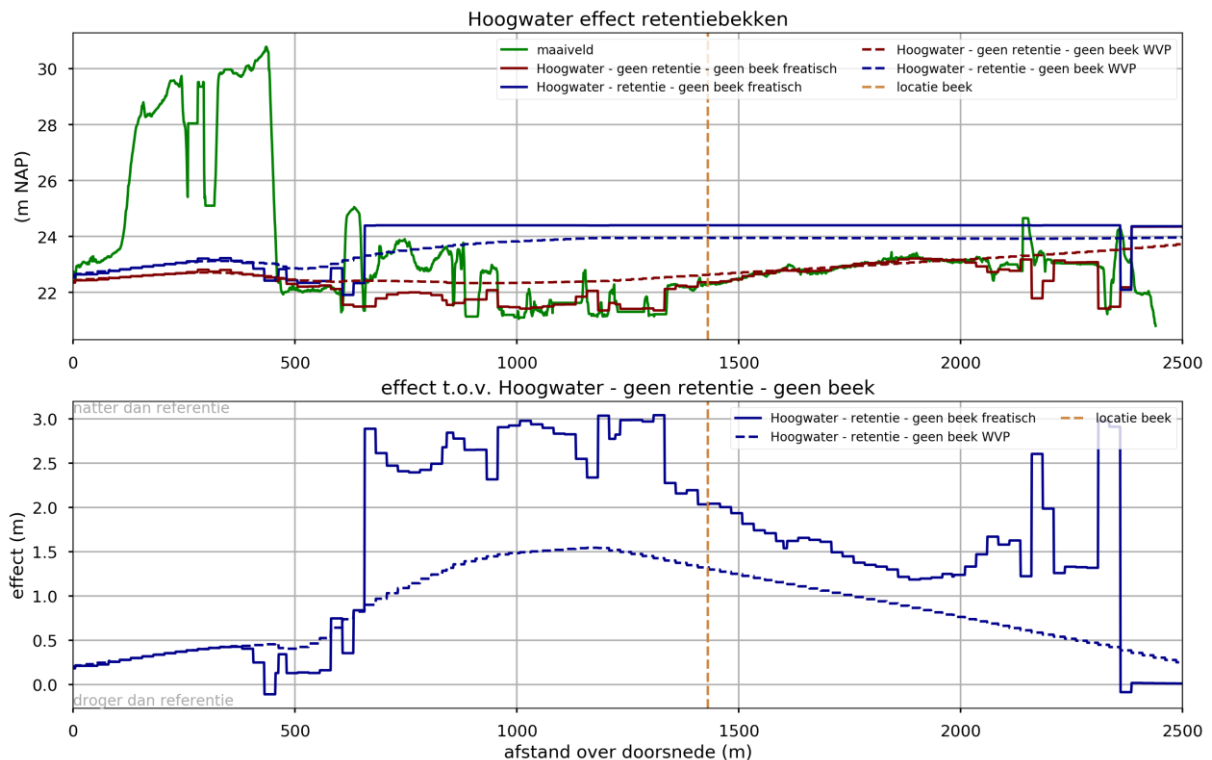
Figuur 6-7: Stationair berekend effect retentiebekken op stijghoogte ten opzichte van situatie zonder retentiebekken in WVP1.



HWBP Noordelijke Maasvallei



Figuur 6-8: Berekende grondwaterstand over west-oost doorsnede bij hoogwater (NAP +24,38 m) met en zonder retentiebekken (locatie doorsnede in figuur 6-1).



Figuur 6-9: Berekende grondwaterstand over noord-zuid doorsnede bij hoogwater (NAP +24,38 m), met en zonder retentiebekken (locatie doorsnede in figuur 6-1).



7 Modelling maatgevend hoogwater met aangepast peil bij Koningsteendam

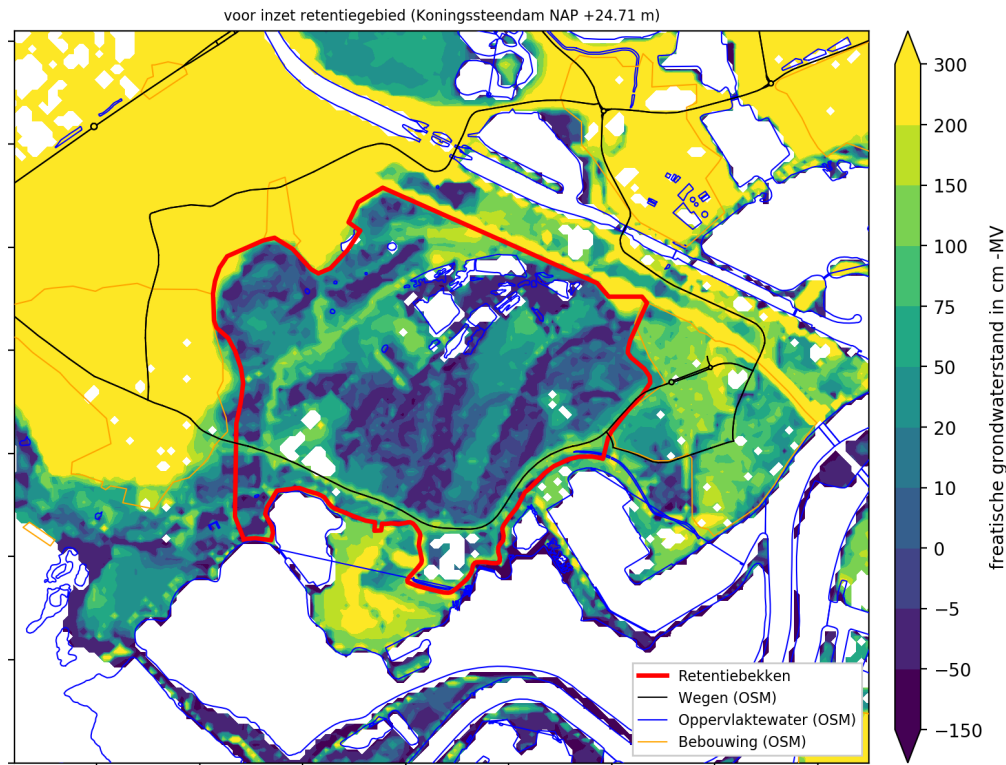
Dit hoofdstuk bevat dezelfde scenario's als in hoofdstuk 6, alleen bij een verhoging van het peil ten zuiden van de Koningsteendam met 0,61 m ten opzichte van de schematisatie in IBRAHYM. Een hoger peil kan leiden tot een grotere kwelflux richting het gebied Thorn Wessem.

Het effect van het retentiebekken voor, zonder (referentie) en tijdens inzet is weergegeven in respectievelijk paragraaf 7.1, 7.2 en 7.3. Zowel de freatische grondwaterstand, stijghoogte in WVP1 en de kwelflux zijn weergegeven als vlakdekkende kaarten opgenomen in bijlage V, VI en VII. Tot slot is het effect van de aanpassing op de kwel ten opzichte van de schematisatie in IBRAHYM besproken in paragraaf 7.4

7.1 Hoogwater situatie -net voor inzet retentiebekken - aangepast peil

Figuur 7-1 toont de berekende freatische grondwaterstand ten opzichte van maaiveld. In bijlage V zijn de berekeningen voor paragraaf 6.1 en 7.1 onder elkaar gezet om de invloed van de peilaanpassing op de freatische grondwaterstand, stijghoogte en kwelflux in beeld te brengen. Het effect beperkt zich tot de directe omgeving van de Koningsteendam.



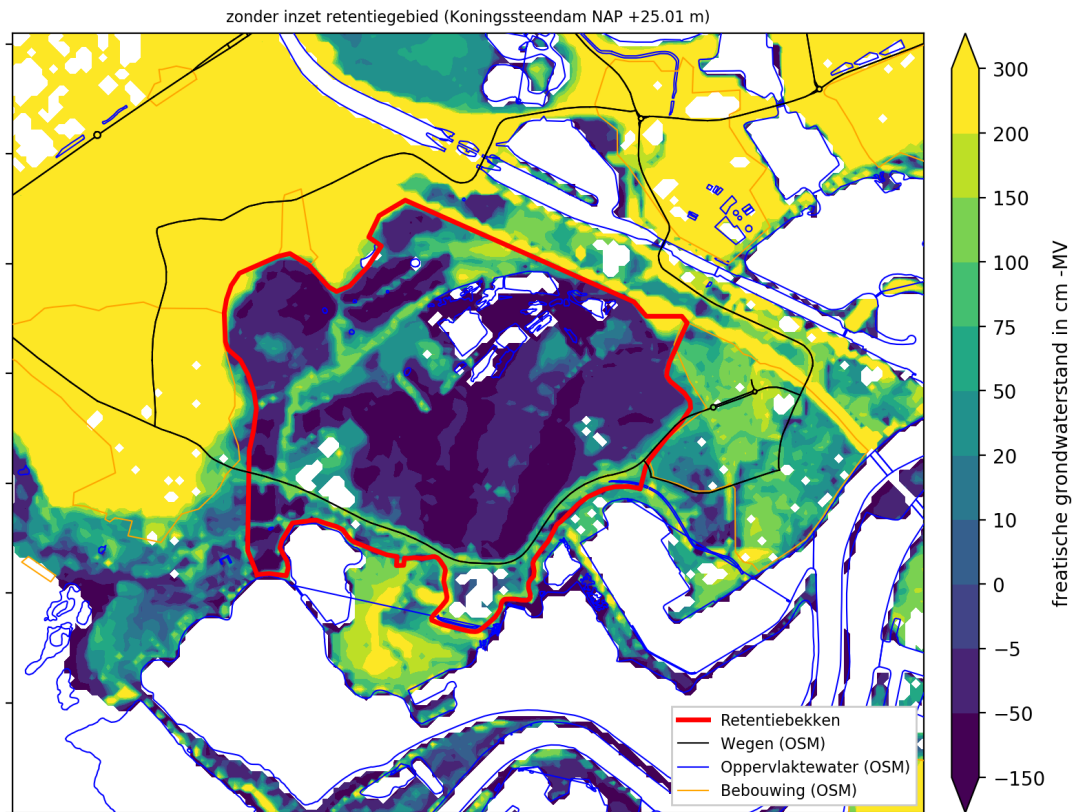


Figuur 7-1: Stationair berekende freatische grondwaterstand bij hoogwater net voor inzet retentiebekken (NAP +24,71 m).

7.2 Hoogwater situatie - zonder retentie - aangepast peil

Als referentiesituatie is een berekening gemaakt zonder retentiebekken, maar met een maatgevend hoogwater op de Maas (NAP +24,38 m, ter hoogte van inlaat retentiebekken) en met het aangepaste peil ten zuiden van de Koningssteendam. Figuur 7-2 toont de berekende freatische grondwaterstand tijdens hoogwater en zonder inzet van het retentiebekken. De onderstaande figuur komt sterk overeen met Figuur 6-4. In bijlage VI zijn de berekeningen voor paragraaf 6.2 en paragraaf 7.2 onder elkaar gezet om de invloed van de peilaanpassing op de freatische grondwaterstand, stijghoogte en kwelflux in beeld te brengen.





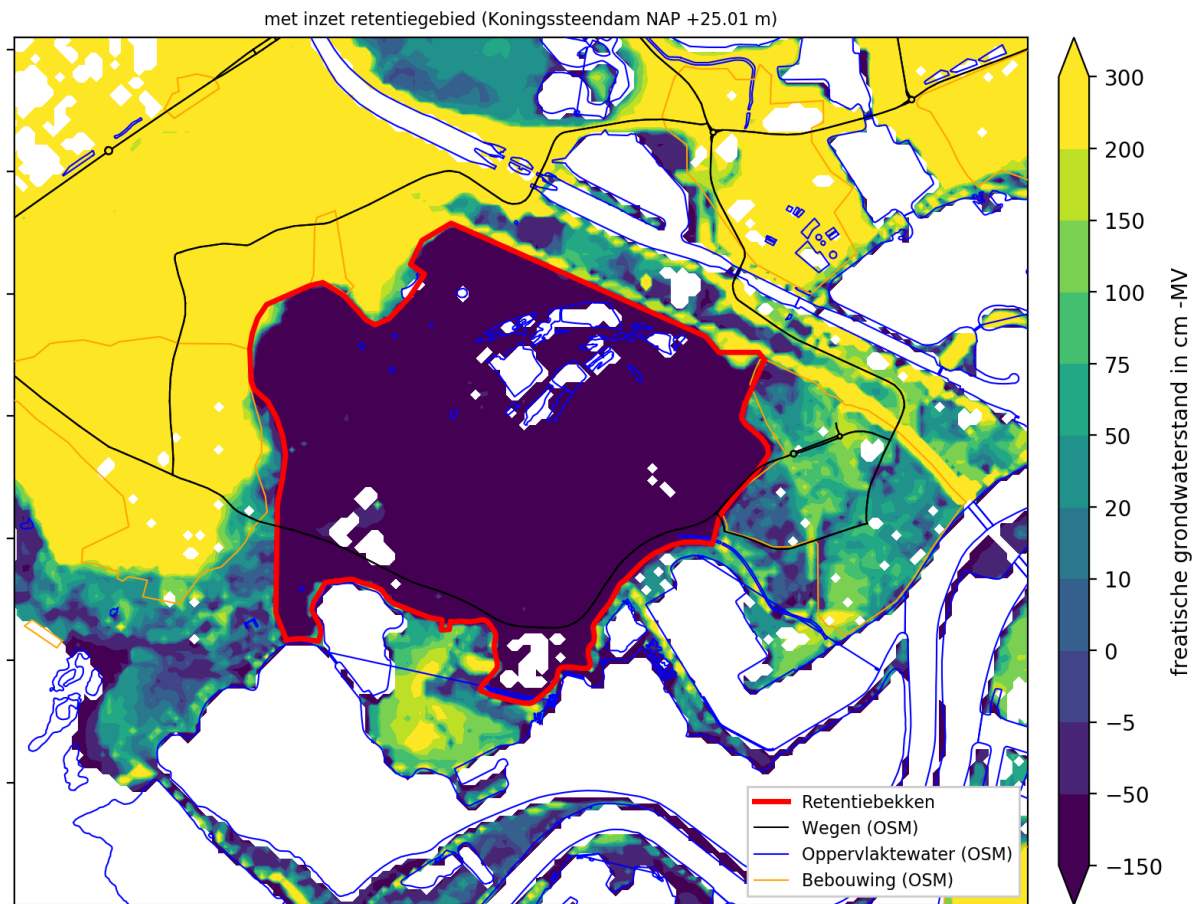
Figuur 7-2 : Stationair berekende freatische grondwaterstand bij hoogwater zonder retentiegebied (NAP +25,01 m).

7.3 Hoogwater situatie - met retentie - aangepast peil

Figuur 7-3 toont de berekende freatische grondwaterstand tijdens hoogwater en inzet van het retentiegebied. *Figuur 7-4* geeft het effect van de inzet weer. De situatie is net als in de vorige paragraaf stationair doorgerekend. In bijlage VII zijn de berekeningen voor 6.3 en 7.3 onder elkaar gezet om de invloed van de peilaanpassing op de freatische grondwaterstand, stijghoogte en kwelfflux in beeld te brengen. Het effect beperkt zich tot de directe omgeving van de Koningssteendam.

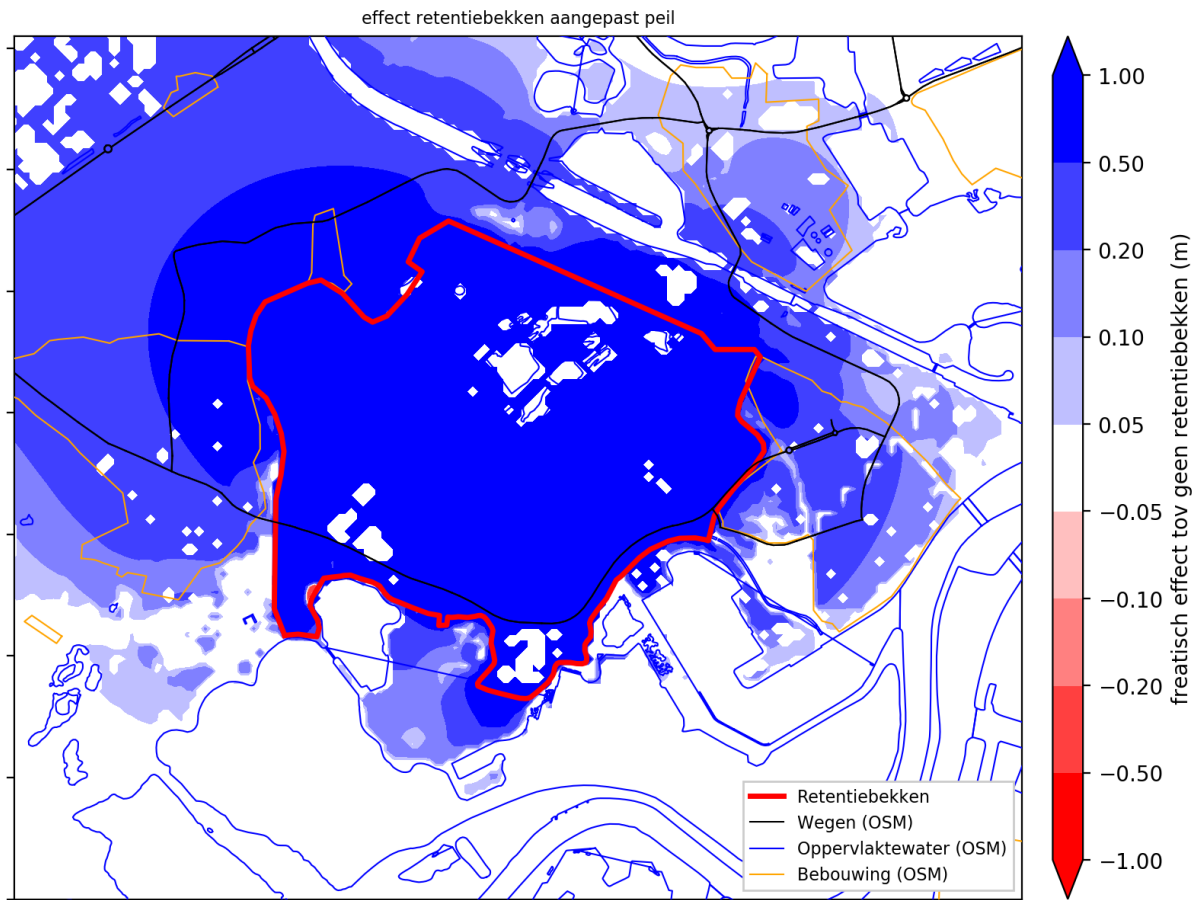


HWBP Noordelijke Maasvallei



Figuur 7-3 : Stationair berekende grondwaterstand bij hoogwater met retentiebekken (NAP +25,01 m).





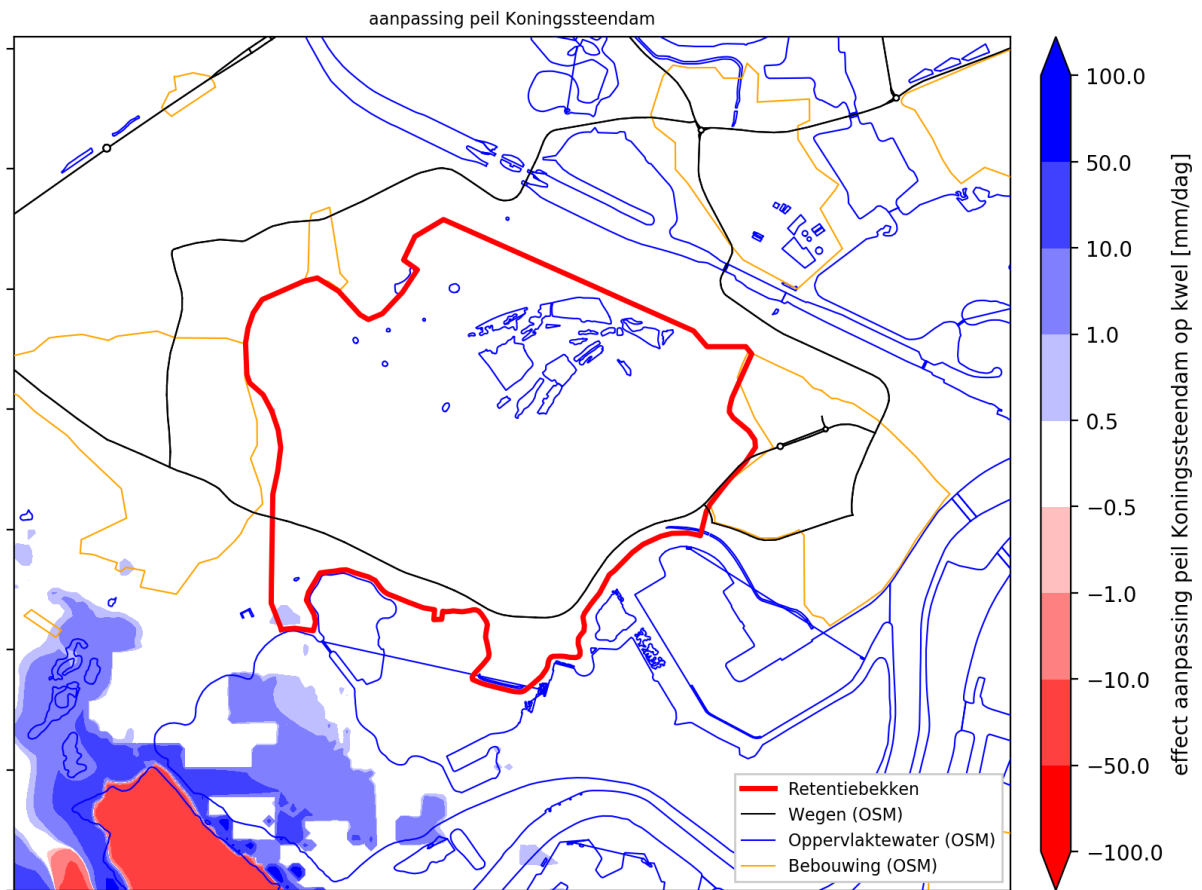
Figuur 7-4: Stationair berekend effect retentiebekken op grondwaterstand ten opzichte van situatie zonder retentiebekken voor freatisch peil.

7.4 Effect peilaanpassing op kwelflux

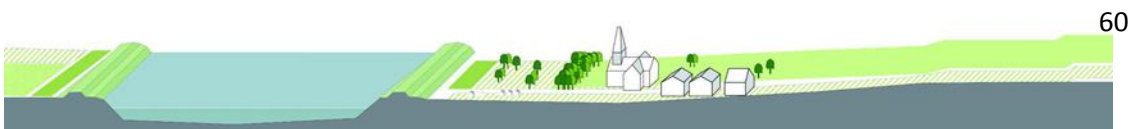
Om het effect van de peilaanpassing ten zuiden van de Koningsteendam in beeld te brengen is het verschil bepaald in kwelflux tussen peil in IBRAHYM en het parktijk peil. Figuur 7-5 toont de effectberekening. Het effect van het aangepaste peil op de kwelflux is ca. 0,1 mm/dag in de directe omgeving en het uiterste zuidwesten van het retentiebekken. Daarmee is de invloed verwaarloosbaar voor de bergingscapaciteit van het retentiebekken. Het berekende effect van kwel op het waterbergende vermogen uit paragraaf 6.1 is daarmee ongewijzigd.



HWBP Noordelijke Maasvallei



Figuur 7-5 Effect van de peilaanpassing ten zuiden van de Koningsteendam op de kwelflux



8 Modelleren beekomleging

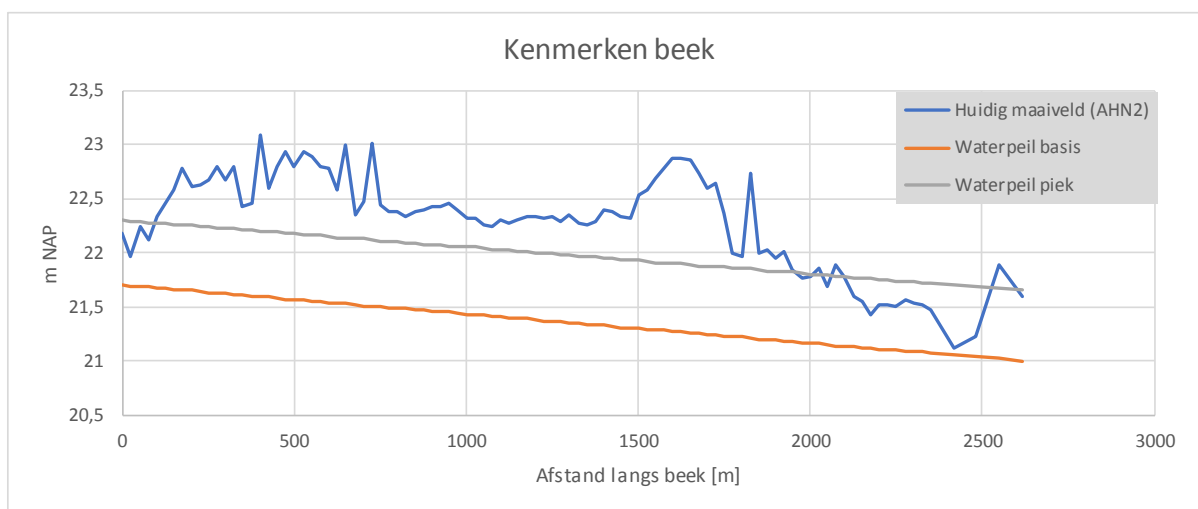
Dit hoofdstuk beschrijft de berekeningen die zijn uitgevoerd om het effect van de beekomleging (Waterschap Limburg 2017c, variant 3) op de omgeving te bepalen. Deze berekeningen zijn met een stationair model berekend.

8.1 Kenmerken beek

Om de beek in te voeren in het grondwatermodel zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- Beekdal wordt circa 60 m breed;
- De waterdiepte bij gemiddeld peil is circa 0,5 m;
- De breedte op de waterlijn wordt circa 5 m.
- Er is een bodemweerstand (intree/uittreeweerstand) toegekend van 5 dagen, conform de bodemweerstand van de huidige Thornerbeek.
- Daar waar de beek wordt aangelegd wordt de deklaag (deels) vergraven. Er is in eerste instantie gerekend met het volledig doorgraven van de deklaagweerstand op de locatie van de beek. De deklaagweerstand is dus verwijderd ter plaatse van de voorgestelde beekloop.

Voor de beek is een gemiddeld peil en een piek-peil afgeleid. Onderstaande grafiek tonen deze.



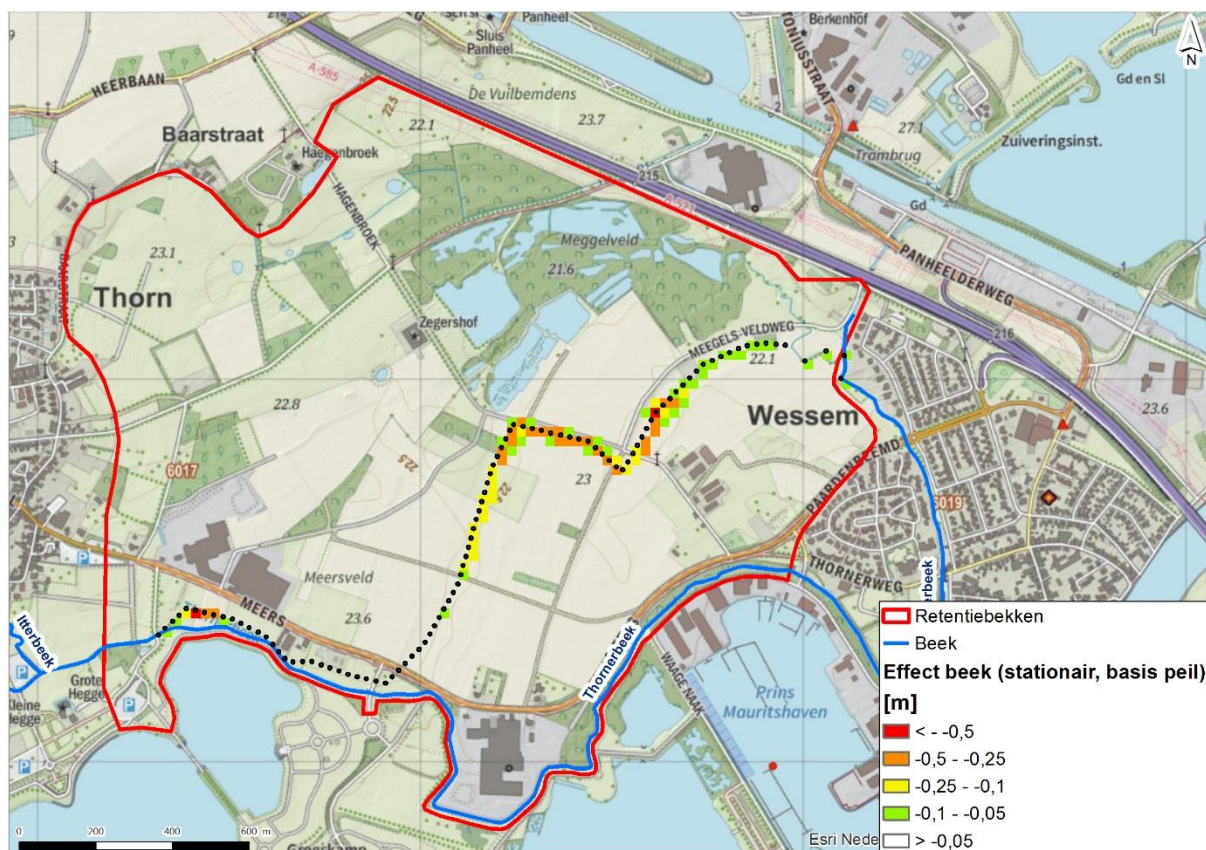
Figuur 8-1: Waterpeil peilen variant 3 Thornerbeek.

8.2 Berekend effect beek in gemiddelde situatie

Eerst is het effect van de beek bepaald voor de gemiddelde stationaire situatie met een gemiddeld peil, om een indicatie te krijgen of de beek invloed heeft op de grondwaterstand in de omgeving, waaronder het natuurgebied het Meggelveld. Hieronder is het resultaat weergegeven. Dit is een eerste indicatie, er



worden verdere berekeningen uitgevoerd met het instationaire model zodat effecten op de GxG en doelrealisaties voor landbouw en natuurdoeltypen bepaald kunnen worden.



Figuur 8-2: Berekend effect op freatische grondwaterstand bij gemiddeld peil beek.

Uit de figuur volgt dat er een zeer beperkt effect is berekend van de beek in een gemiddelde situatie. Het beperkte drainerende effect past bij de lage doorlatendheid van de deklaag (paragraaf 4.1.3). Er is geen verlagend effect berekend in het natuurgebied Meggelveld.

Het berekende effect op de stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket nabij de beek is kleiner dan 5 cm. De eventuele kwelstroom naar het Meggelveld wordt daardoor dus niet beïnvloed.

8.3 Berekend effect beek in hoogwatersituatie met retentiebekken

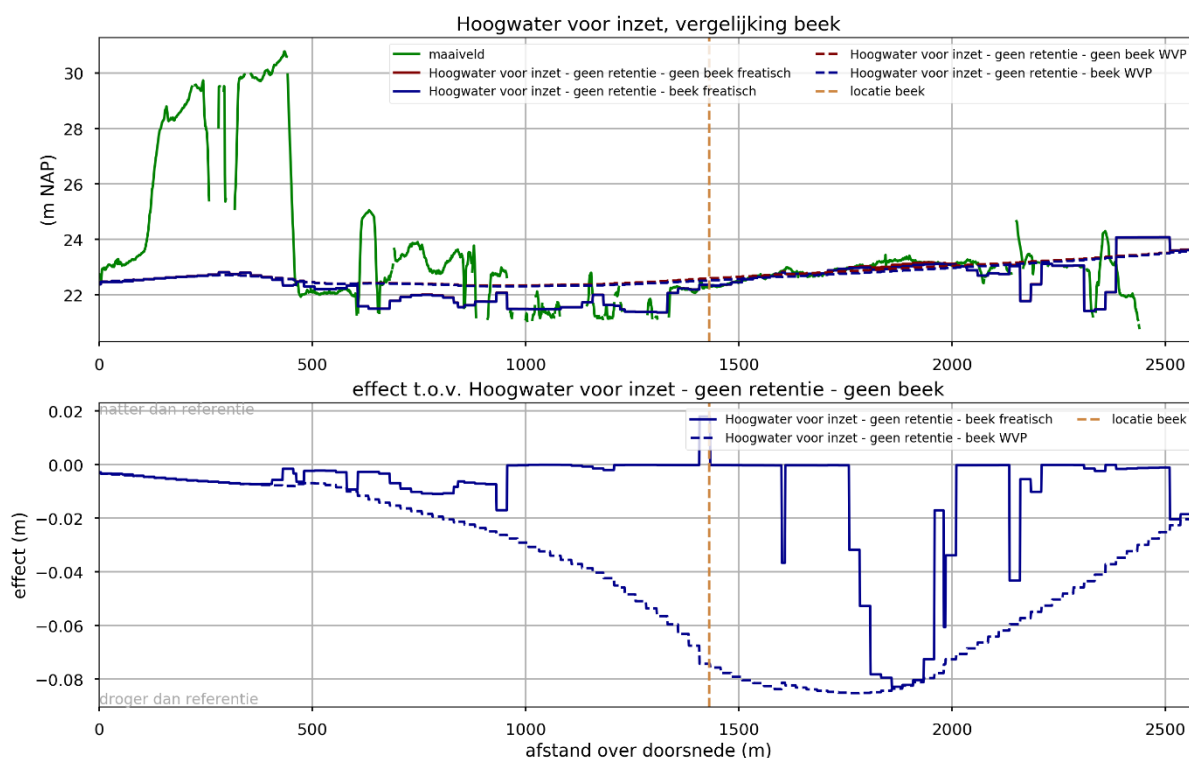
Door aanleg van de beek verandert de deklaagweerstand ter plaatse van de beekloop. Hier wordt de deklaag (deels) vergraven. In geval van hoogwater en de inzet van het retentiebekken kan dit leiden tot (versterkte) effecten op de grondwaterstand in de omgeving. Er zijn daarom twee berekeningen uitgevoerd voor de hoogwatersituatie met de beek:



- Moment vlak voor inzet van het bekken, conform paragraaf 6.1;
- Bij inzet van het bekken, conform paragraaf 6.3.

Moment vlak voor inzet van het bekken

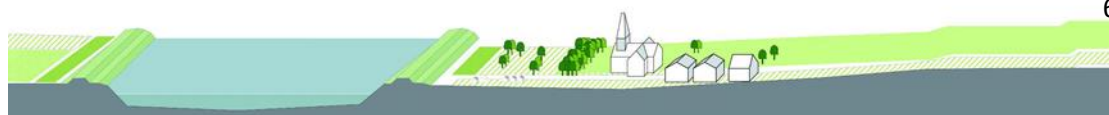
Figuur 8-3 geeft via de noord-zuid doorsnede de berekende freatische grondwaterstand en stijghoogte vlak voor inzet van het bekken weer in huidige situatie (geen beek) en met de beek. De berekende waterstanden zijn nagenoeg gelijk. De onderste plot laat wel zien dat de berekende stijghoogte (blauwe stippellijn) met de beek circa 0,1 m lager ligt dan zonder de beek. Dit is het drainerende effect van de beek. De freatische grondwaterstand wijzigt nagenoeg niet, omdat deze door de hoge kweldruk al aan maaiveld ligt. De berekende kwelstroom naar het bekken neemt toe met minder dan 10%.



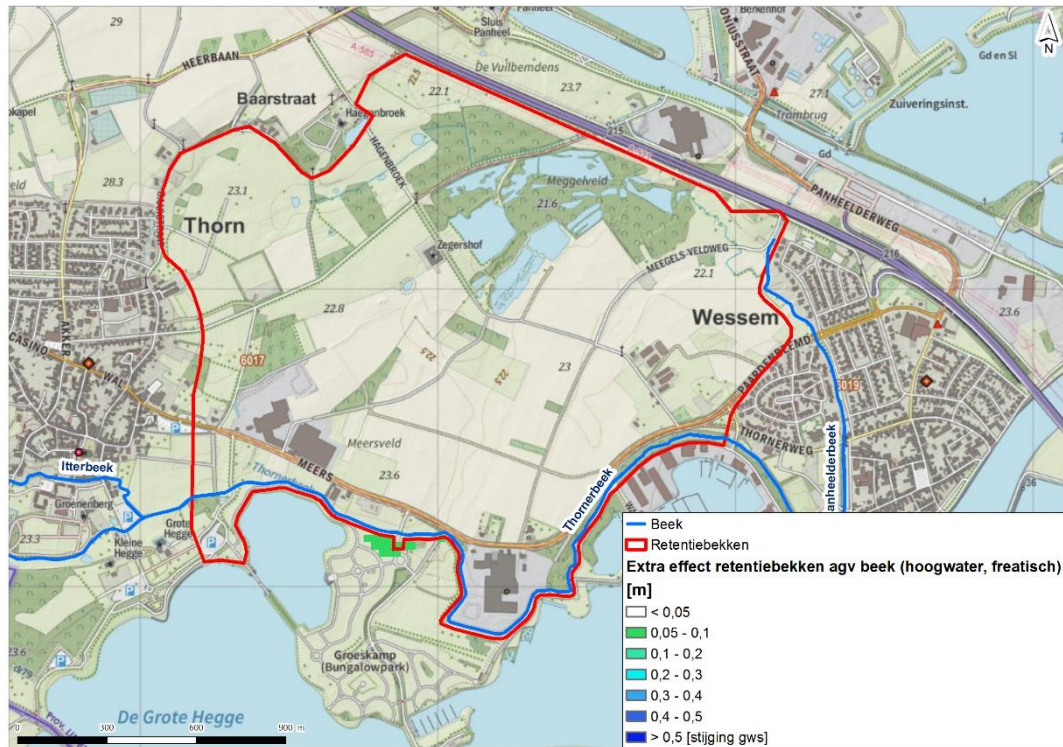
Figuur 8-3: Noord-zuid doorsnede met berekende freatische grondwaterstand en stijghoogte vlak voor inzet van het bekken in huidige situatie (geen beek) en met de beek (locatie doorsnede in 6.3)

Bij inzet van het bekken

Het effect bij inzet van het bekken is weergegeven ten opzichte van het berekende effect van inzet retentiebekken zonder beek (paragraaf 6.3). Dit geeft het extra effect van de beek weer. Figuur 8-4 toont het effect op de freatische grondwaterstand. Figuur 8-5 toont het effect op de stijghoogte. De berekende freatische grondwaterstand buiten het retentiebekken wijzigt niet in deze berekening, behalve een stijging van maximaal 0,1 m ter hoogte van de

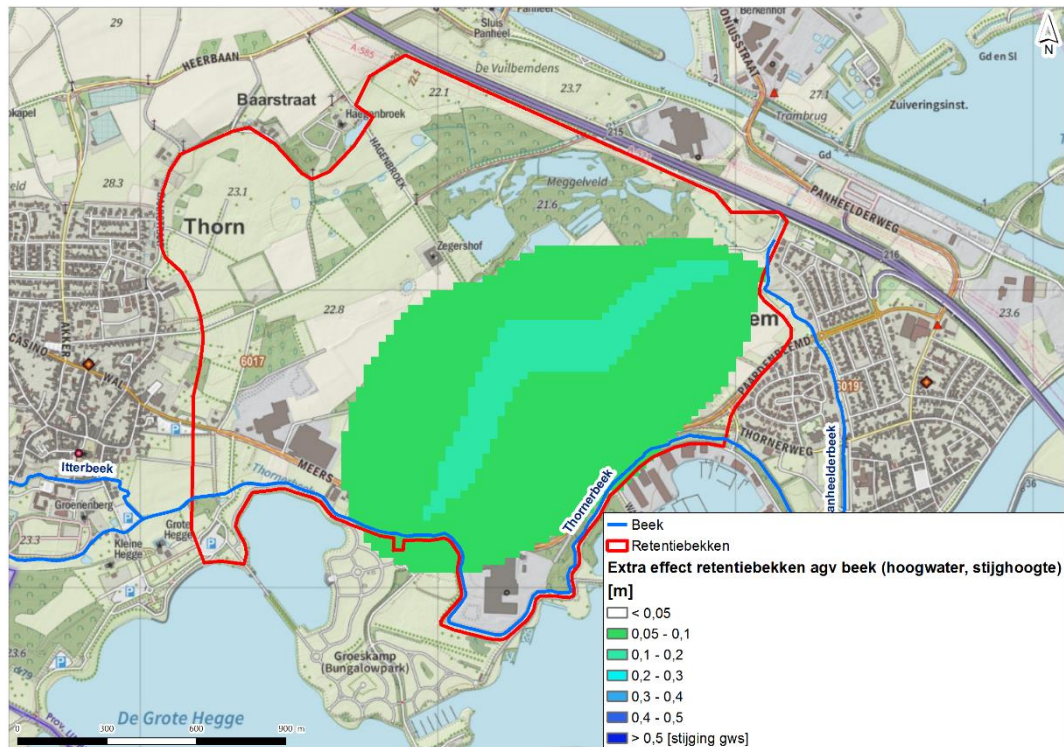


Groeskamp door infiltratie vanuit het retentiebekken. Dit is ook zichtbaar op de opgenomen west-oost doorsnede in Figuur 8-6.



Figuur 8-4: Berekend effect beekherstel bij inzet retentiebekken op freatische grondwaterstand ten opzichte van retentiebekken zonder beekherstel.

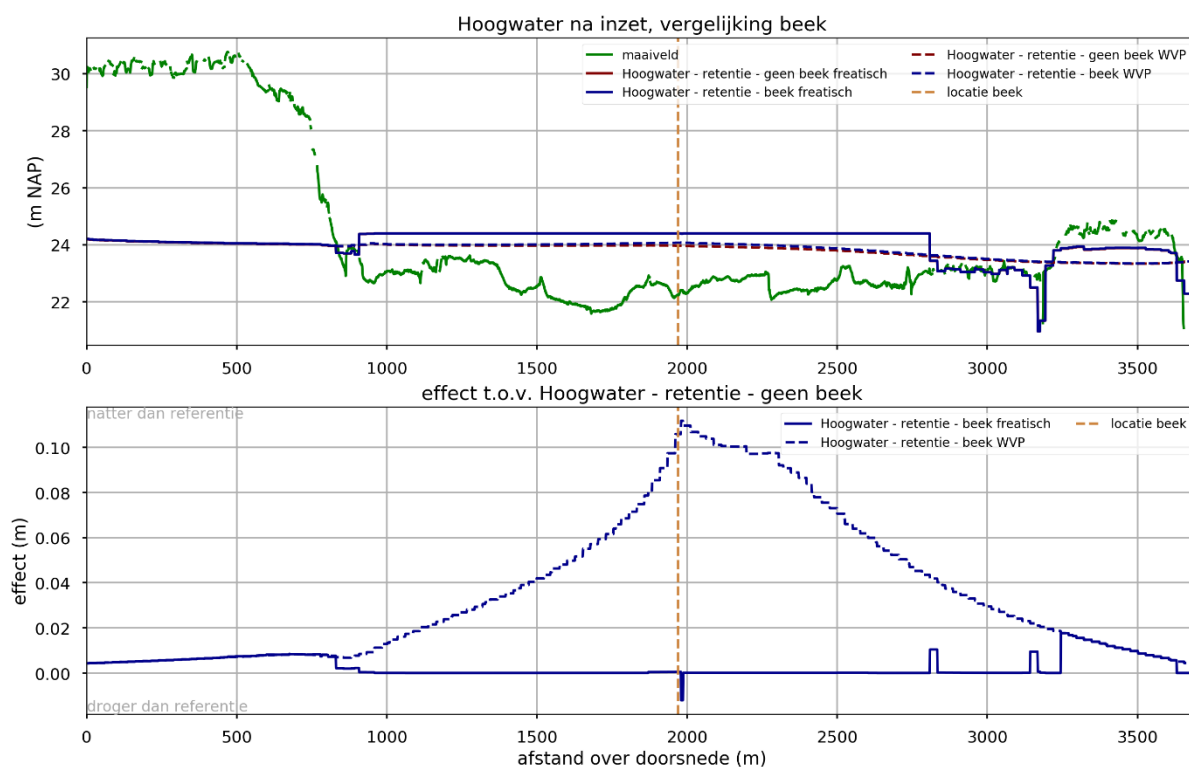




Figuur 8-5: Berekend effect beekherstel bij inzet retentiebekken op stijghoogte ten opzichte van retentiebekken zonder beekherstel.



HWBP Noordelijke Maasvallei



Figuur 8-6: Berekend effect beekherstel over west-oost doorsnede bij inzet retentiebekken op freatische grondwaterstand en stijghoogte ten opzichte van retentiebekken zonder beekherstel. (locatie doorsnede in 6.3)



9 Conclusies en aanbevelingen

In dit rapport is de geohydrologische situatie van het retentiebekken bij Thorn en Wessem beschouwd. Om de onderzoeksvragen te beantwoorden is het IBRAHYM grondwatermodel aangepast om de effecten van het retentiebekken en beekomlegging te kunnen berekenen.

De volgende aanpassingen zijn gemaakt aan het model ten opzichte van het referentie IBRAHYM model:

- Er is een modeluitsnede gemaakt rondom het retentiebekken.
- De horizontale doorlatendheid van de deklaag is aangepast op basis van beschikbaar grondonderzoek.
- Het bestand dat oppervlakkige afstroming bepaalt is aangepast.

Vervolgens is een kalibratie uitgevoerd: gemeten grondwaterstanden zijn vergeleken met een instationaire modelberekening. Hierbij bleek dat er praktisch geen geschikte langjarige grondwaterstandsmetingen in het retentiegebied zijn. De aanvullend geplaatste peilbuizen van het Waterschap Limburg geven wel aanvullende informatie, maar bevatten nog geen gemeten pieken van de Maaswaterstand. Op basis van de beperkte beschikbare kalibratieset is de bodemweerstand van de Maas aangepast van 5 naar 3 dagen, dit geeft een (lichte) verbetering van de modelprestatie.

Omdat er inmiddels meer peilbuizen beschikbaar zijn in het gebied is vervolgens de modelperiode verlengd en is een model doorgerekend met de modelperiode 2013-2018. In deze periode valt de hoogwater situatie van december 2017. Omdat er daarvan peilbuismetingen beschikbaar zijn is dit model gebruikt om het IBRAHYM model verder te kalibreren. Door aanpassing van een aantal modelparameters is een lichte verbetering van de modelprestaties bewerkstelligd.

De verbeteringen die met het model 2013-2018 zijn gehaald zijn vervolgens weer in het stationaire model ingevoerd. In dit model is het Maaspeil omgezet naar een maatgevend hoogwatersituatie. Daarmee zijn berekeningen uitgevoerd mét, net voor en zonder inzet van het retentiebekken.

Hoeveel kwel stroomt er naar het retentiebekken en welke invloed heeft dit op de beschikbare berging?

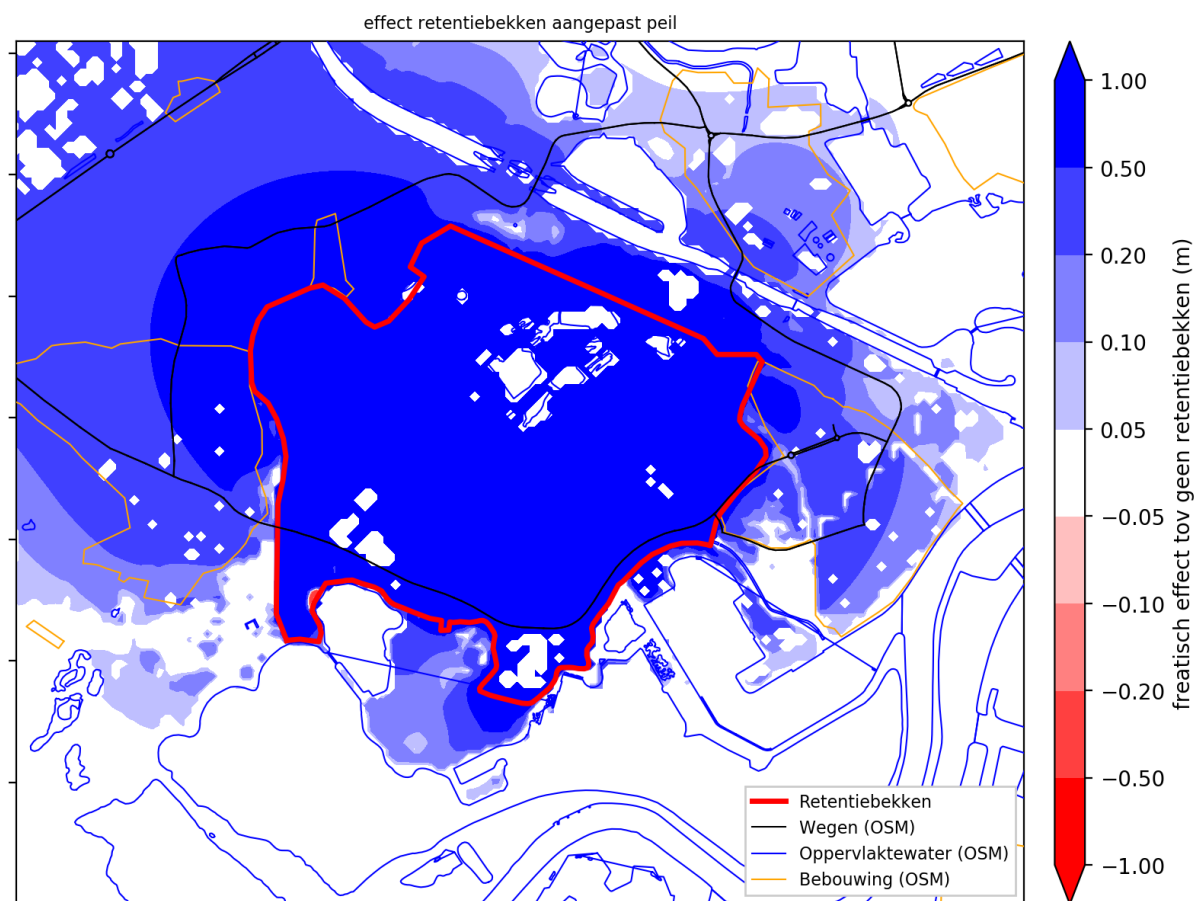
De berekende kwelflux vlak voor inzet is circa 23.000 m³/dag over circa 255 hectare , dit is een vlakdekkende kwelflux in het retentiebekken van circa 9 mm/dag. De capaciteit van de noodpomp in de Thornerbeek is bij hoogwater 2,2 m³/s (paragraaf 2.6), de berekende kwelflux is dan 12% van dit debiet



(circa 0,27 m³/s). Daarmee lijkt de capaciteit voldoende om de kwel af te voeren. Aandachtspunt is of voldoende greppels en watergangen aanwezig zijn om de kwel naar de noodpomp af te voeren. De berekende kwelflux is niet gevoelig voor een hoger peil ten zuiden van de Koningsteendam.

Welk effect heeft een gevuld retentiebekken op de omgeving en in welke mate kan wateroverlast verwacht worden?

Figuur 9-1 toont het berekende effect op de freatische grondwaterstand door de inzet van het retentiebekken met een peil van NAP +24,38 m ten opzichte van de hoogwatersituatie zonder retentiebekken. Het effect op de freatische grondwaterstand strekt zich met name in noordwestelijke richting uit. Het berekende effect strekt tot voorbij het noordelijk gelegen Kanaal Wessem-Nederweert, omdat het kanaal een hoge bodemweerstand heeft. Figuur 9-2 geeft de berekende grondwaterstand weer ten opzichte van maaiveld.



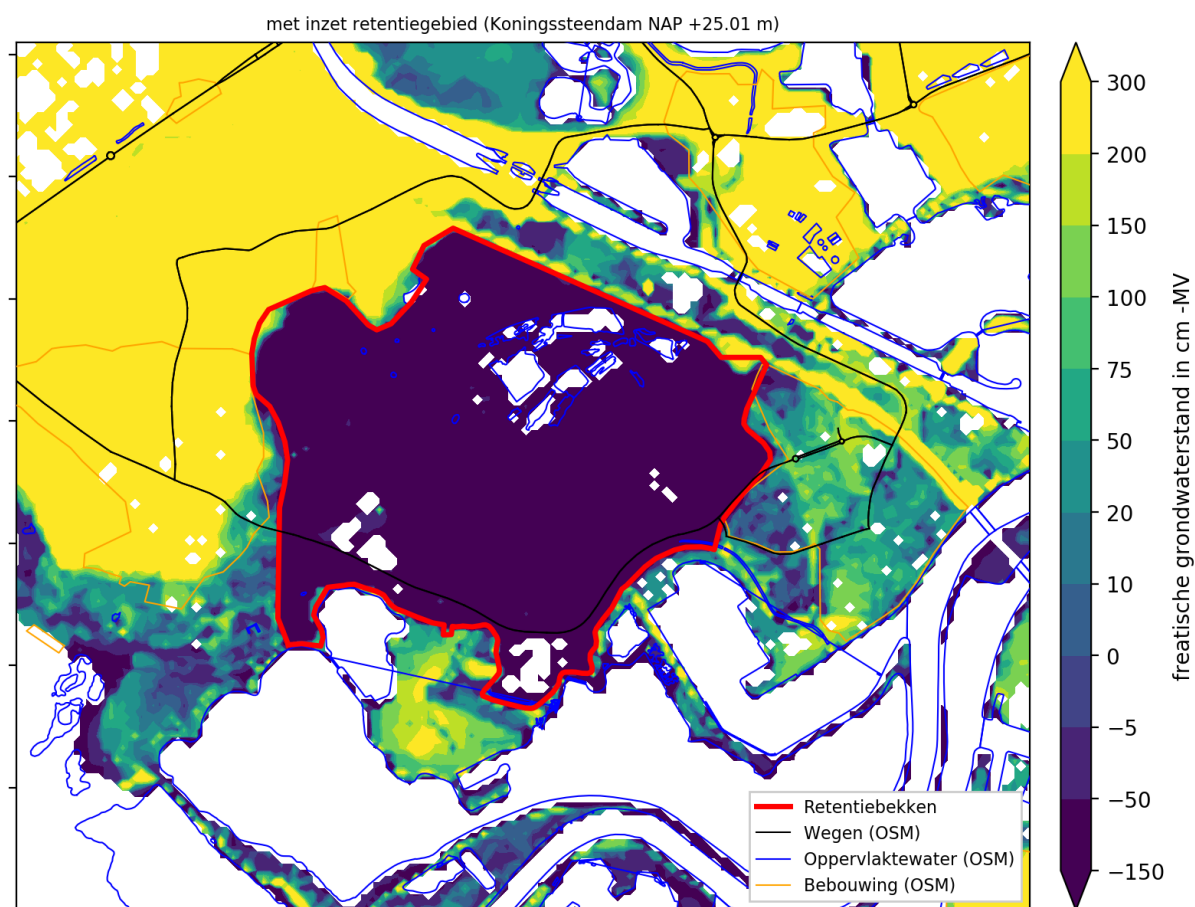
Figuur 9-1: Stationair berekend effect retentiebekken op grondwaterstand ten opzichte van situatie zonder retentiebekken freatisch peil.

In de lage delen van Wessem wordt een stijging van de grondwaterstand van 0 tot 0,4 m berekend. Dit kan leiden tot (een toename van) wateroverlast, die afhankelijk is van de huidige situatie.



In de laag gelegen woonwijk aan de westkant van Wessem (tussen Thornerweg en Paardenbeemd) stijgen de kweldruk en de freatische grondwaterstanden bij inzet van het retentiebekken. De freatische grondwaterstand bereikt hierdoor op veel plekken het maaiveld. Ook in een zone aan de oostkant van Thorn, net buiten de hoge gronden, bereiken de freatische grondwaterstanden het maaiveld.

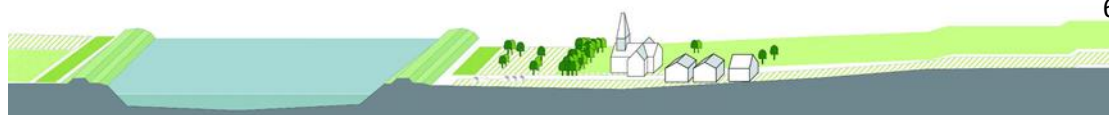
Mitigerende maatregelen kunnen de berekende uitstralingseffecten mogelijk verminderen. Voorbeelden zijn de aanleg van een kwelsloot of een drainagesysteem. Een drainagesysteem tegen wateroverlast is reeds gerealiseerd in Bunde.



Figuur 9-2: Stationair berekende grondwaterstand bij hoogwater met retentiebekken (NAP +24,4 m)

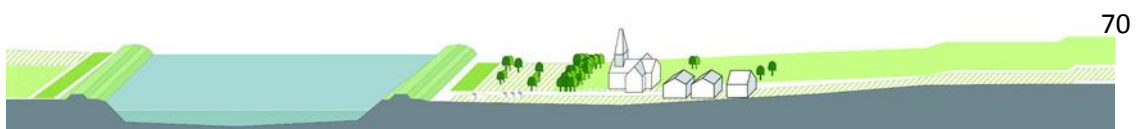
Welk effect heeft het verleggen van de Thornerbeek? Zowel voor de dagelijkse omstandigheden in relatie tot de aanwezige natuur, als op de situatie vlak voor inzet retentiebekken en tijdens inzet retentiebekken.

Het effect tijdens dagelijkse omstandigheden is niet opgenomen in dit rapport.



Uit Figuur 8-2 volgt dat er een zeer beperkt effect is berekend van de beek in een gemiddelde situatie. Het beperkte drainerende effect past bij de lage doorlatendheid van de deklaag (paragraaf 4.1.2.). Er is geen verlagend effect berekend in het natuurgebied Meggelveld.

Het berekende effect op de stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket nabij de beek is kleiner dan 5 cm. De eventuele kwelstroom naar het Meggelveld wordt daardoor dus niet beïnvloed. Na inzet van het retentiebekken wordt geen extra (verhogend) effect door de aanleg van de beekloop op de grondwaterstand buiten het retentiebekken berekend.



10Referenties

- Waterschap Limburg, 2017a, memo 'interpretatie grondonderzoek Thorn-Wessem', kenmerk IO.022.010-CON-1.0-Me, d.d. 14 juni 2017;
- Waterschap Limburg, 2017b, memo 'systeemwerking Thorn-Wessem'; d.d. 25 september 2017.
- Waterschap Limburg, 2017c, rapport 'Beektraject Thornerbeek, Dijktraject Thorn/Wessem', 90% versie d.d. 10-11-2017.
- Waterschap Limburg, 2018, HR_Koningssteendam.

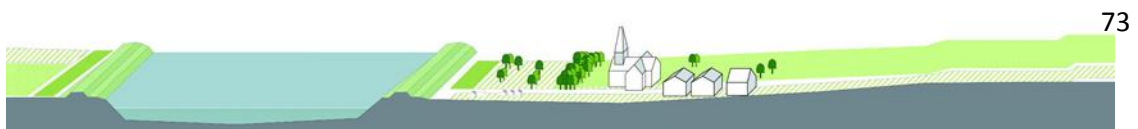


Bijlage I Locaties boringen waterschap Limburg

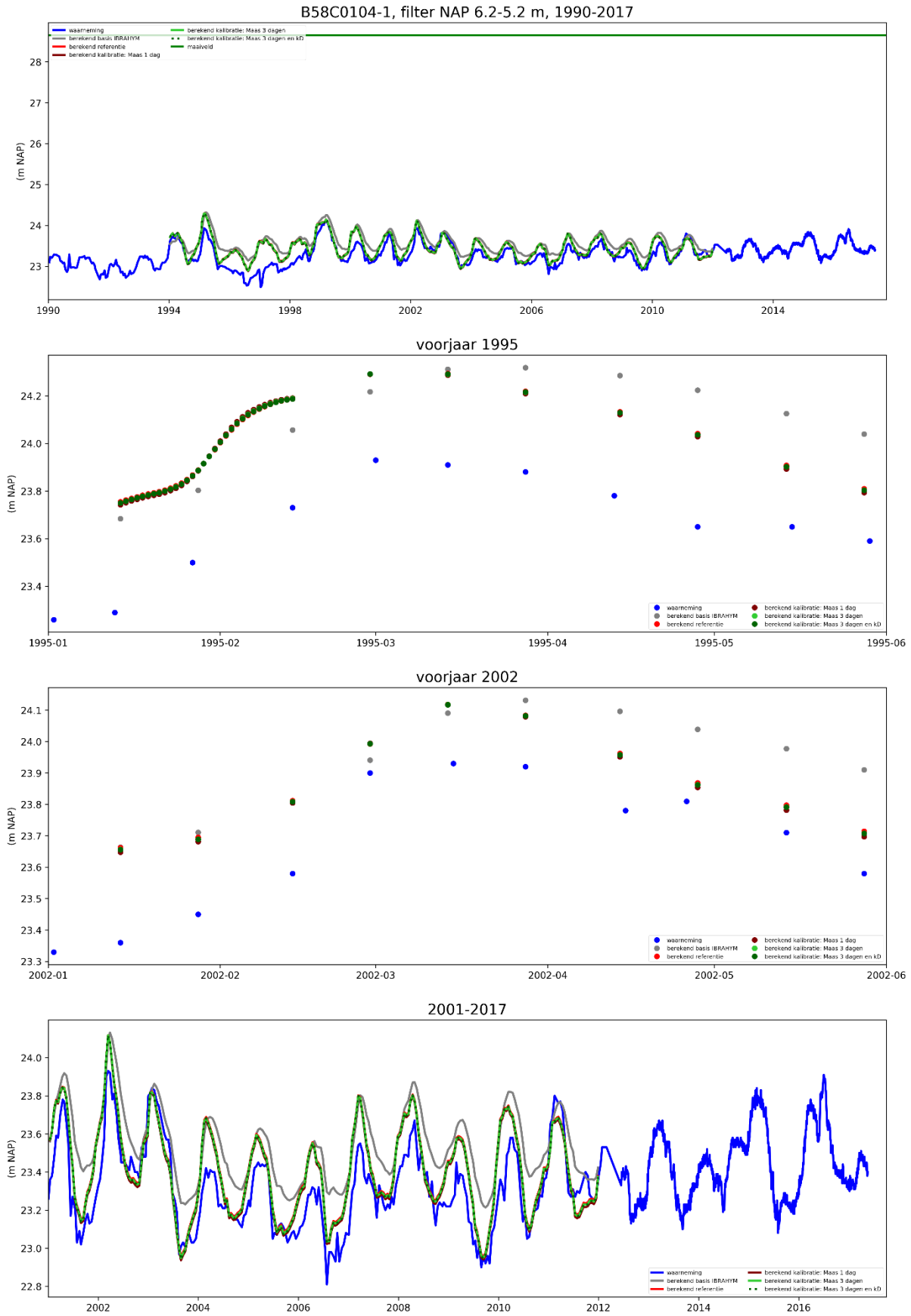
Kaart peilbuizen



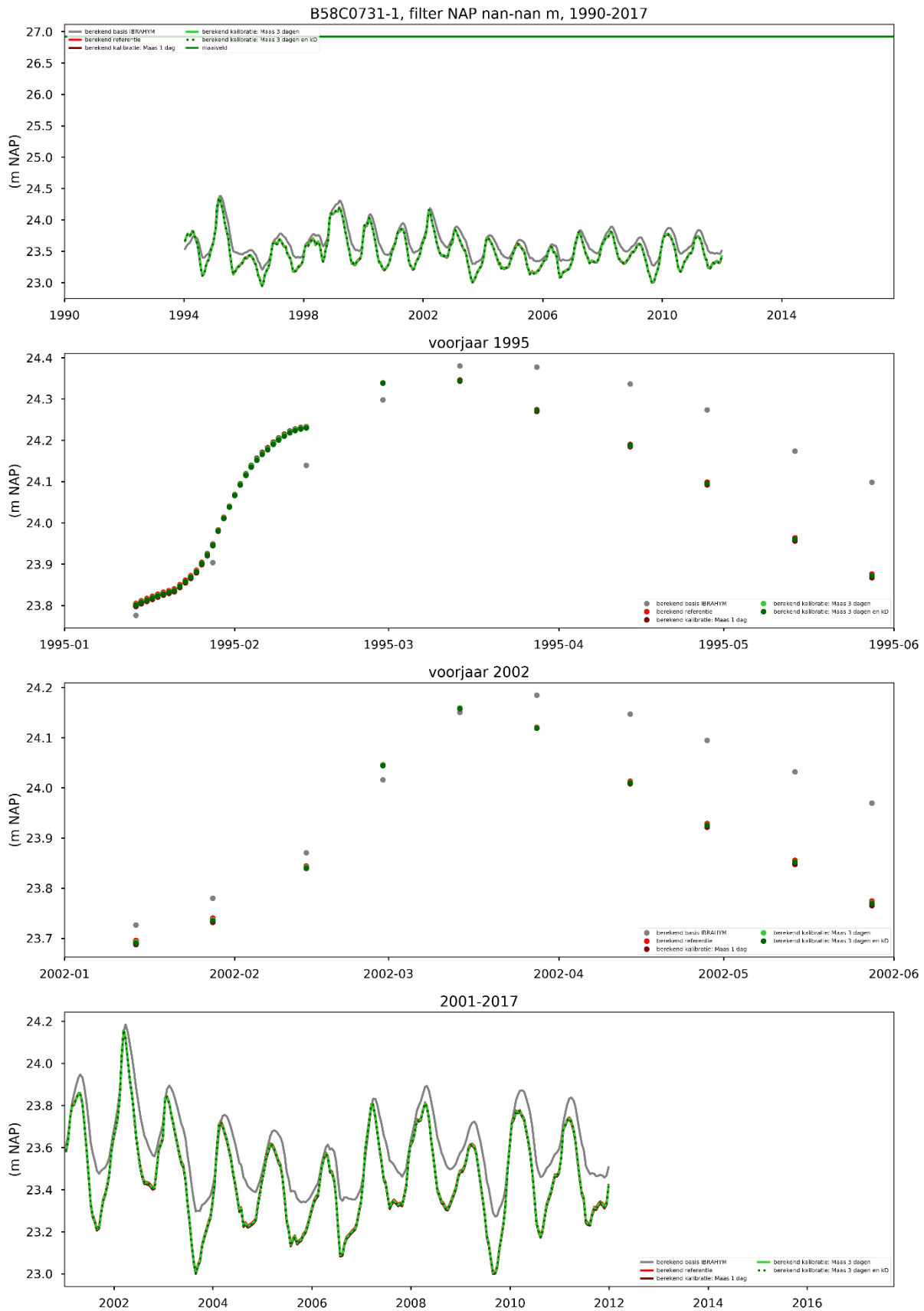
BIJLAGE II gemeten en berekende grondwaterstanden voor hoogwater 1995



Achterland nabij Thorn

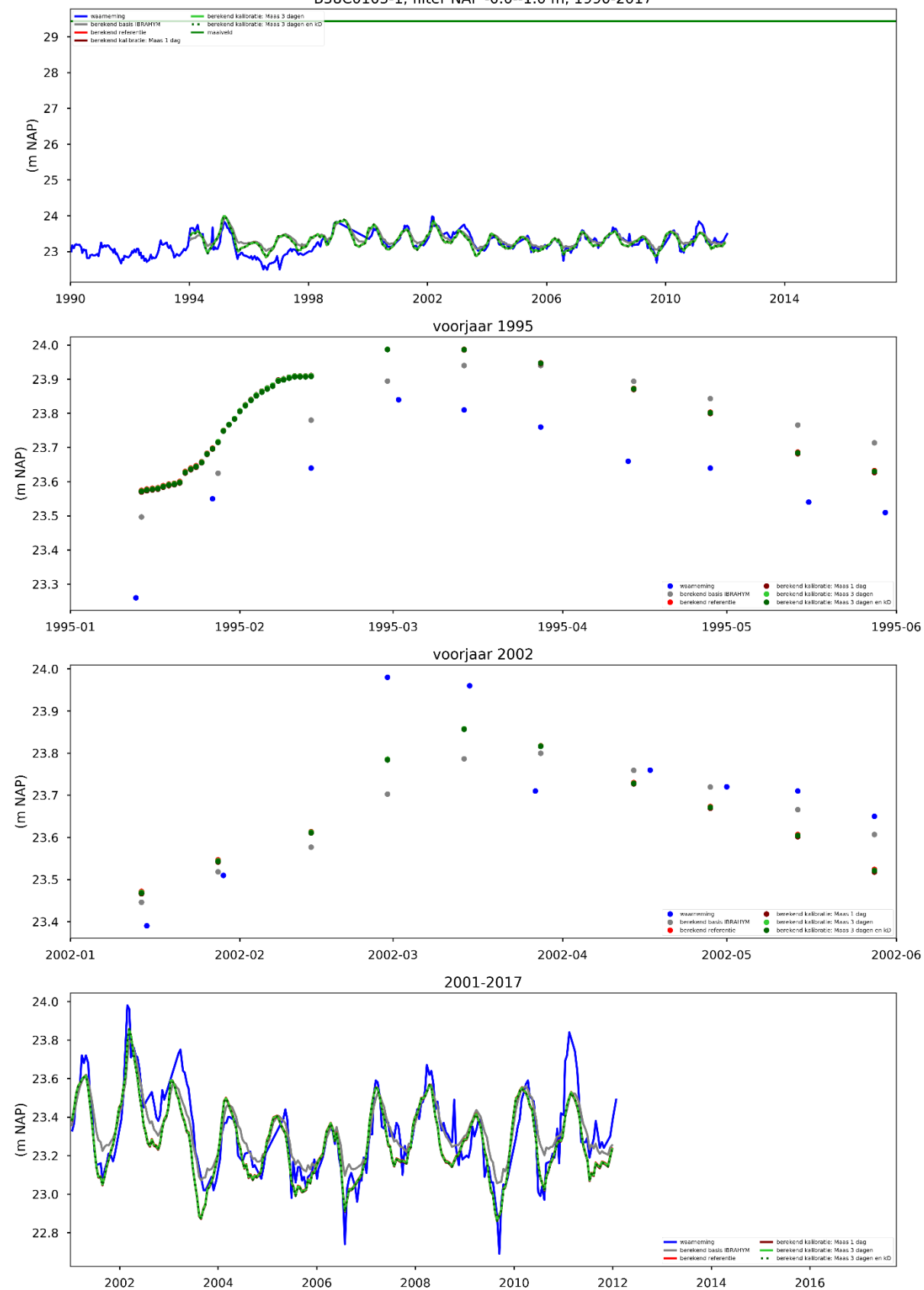


Achterland ten noordoosten van Thorn. Geen recente metingen.



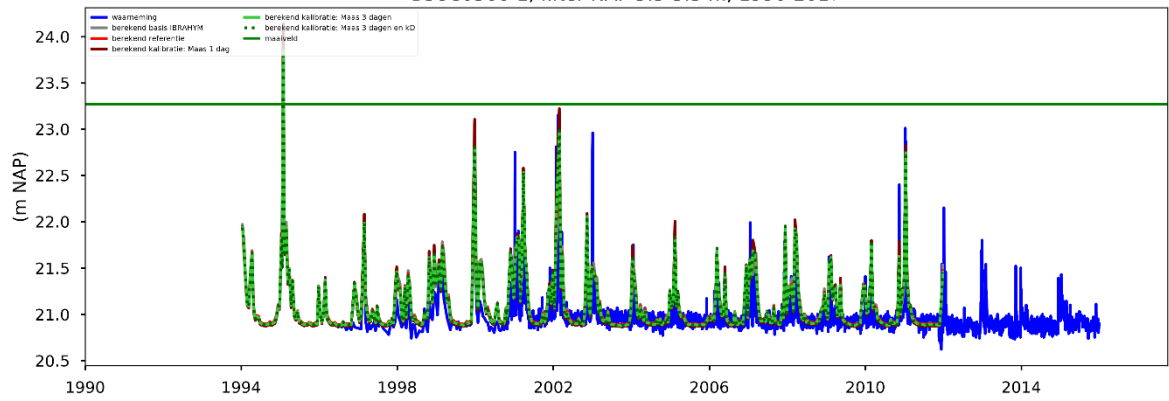
Achterland oostzijde kanaal Wessem-Nederweert

B58C0105-1, filter NAP -0.0--1.0 m, 1990-2017

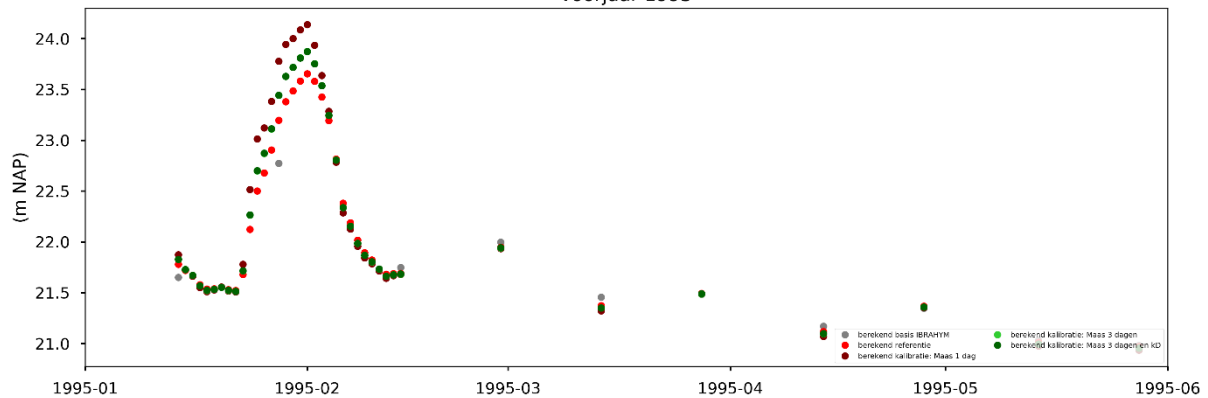


Dijk tussen Thorn en Wessem

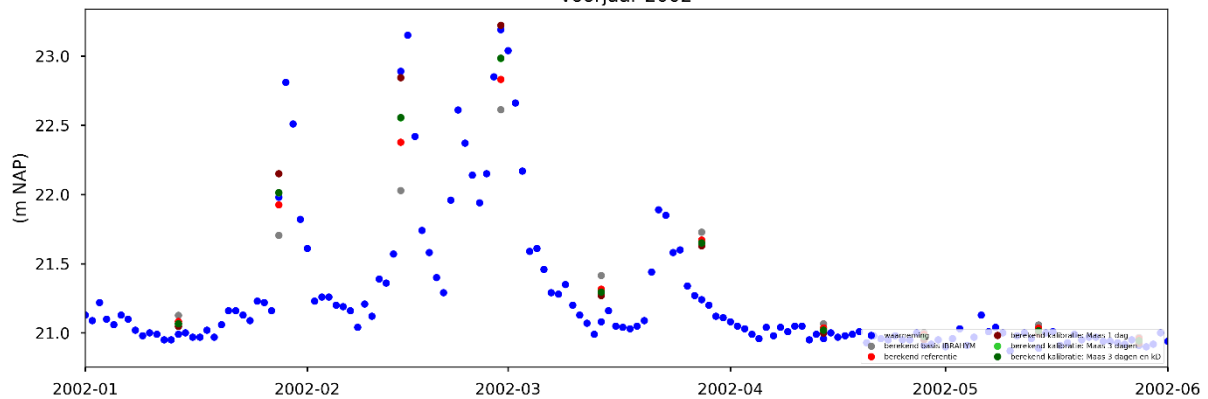
B58C0366-1, filter NAP 5.3-3.3 m, 1990-2017



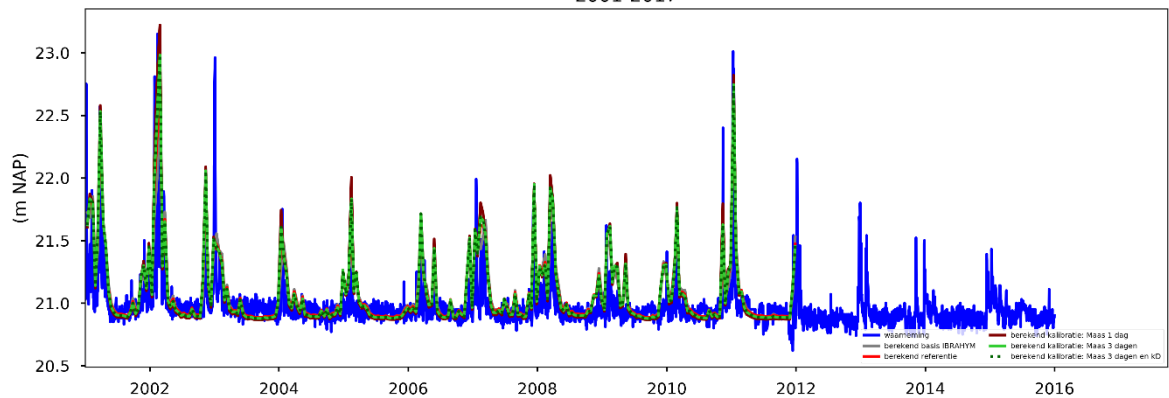
voorjaar 1995



voorjaar 2002

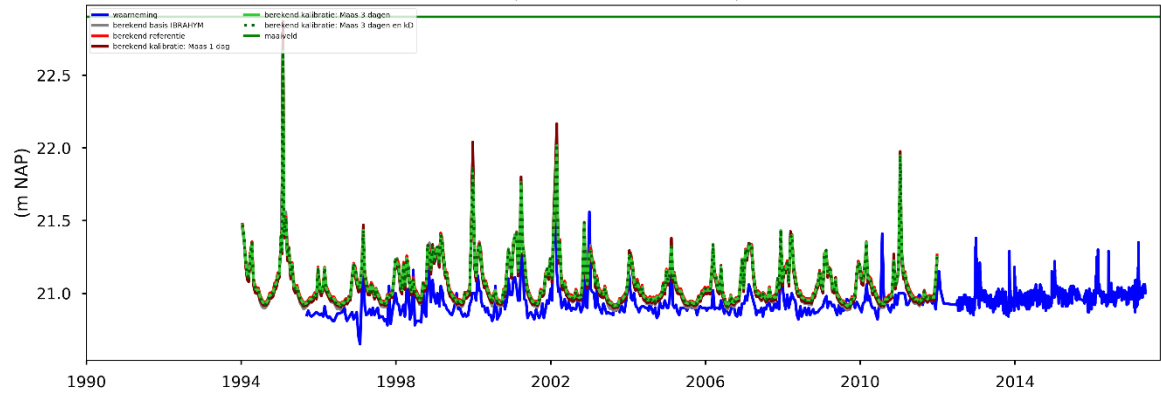


2001-2017

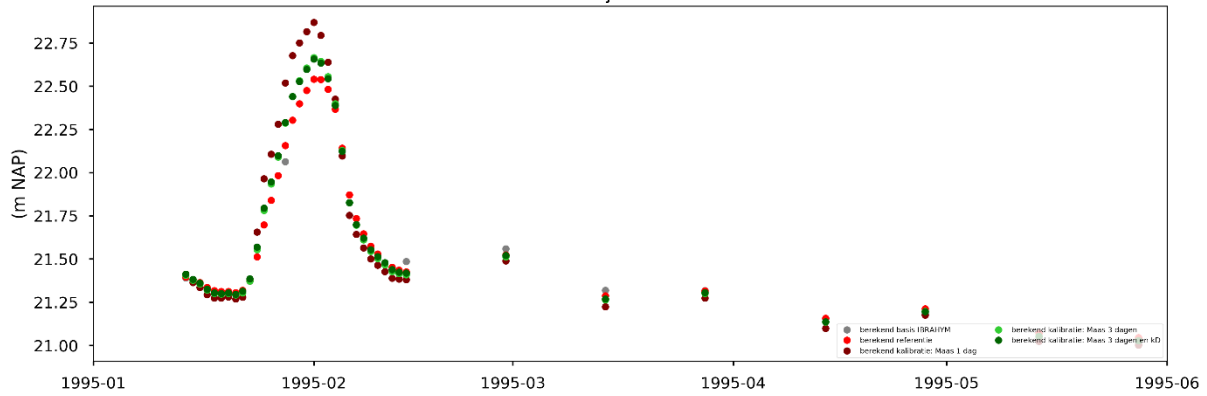


Dijk westelijk van Wessem

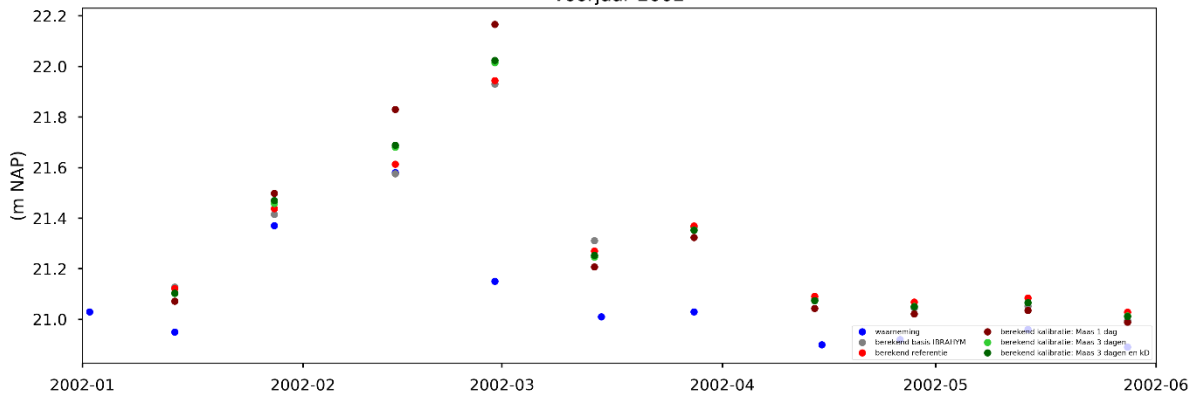
B58C0364-1, filter NAP 16.8-13.8 m, 1990-2017



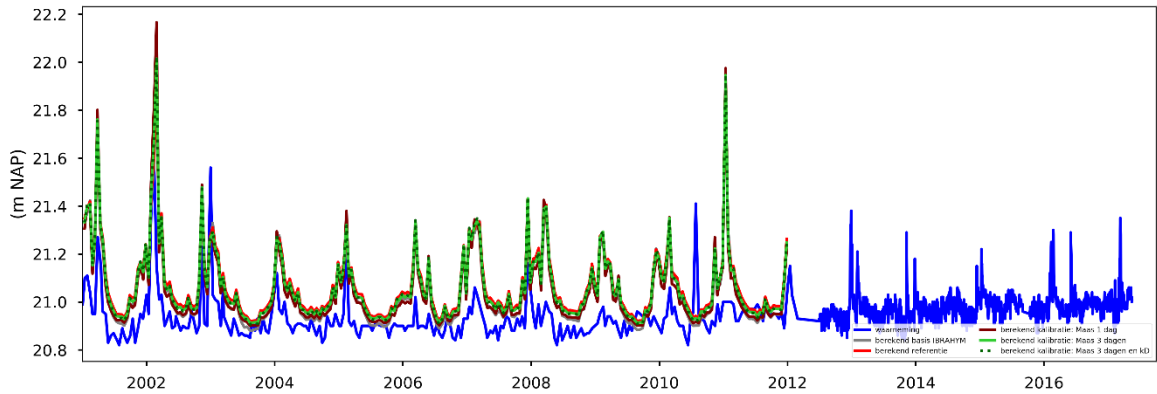
voorjaar 1995



voorjaar 2002

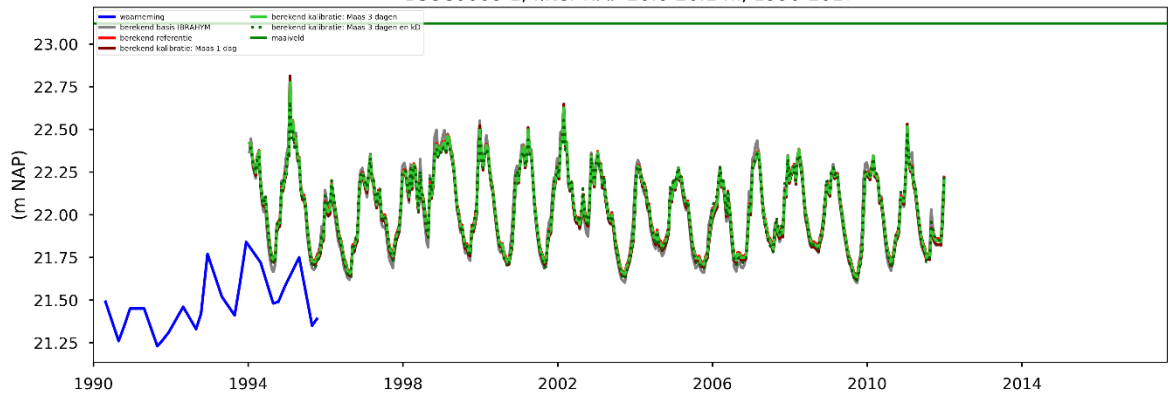


2001-2017

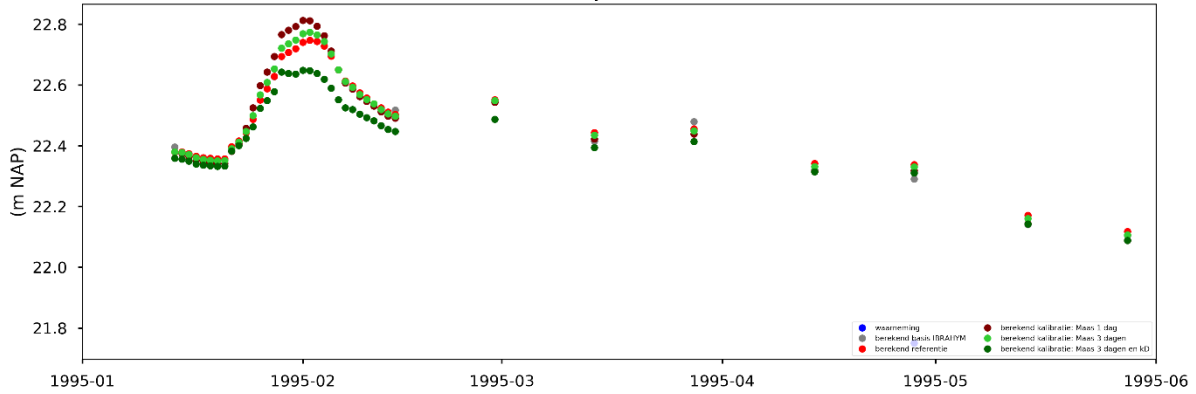


Westen van retentiegebied. Geen recente metingen.

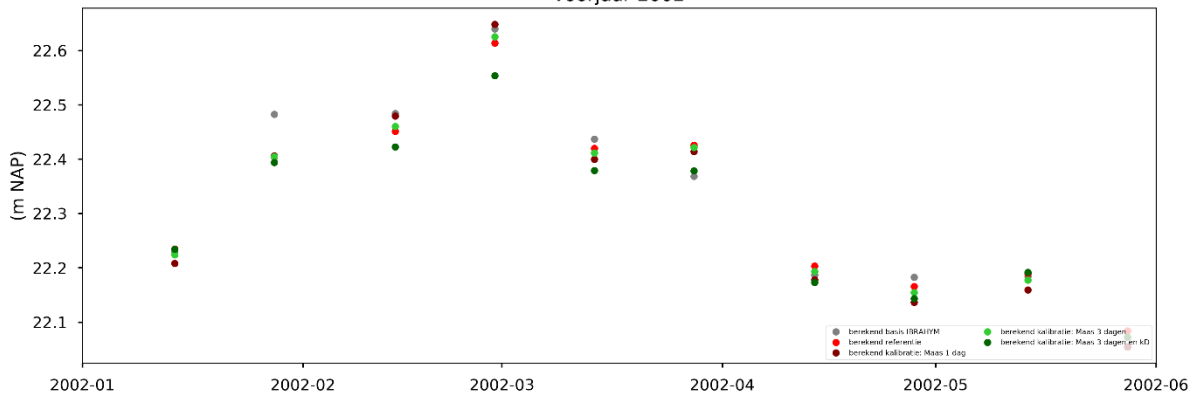
B58C0668-1, filter NAP 20.6-20.1 m, 1990-2017



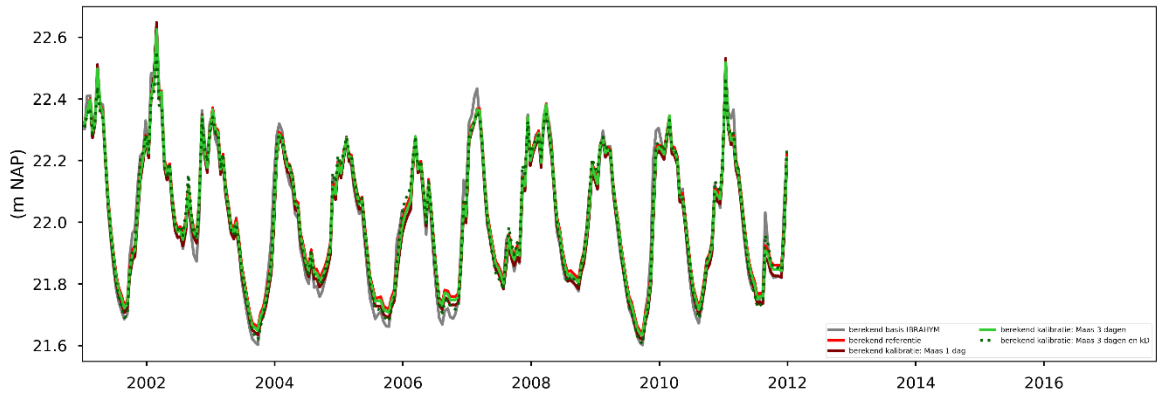
voorjaar 1995



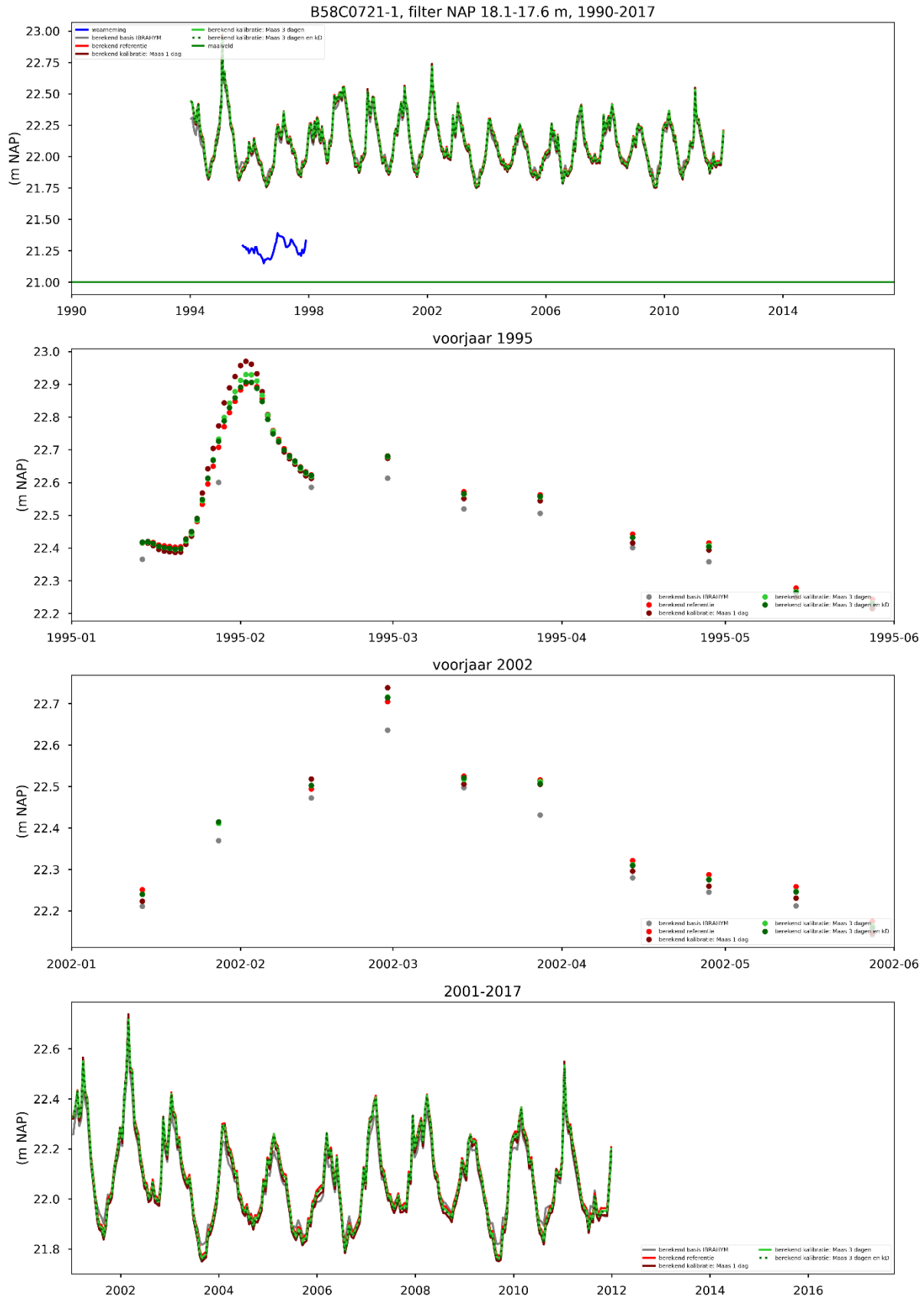
voorjaar 2002



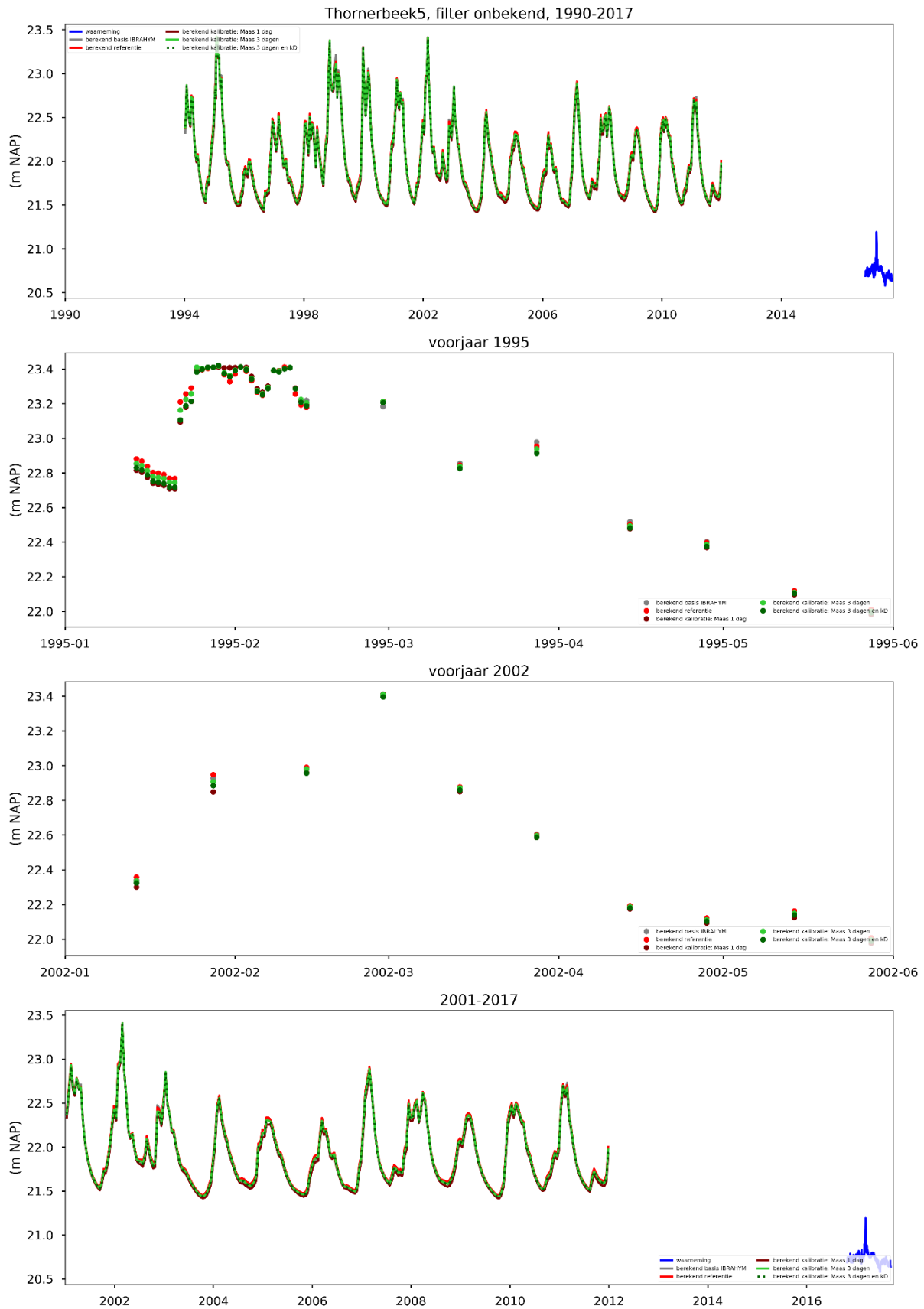
2001-2017



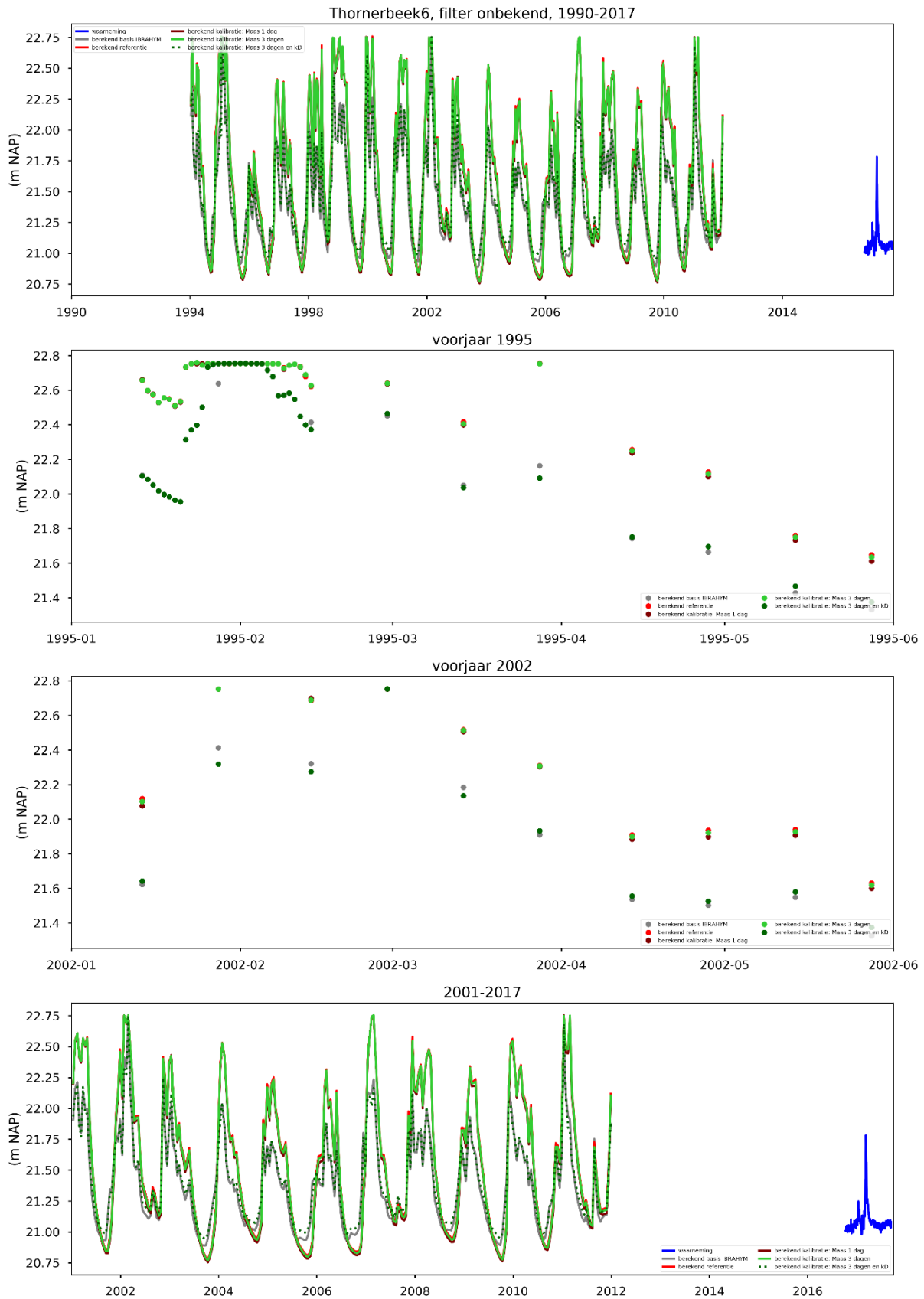
Noorden van retentiegebied. Geen recente metingen.



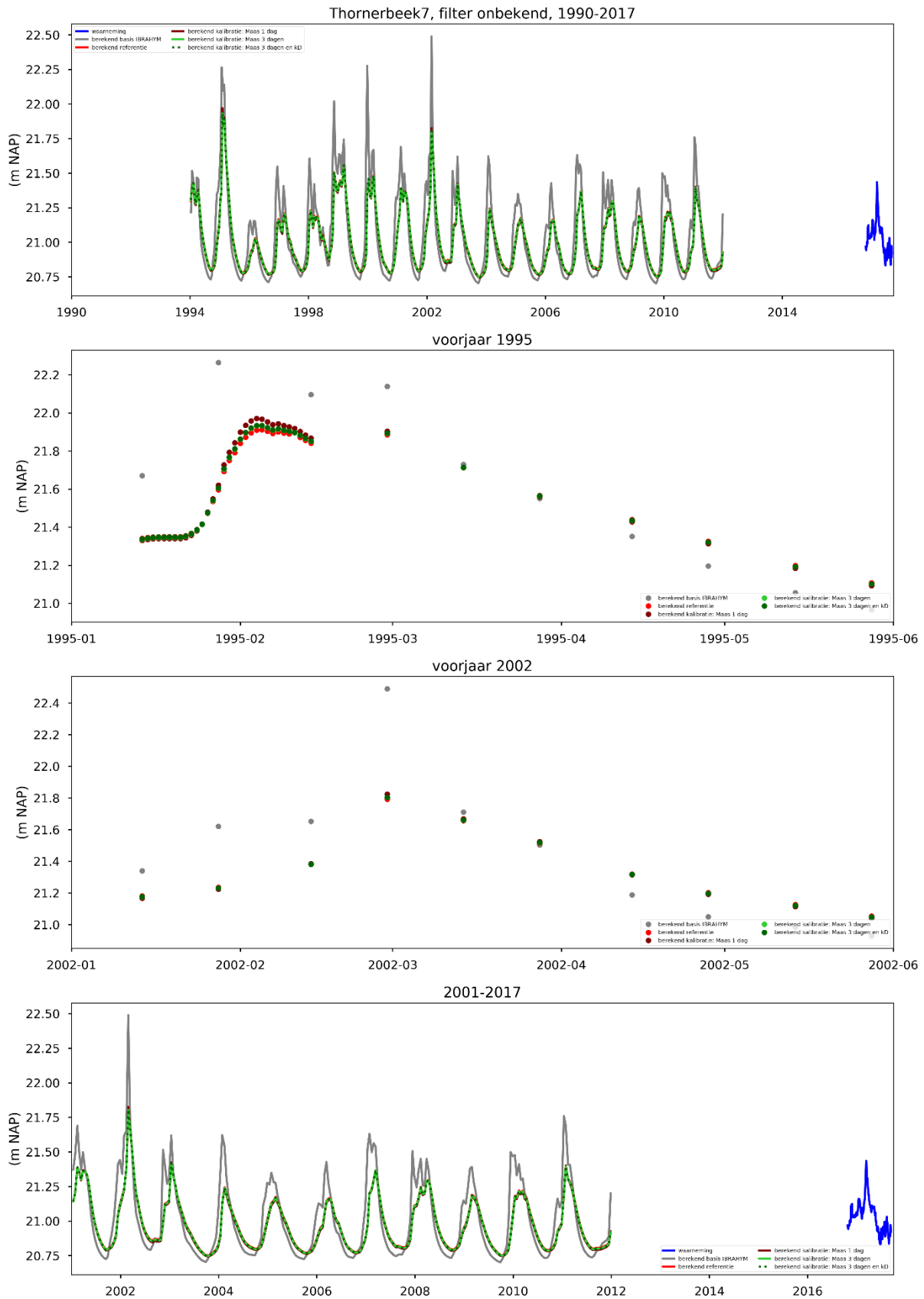
Midden retentiegebied. Alleen recente metingen.



Midden retentiegebied. Alleen recente metingen.

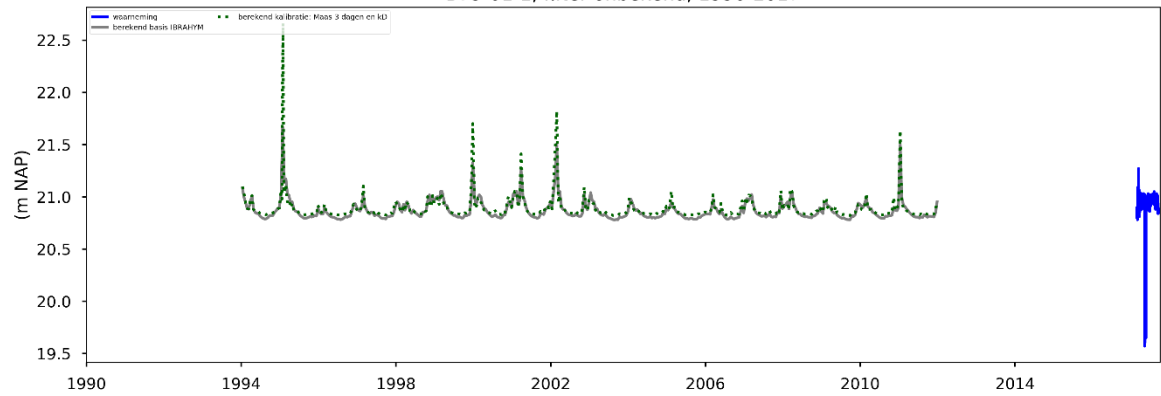


Midden retentiegebied. Alleen recente metingen.

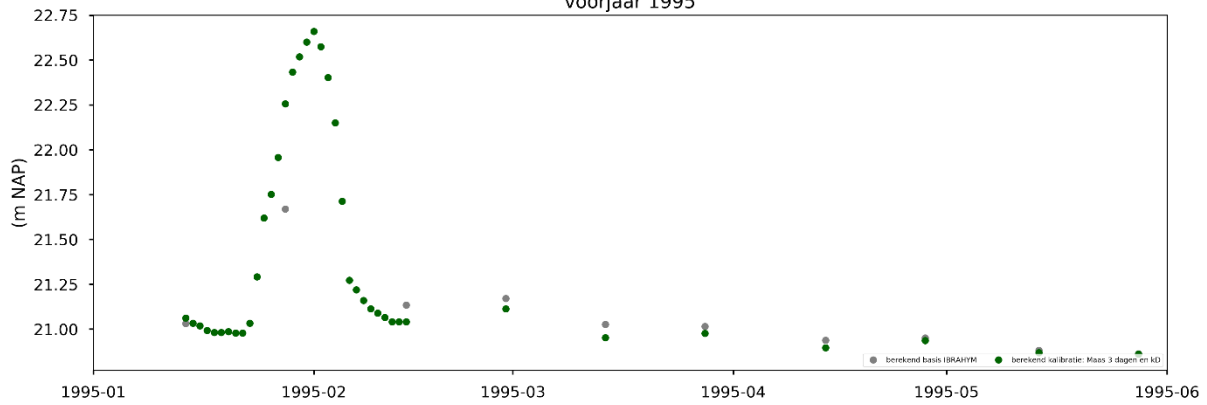


Wessem nabij dijk. Alleen recente metingen.

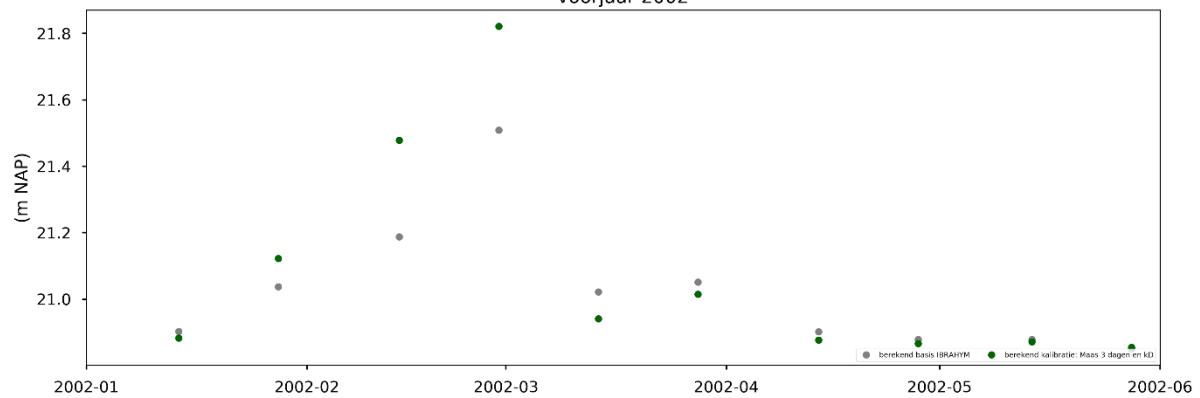
B79-01-1, filter onbekend, 1990-2017



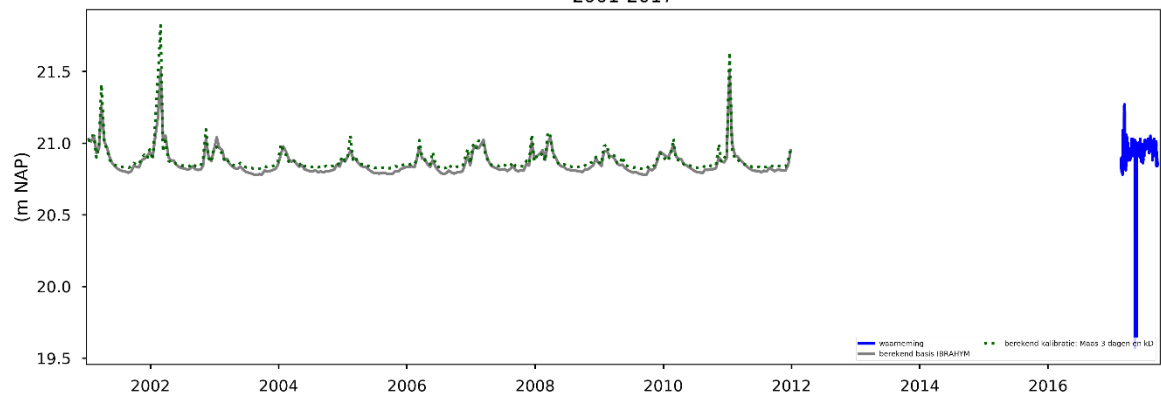
voorjaar 1995



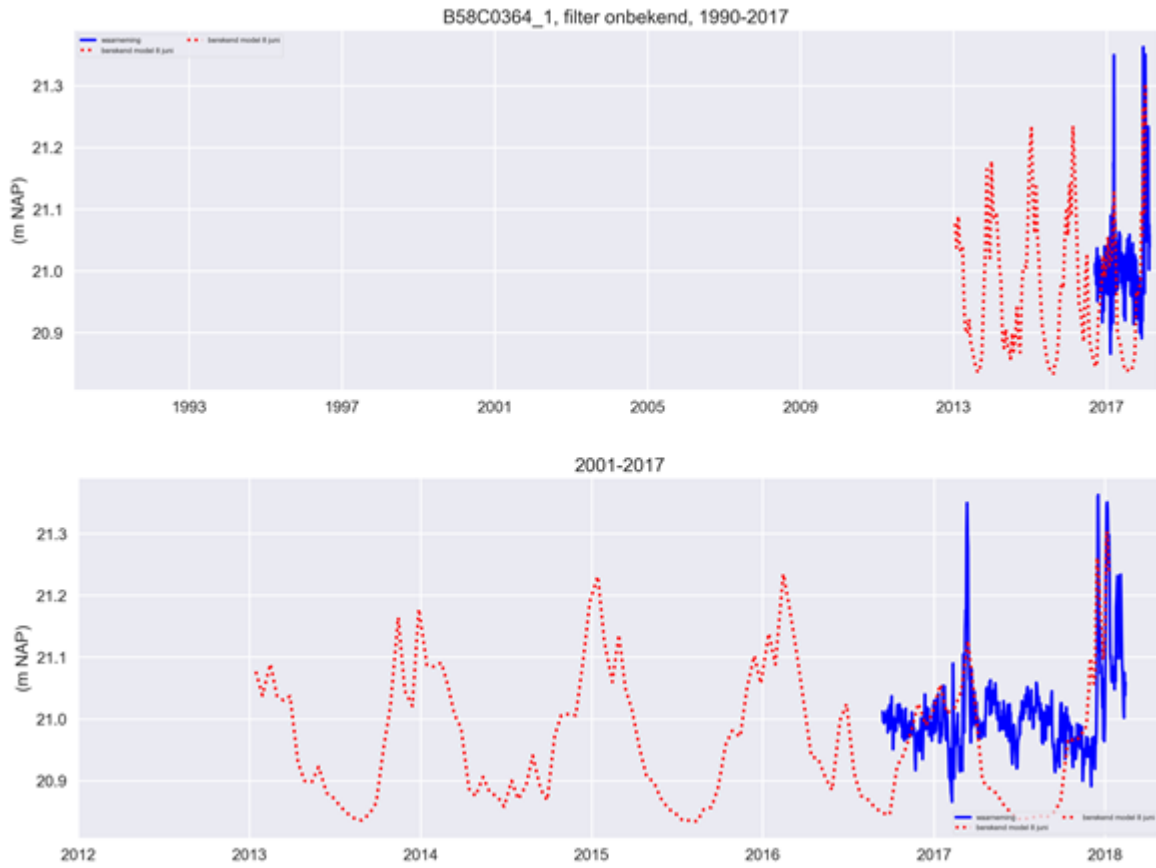
voorjaar 2002



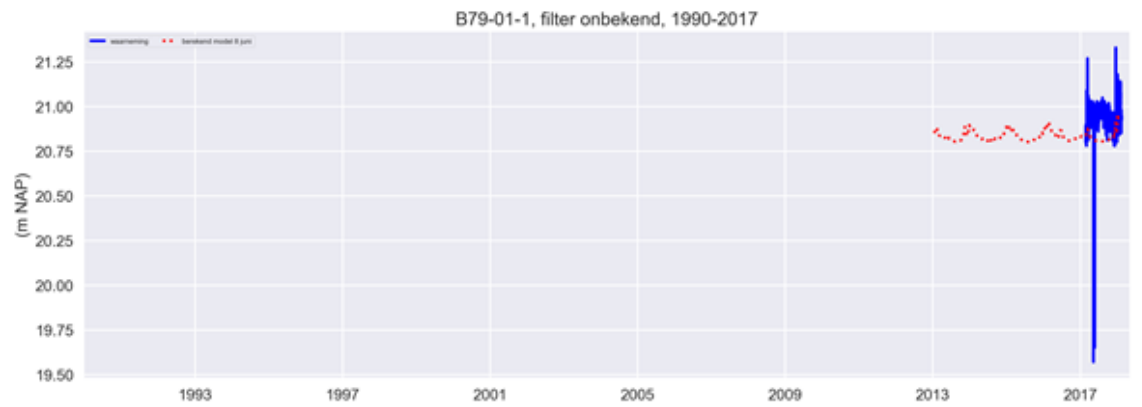
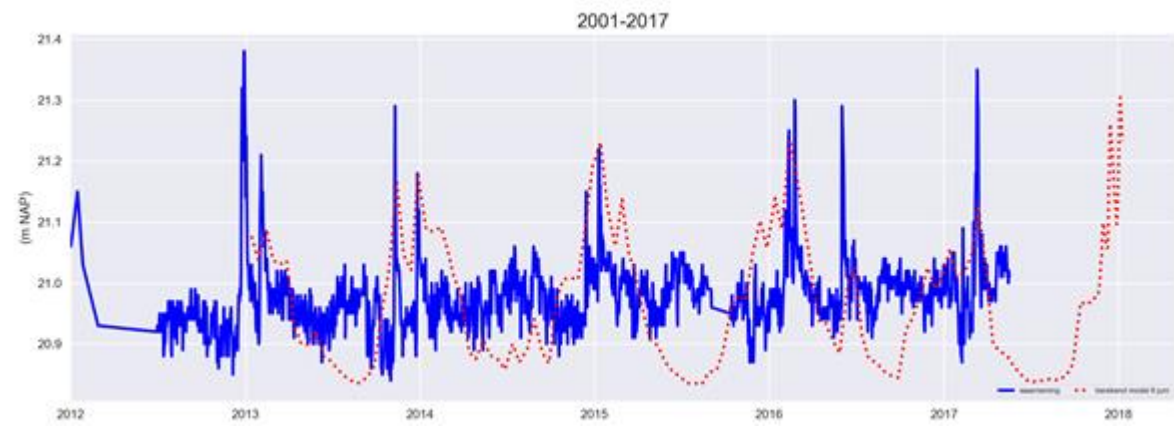
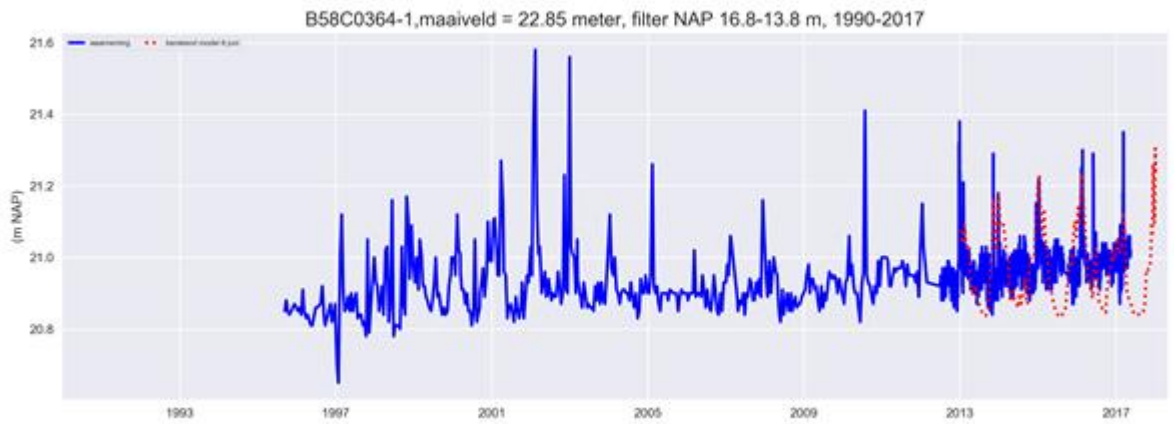
2001-2017



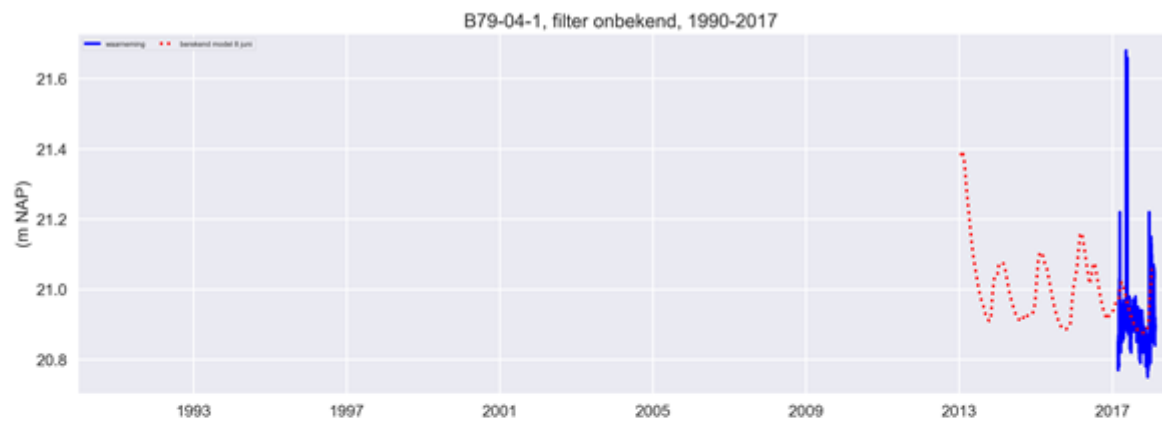
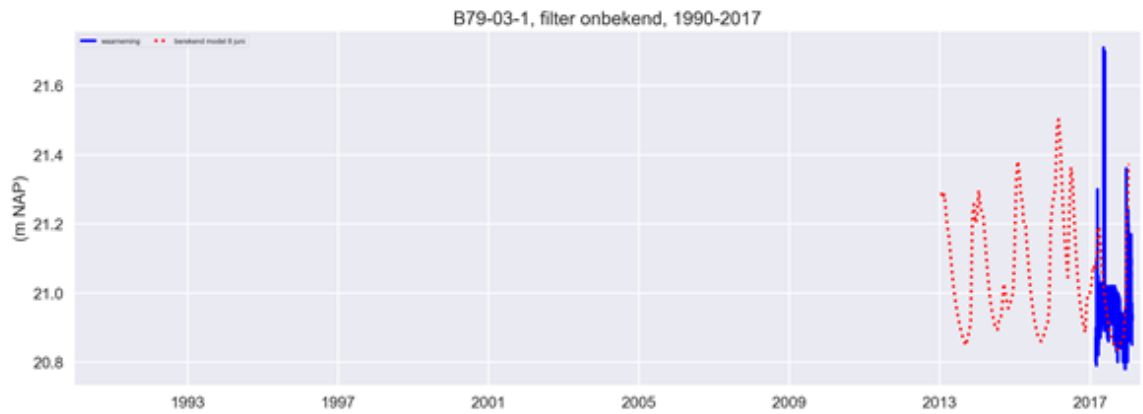
BIJLAGE III gemeten en berekende grondwaterstanden voor hoogwater 2017



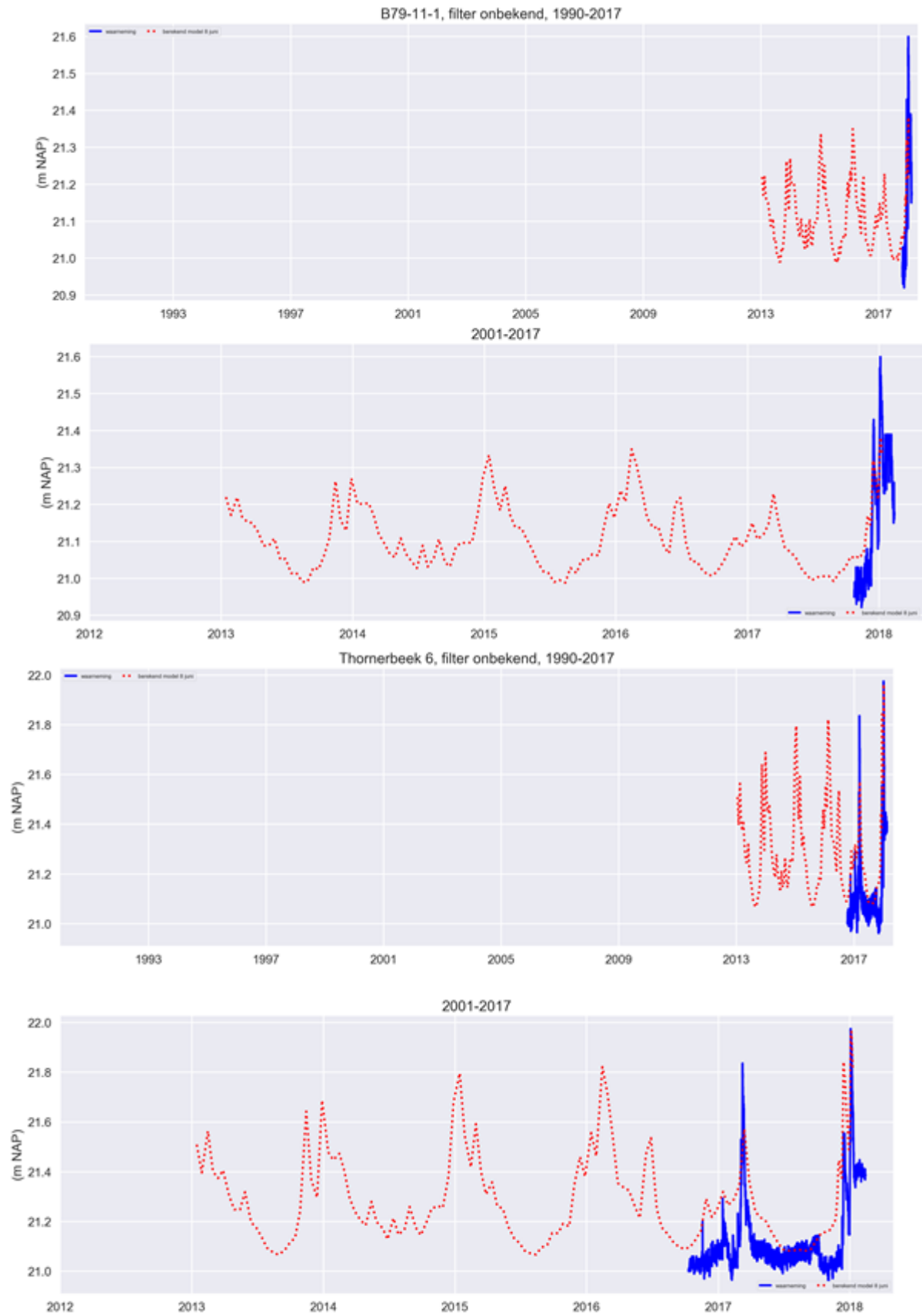
HWBP Noordelijke Maasvallei



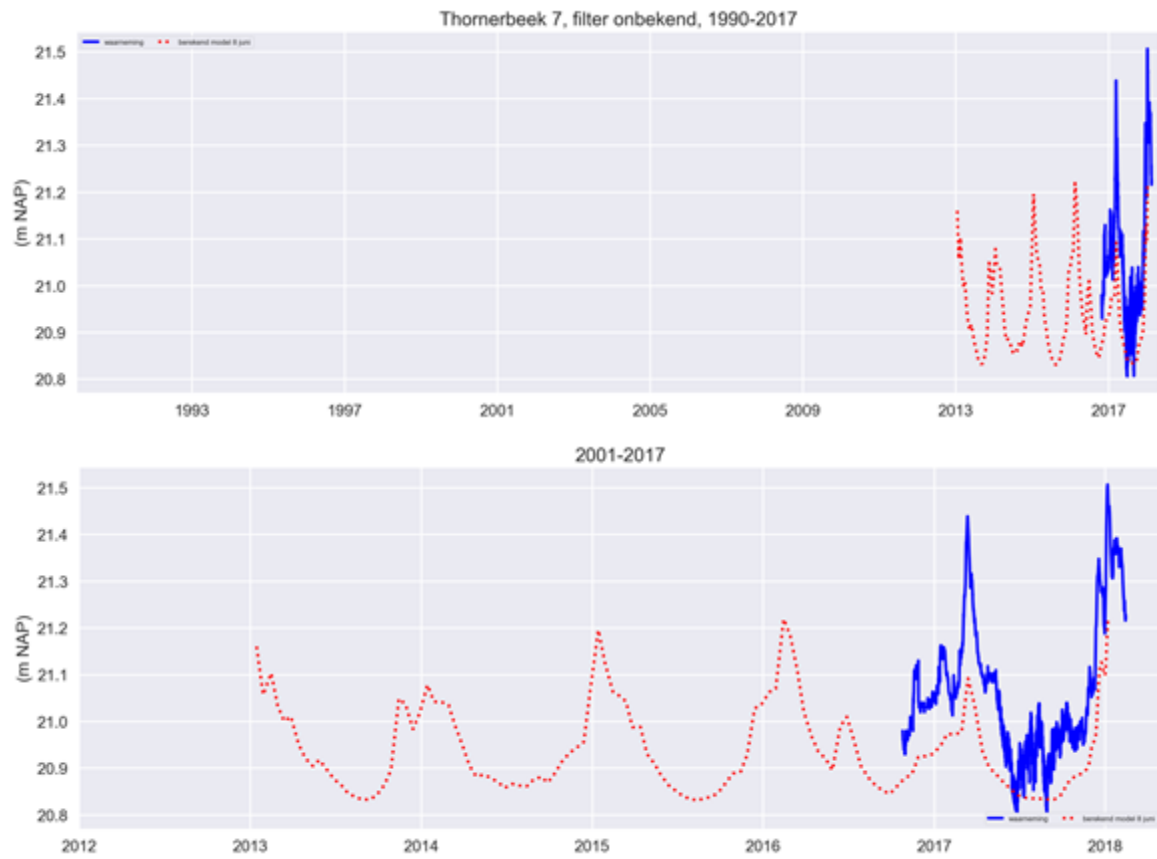
HWBP Noordelijke Maasvallei



HWBP Noordelijke Maasvallei



HWBP Noordelijke Maasvallei





BIJLAGE IV informatie beschikbare peilbuizen in en rondom modelgebied



HWBP Noordelijke Maasvallei

Naam	Bron	Filter No	Start jaar	Stop jaar	Maaiveld (mNAP)	FilterTop	Filterbodem	Filter in modellaag IBRAHYM
B58C0104	DINO	1	1965	2017	28.65	6.21	5.21	5
B58C0105	DINO	1	1965	2012	29.43	-0.04	-1.04	1
B58C0109	DINO	1	1965	2018	26.85	-1.33	-2.33	5
B58C0345	DINO	1	1991	2016	25.96	23.86	21.86	1
B58C0345	DINO	2	1991	2016	25.96	15.96	13.96	3
B58C0345	DINO	3	1991	2016	25.96	-0.04	-2.04	5
B58C0345	DINO	4	1991	2016	25.96	-8.54	-10.54	5
B58C0360	DINO	1	1995	2018	28.50	23.44	21.44	1
B58C0360	DINO	2	1995	2018	28.50	13.65	11.65	3
B58C0364	DINO	1	1995	2018	22.90	16.8	13.8	3
B58C0365	DINO	1	1996	2016	25.80	16.30	14.30	3
B58C0365	DINO	2	1996	2016	25.80	0.10	-1.90	5
B58C0365	DINO	3	1996	2016	25.80	-7.20	-9.20	5
B58C0365	DINO	4	1996	2016	25.80	-21.50	-23.50	6
B58C0366	DINO	1	1996	2016	23.27	5.27	3.27	4
B58C0668	DINO	1	1965	1995	23.12	20.61	20.11	2
B58C0684	DINO	1	1974	1995	22.50	21.18	20.68	2
B58C0721	DINO	1	1995	1997	21.00	18.07	17.57	3
B58D0247	DINO	1	1965	2018	31.66	-0.84	-1.84	5
B58D0249	DINO	1	1965	1996	28.72	-1.28	-2.28	6
B58D0692	DINO	1	1995	2016	21.87	19.87	17.87	1
B58D0692	DINO	2	1995	2016	21.87	6.87	4.87	3
B58D0692	DINO	3	1995	2016	21.87	-4.63	-6.63	5
B58D0692	DINO	4	1995	2016	21.87	-11.13	-13.13	6
B58D0693	DINO	1	1995	2016	22.11	19.11	17.11	1
B58D0693	DINO	2	1995	2016	22.11	7.11	5.11	3
B58D0693	DINO	3	1995	2016	22.11	-2.89	-4.89	5
B58D0877	DINO	1	1997	2016	24.51	18.46	16.46	2
B58D0693	DINO	2	1995	2016	22.11	7.11	5.11	3
B58D0693	DINO	3	1995	2016	22.11	-2.89	-4.89	5
B58D1646	DINO	1	2000	2016	22.46	17.94	15.94	2
B58D1646	DINO	2	2000	2016	22.46	12.35	10.35	3
B58D1646	DINO	3	2000	2016	22.46	1.19	-0.81	5
B58D1648	DINO	1	2000	2016	29.24	13.22	11.22	3
B58D1648	DINO	2	2000	2016	29.24	-0.97	-2.97	5
B58D1879	DINO	1	1951	2013	23.20	9999	-0.37	5
B58D1901	DINO	1	1977	2018	21.24	14.24	13.24	2
B58D1902	DINO	1	1977	2017	21.28	14.28	13.28	2
B58D1903	DINO	1	1977	2016	27.70	15.23	14.23	3
B58D2949	DINO	1	2008	2016	32.09	7.98	5.98	3
B58D3005	DINO	1	2010	2016	26.85	10.59	9.59	5
B58D3276	DINO	1	2015	2018	24.42	2.08	0.08	5



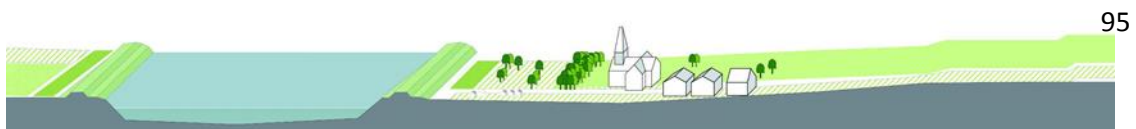
HWBP Noordelijke Maasvallei

B60B0188	DINO	1	1989	2014	27.89	23.91	23.41	1
B60B1243	DINO	1	2009	2017	25.60	23.45	22.45	1
B78-01	IBM	1	2017	2018	23.27	-	-	3
B78-02	IBM	1	2017	2018	28.81	-	-	3
B78-03	IBM	1	2017	2018	25.43	-	-	3
B79-01	IBM	1	2017	2018	24.12	-	-	3
B79-02	IBM	1	2017	2018	23.97	-	-	3
B79-03	IBM	1	2017	2018	23.14	-	-	1
B79-04	IBM	1	2017	2018	23.98	-	-	1
B79-11	IBM	1	2017	2018	21.75	-	-	3
B79-12	IBM	1	2017	2018	21.57	-	-	3
HB 79.037+50A	POV	1	2014	2018	22.91	21.01	20.01	1
HB 79.037+50B	POV	1	2014	2017	23.21	19.11	18.11	1
HB 79.037+50D	POV	1	2014	2018	23.19	20.79	19.79	1
HB 79.037+50E	POV	1	2014	2018	23.74	20.94	19.94	1
HB 79.037A	POV	1	2014	2018	22.62	20.18	19.18	1
HB 79.037B	POV	1	2014	2018	23.22	18.92	17.92	1
HB 79.037D	POV	1	2014	2018	23.30	20.2	19.2	1
HB 79.037E	POV	1	2014	2017	23.76	22.22	21.22	1
MB 79.037+50A	POV	2	2014	2018	22.88	17.68	16.68	2
MB 79.037+50B	POV	2	2014	2017	23.25	16.9	15.9	2
MB 79.037+50D	POV	2	2014	2018	23.26	17.06	16.06	2
MB 79.037+50E	POV	2	2014	2018	23.83	18.6	17.6	2
MB 79.037A	POV	2	2014	2018	22.61	17.31	16.31	2
MB 79.037B	POV	2	2014	2017	23.25	17.13	16.13	2
MB 79.037D	POV	2	2014	2018	23.41	18.29	17.29	2
MB 79.037E	POV	2	2014	2018	23.78	18.48	17.48	2
15kruin	WPM	1	2017	2018	24.72	-	-	1
18achterland	WPM	1	2017	2018	23.19	-	-	1
19binnenteen	WPM	1	2017	2018	23.25	-	-	1
20kruin	WPM	1	2017	2018	24.72	-	-	1
21buitenteen	WPM	1	2017	2018	23.09	-	-	1
Thornerbeek 5	WPM	1	2017	2018	23.58	-	-	1
Thornerbeek 6	WPM	1	2017	2018	22.76	-	-	1
Thornerbeek 7	WPM	1	2017	2018	22.90	-	-	1
Thornerbeek 8	WPM	1	2017	2018	22.57	-	-	1
Uffelsebeek 2	WPM	1	2017	2018	25.91	-	-	1



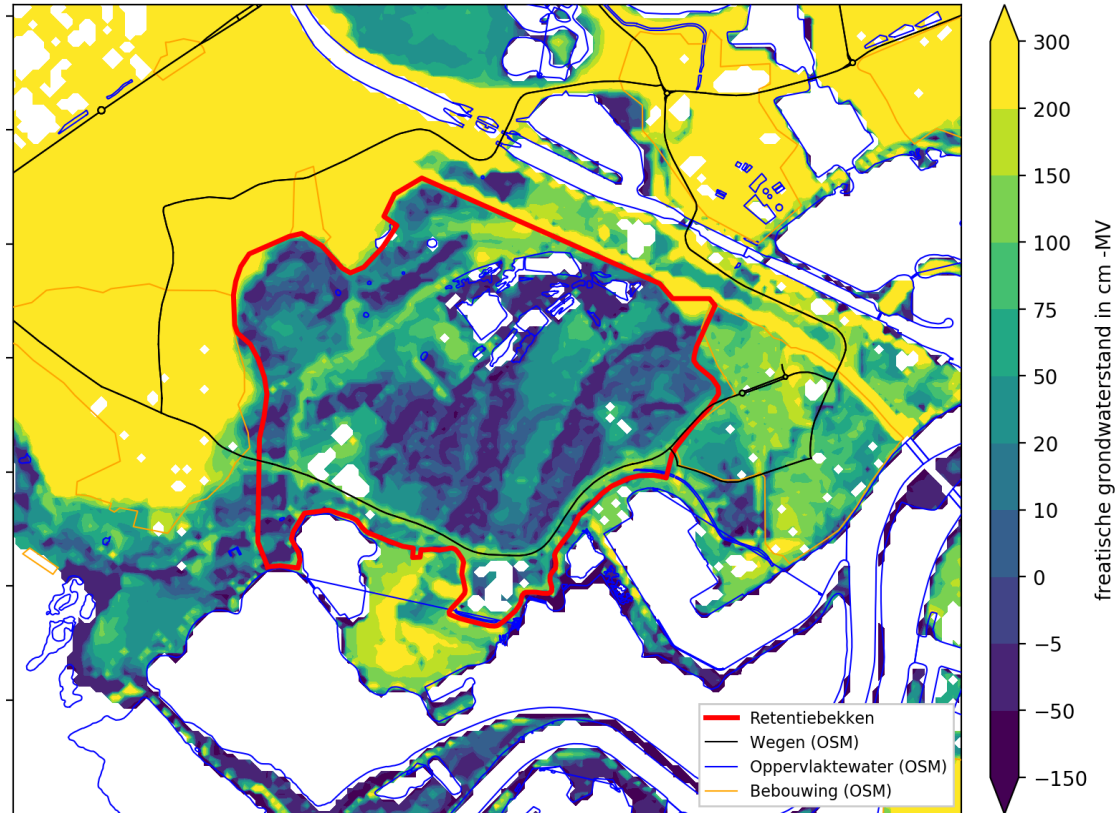


Bijlage V Kaarten net voor inzet bekken (paragraaf 6.1 en 7.1)

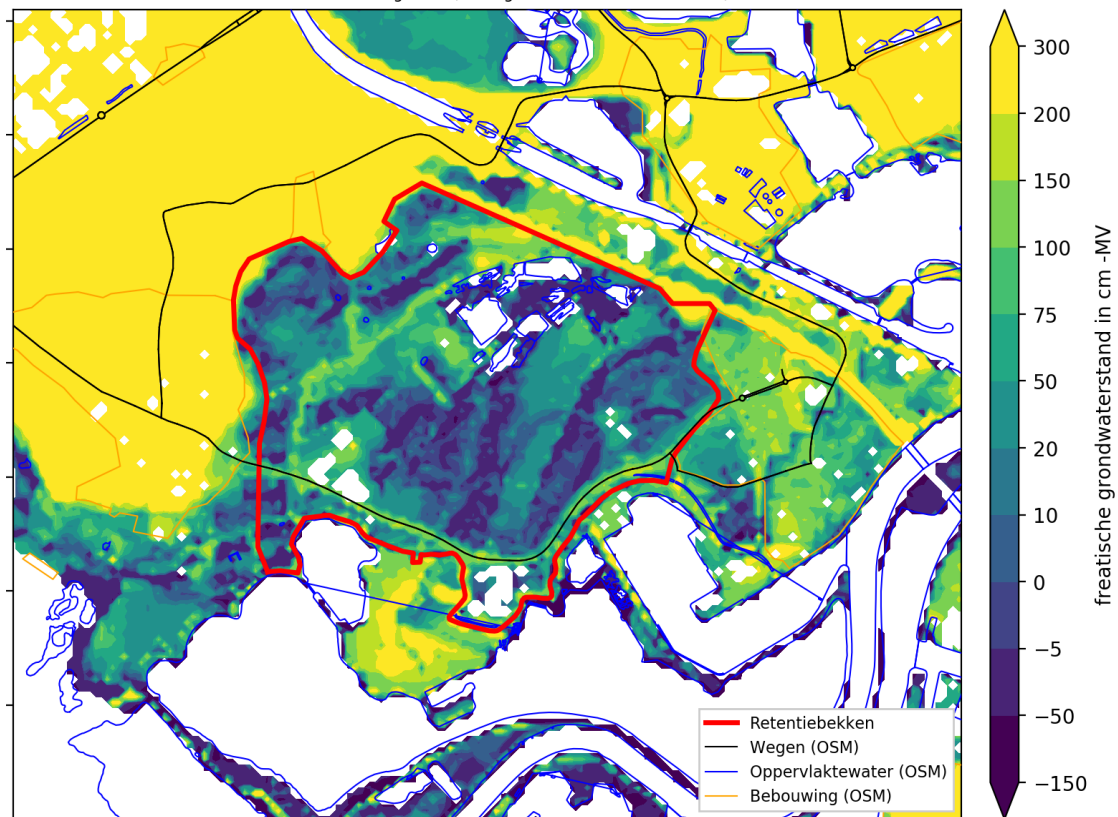


HWBP Noordelijke Maasvallei

voor inzet retentiegebied (Koningssteendam NAP +24.10 m)

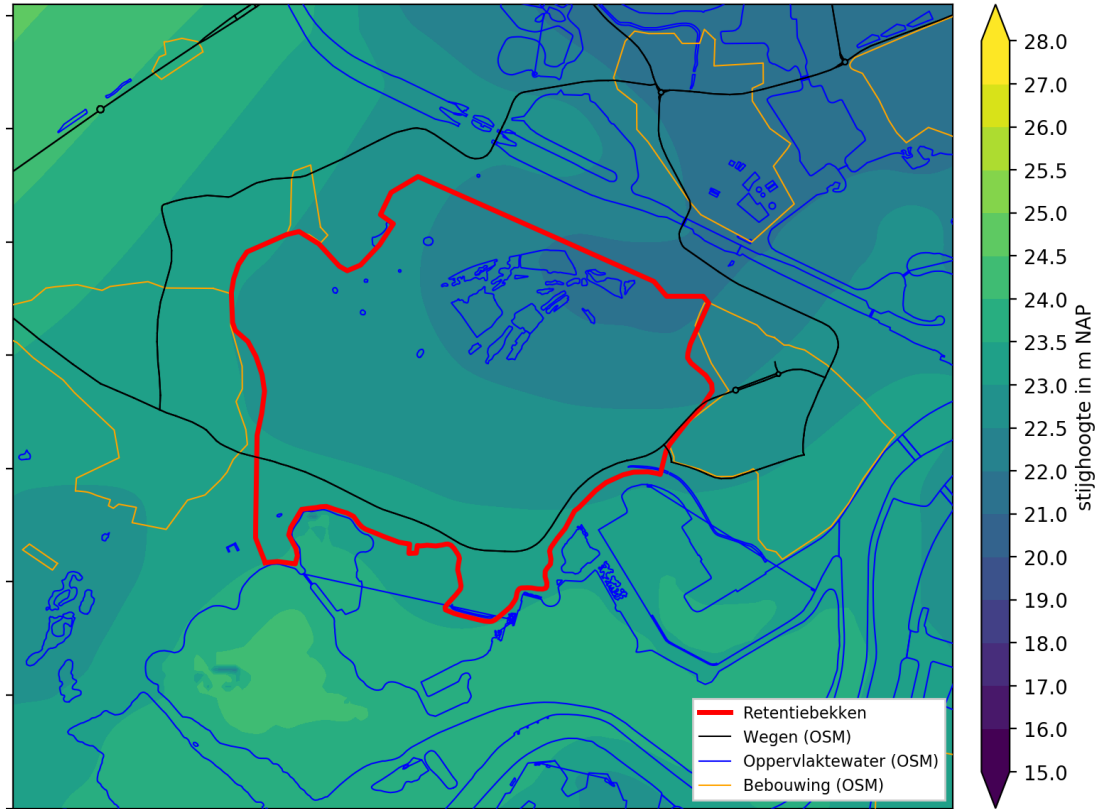


voor inzet retentiegebied (Koningssteendam NAP +24.71 m)

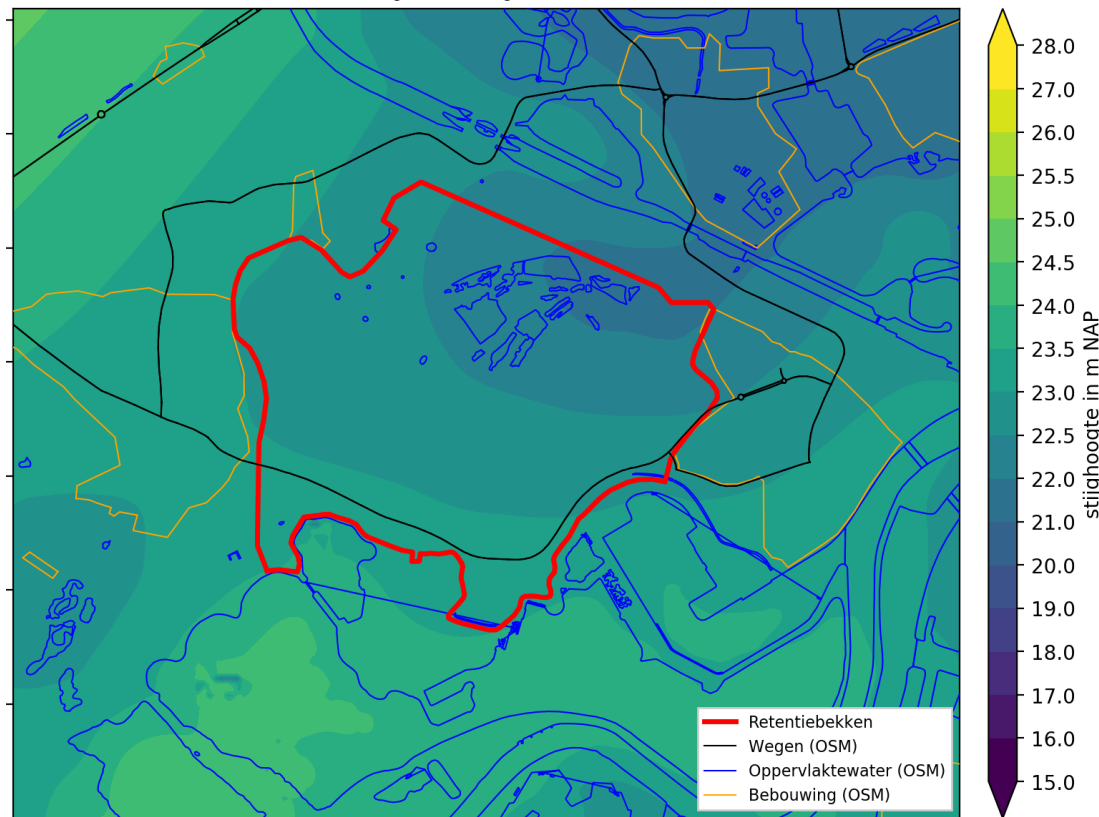


HWBP Noordelijke Maasvallei

voor inzet retentiegebied (Koningssteendam NAP +24.10 m)

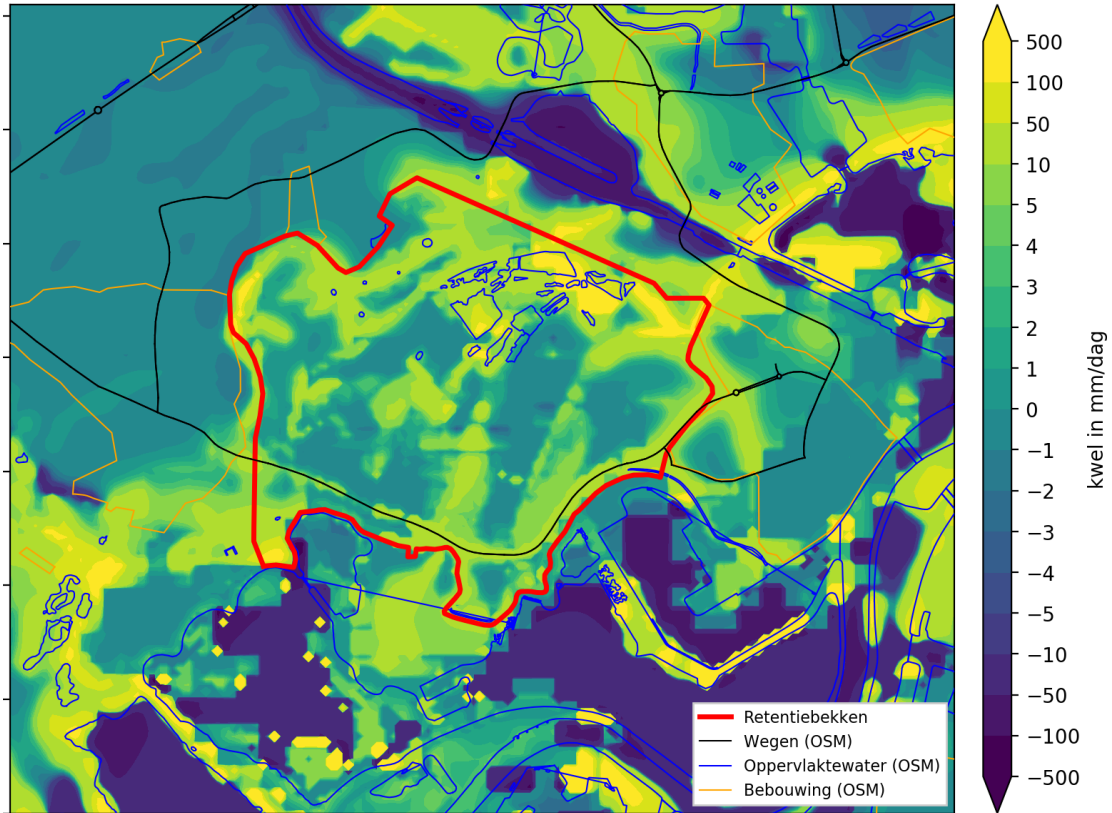


voor inzet retentiegebied (Koningssteendam NAP +24.71 m)

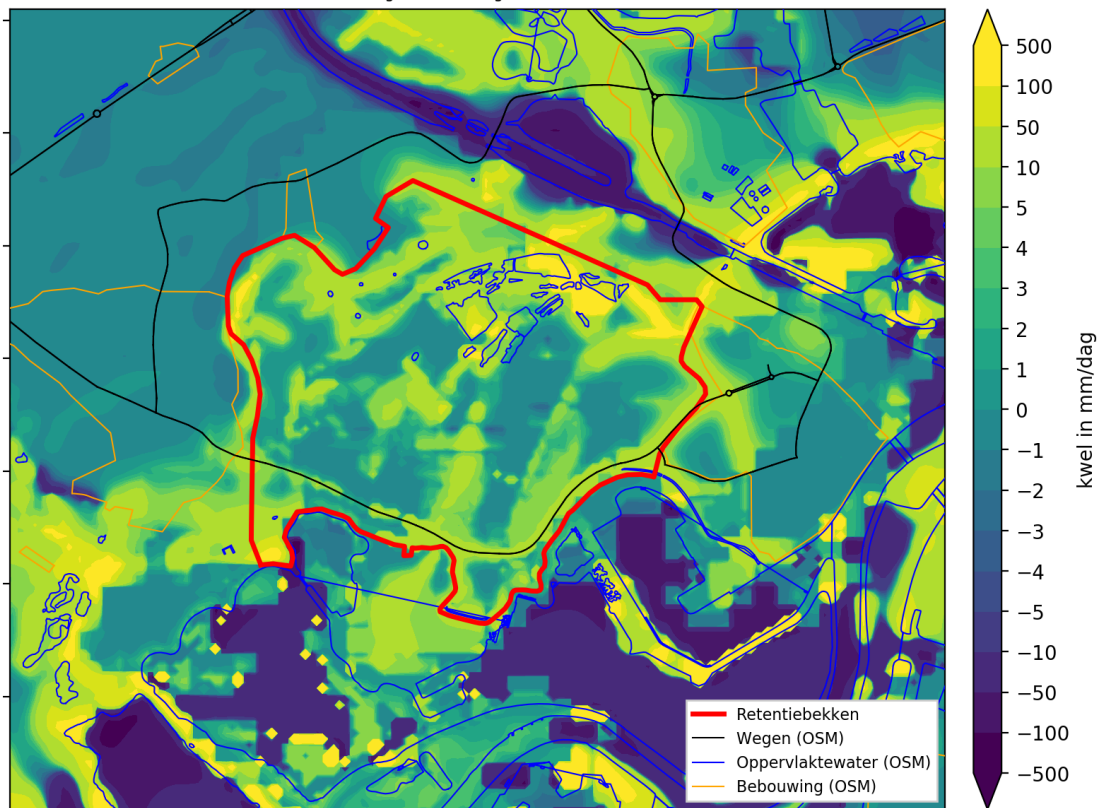


HWBP Noordelijke Maasvallei

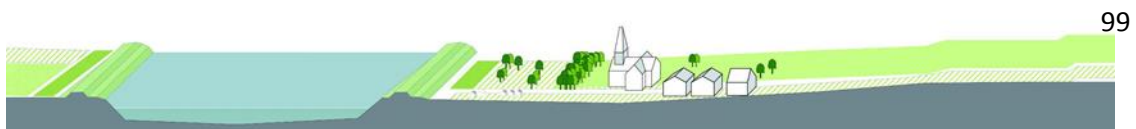
voor inzet retentiegebied (Koningssteendam NAP +24.10 m)



voor inzet retentiegebied (Koningssteendam NAP +24.71 m)

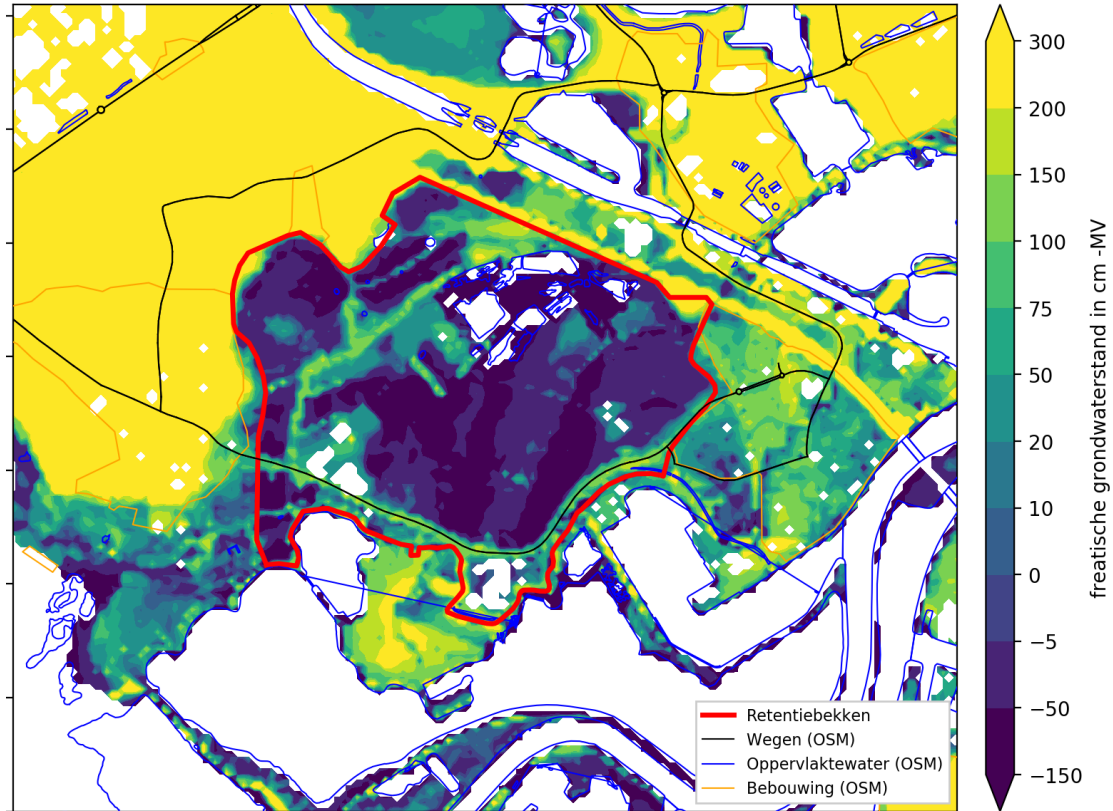


Bijlage VI Kaarten zonder bekken (paragraaf 6.2 en 7.2)

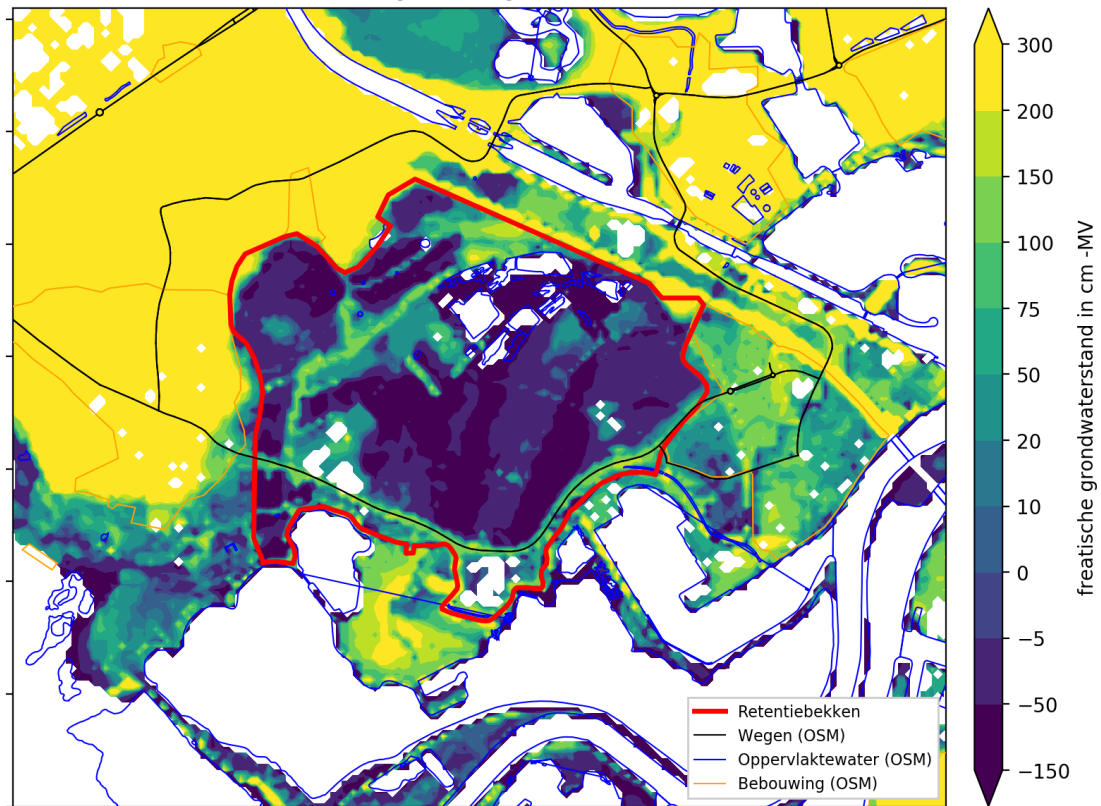


HWBP Noordelijke Maasvallei

zonder inzet retentiegebied (Koningssteendam NAP +24.40 m)

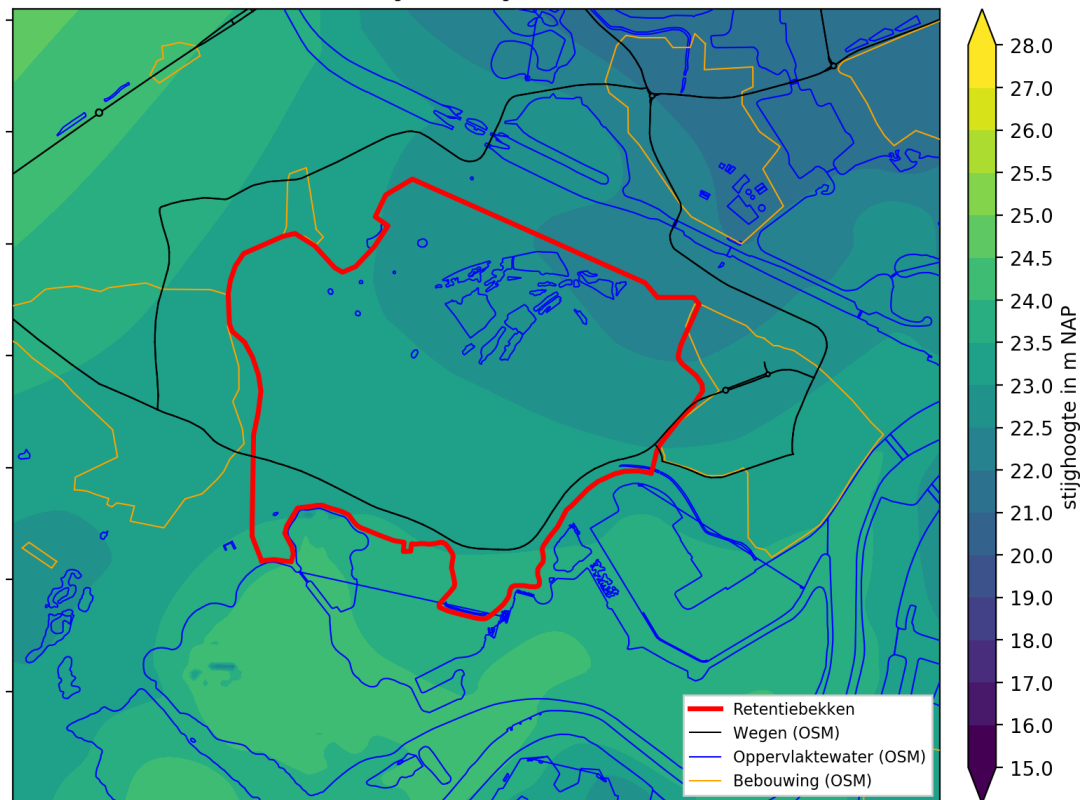


zonder inzet retentiegebied (Koningssteendam NAP +25.01 m)

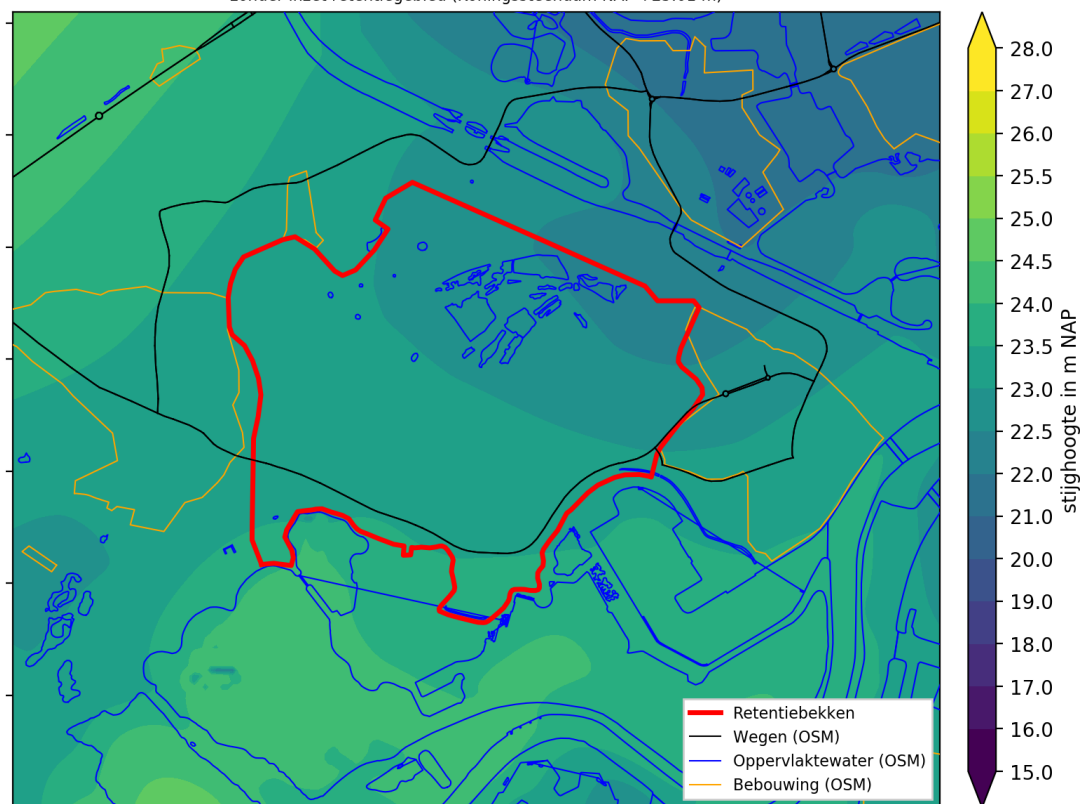


HWBP Noordelijke Maasvallei

zonder inzet retentiegebied (Koningssteendam NAP +24.40 m)

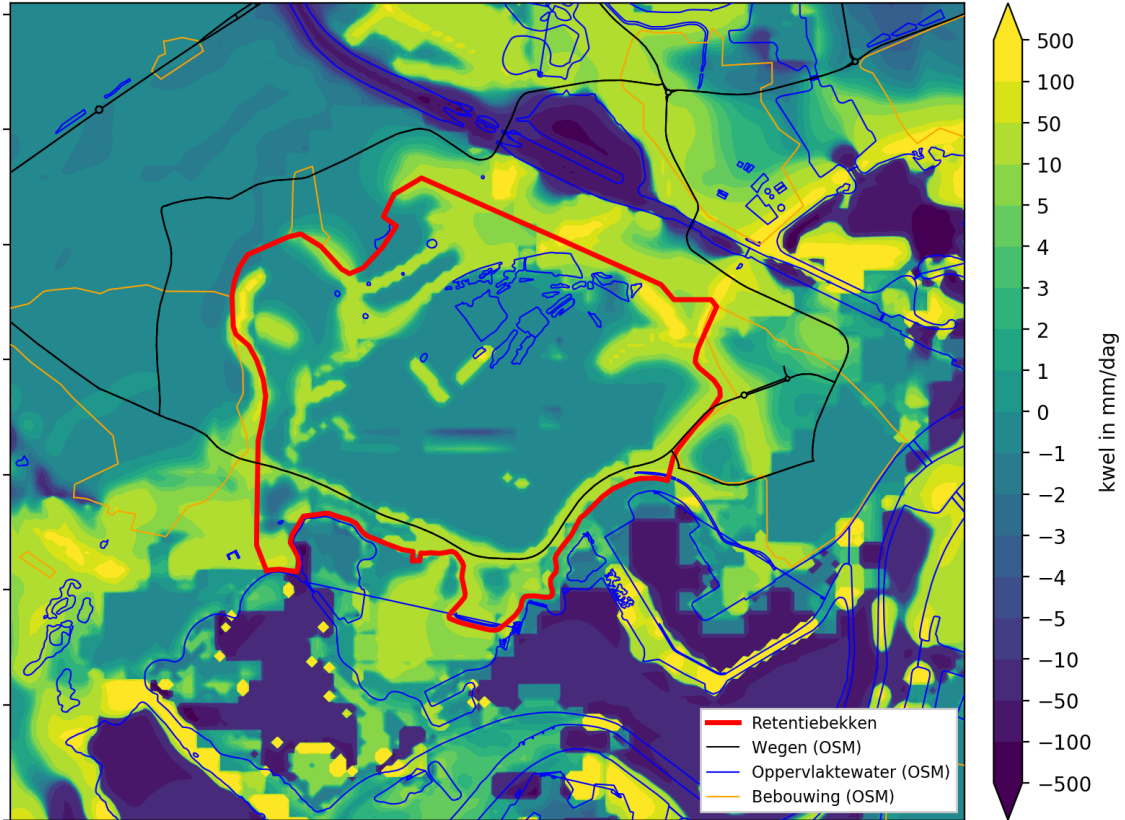


zonder inzet retentiegebied (Koningssteendam NAP +25.01 m)

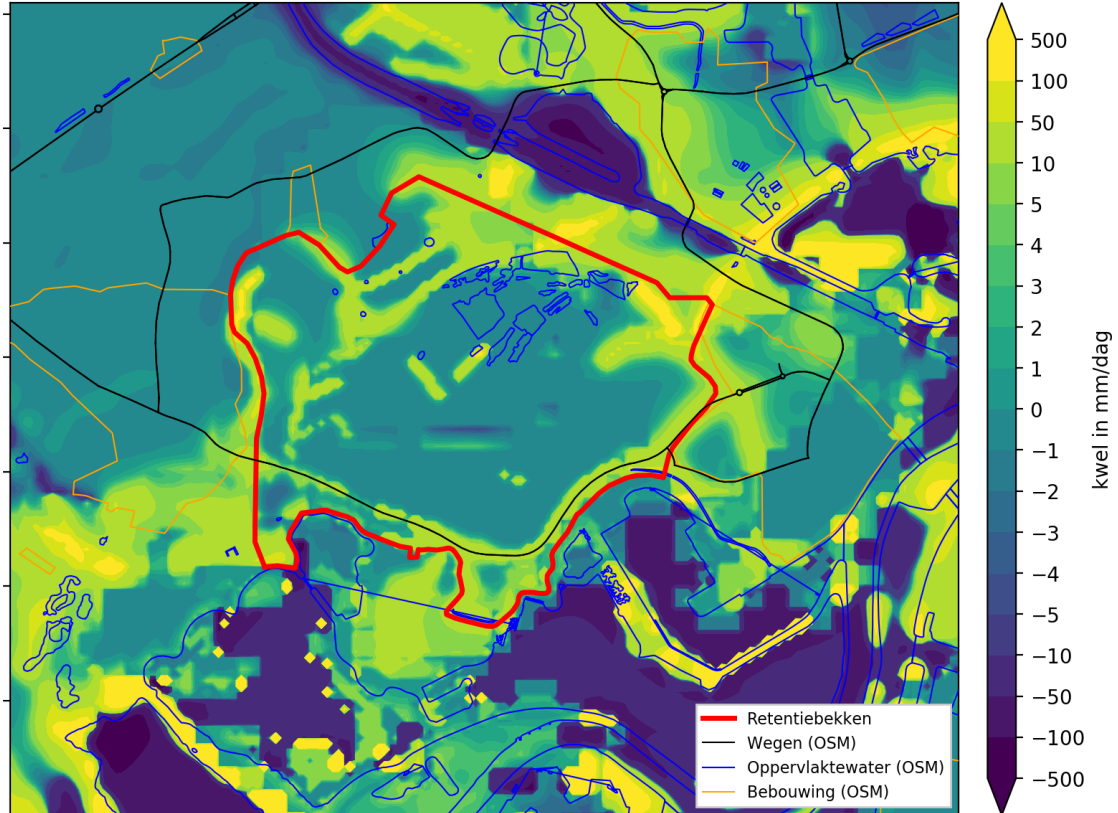


HWBP Noordelijke Maasvallei

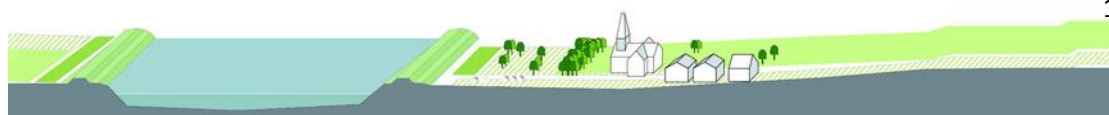
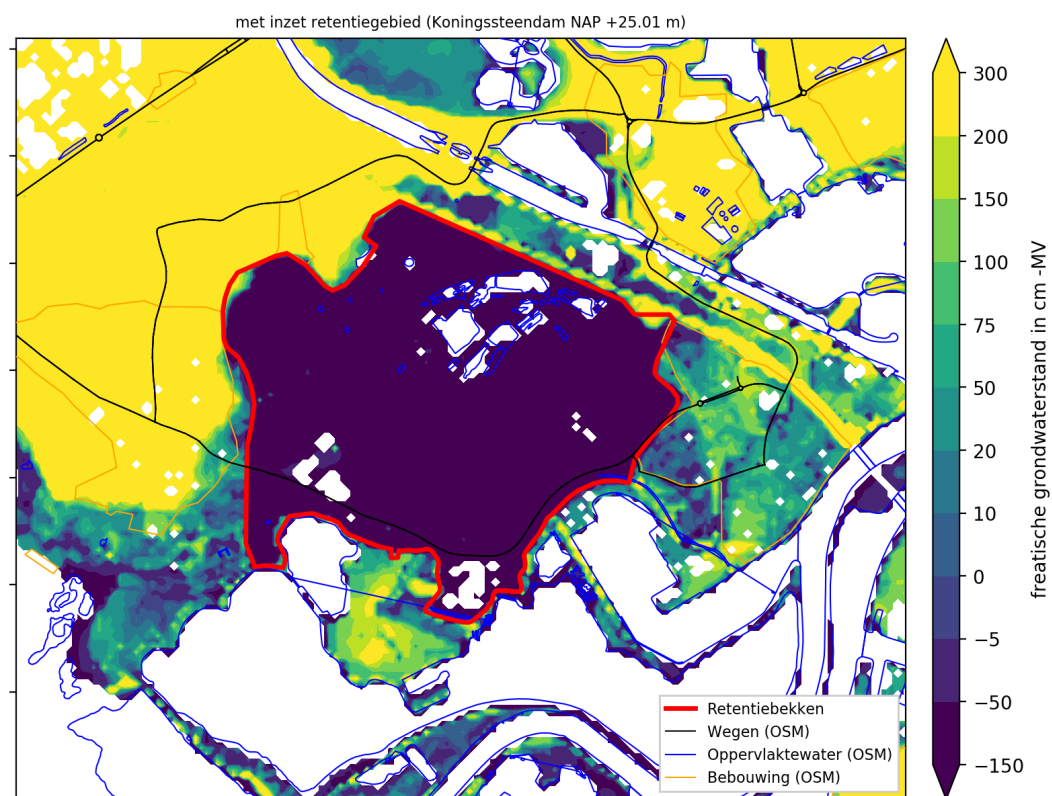
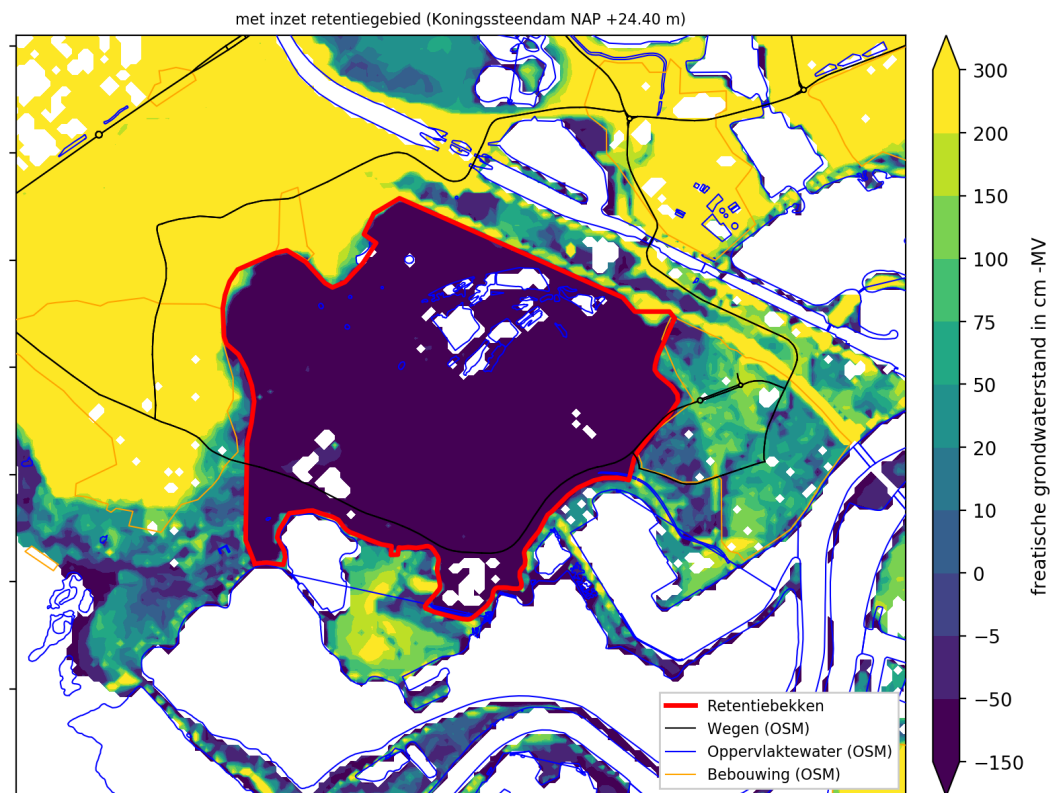
zonder inzet retentiegebied (Koningssteendam NAP +24.40 m)



zonder inzet retentiegebied (Koningssteendam NAP +25.01 m)

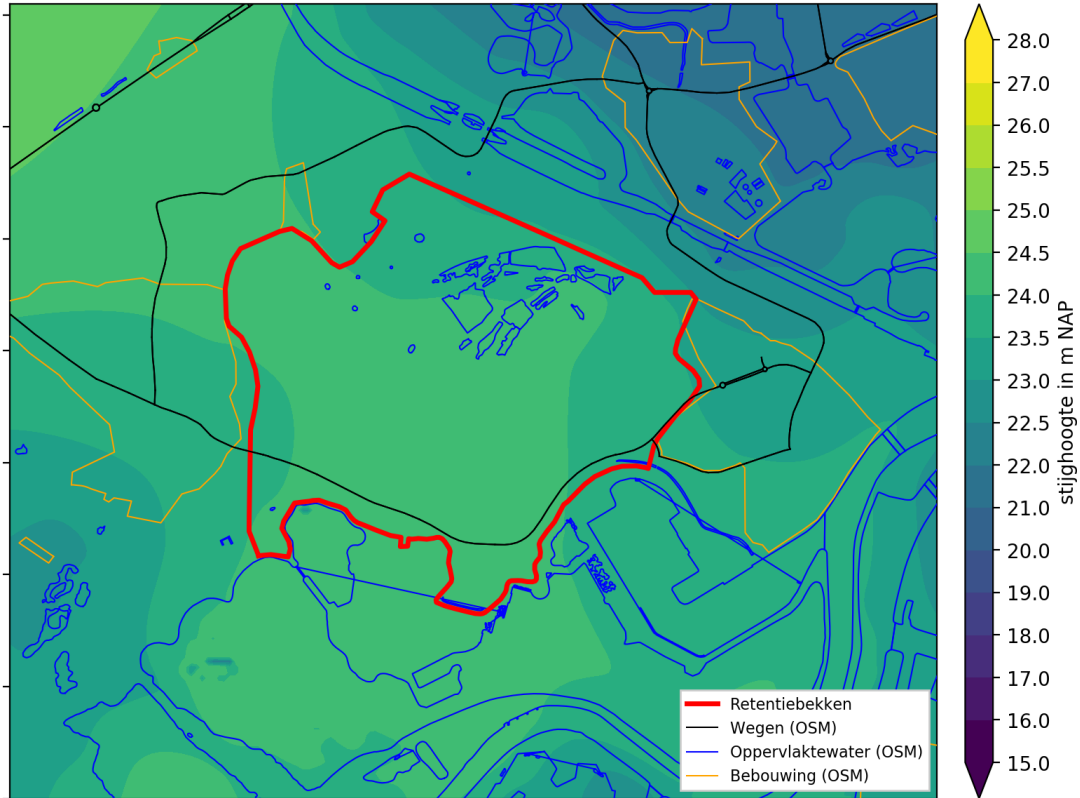


Bijlage VII Kaarten met inzet bekken (paragraaf 6.3 en 7.3)

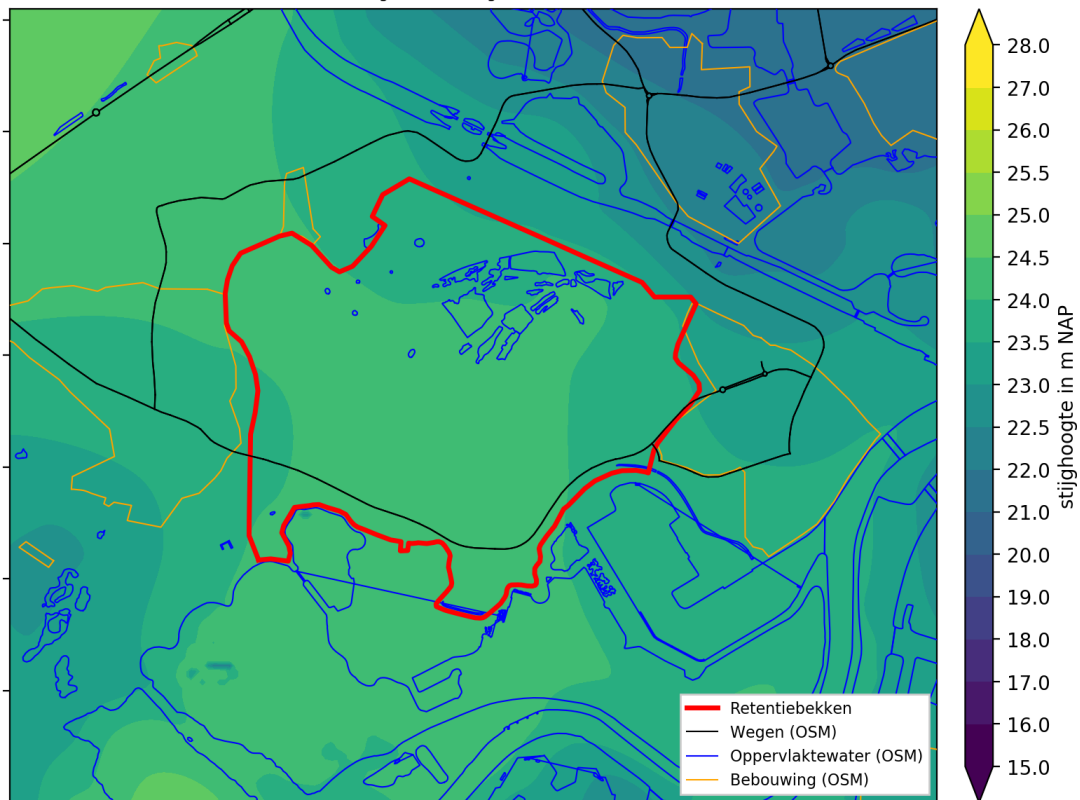


HWBP Noordelijke Maasvallei

met inzet retentiegebied (Koningssteendam NAP +24.40 m)



met inzet retentiegebied (Koningssteendam NAP +25.01 m)



HWBP Noordelijke Maasvallei

