Rapport

Projectnummer: 358826
Referentienummer: SWNL009403
Datum: 20-07-2018

Verkenning PAS-maatregelen ’Sprengenberg’ Sallandse Heuvelrug

MIPWA v3 modelbouw en verkennende scenarioberekeningen

Definitief

Opdrachtgever:
Waterschap Drents Overijsselse Delta
Postbus 60
8000 AB ZWOLLE

Sweco
Robijnstraat 11
1812 RB Alkmaar
Postbus 214
1800 AE Alkmaar
Nederland

T +31 88 811 66 00
www.sweco.nl

Sweco Nederland B.V.
Alkmaar
Handelsregister 30129769
Statutair gevestigd te De Bilt

Robin Opdam
Adviseur Geohydrologie
T +31 88 811 43 68
M +31 6 51 40 08 07

Verantwoording

Titel	Verkenning PAS-maatregelen ’Sprengenberg’ Sallandse Heuvelrug
Subtitel	MIPWA v3 modelbouw en verkennende scenarioberekeningen
Projectnummer	358826
Referentienummer	SWNL0229403
Revisie	D1
Datum	20-07-2018
Auteur(s)	Robin Opdam
E-mailadres	robin.opdam@sweco.nl
Gecontroleerd door	Sandra Schunselaar
Paraaf gecontroleerd	
Goedgekeurd door	Yska de Leeuw
Paraaf goedgekeurd	

Inhoudsopgave

1 Inleiding 5
1.1 Aanleiding 5
1.2 Doel en resultaat 6
2 Aanvulling hydrologische systeemanalyse 6
2.1 Inleiding 6
2.2 Aanvullende analyse lokaal grondwatersysteem 6
2.3 Analyse neerslaggegevens 10
2.3.1 Neerslag in MIPWA v3 model (KNMI) 10
2.3.2 Analyse radargegevens 11
2.3.3 Analyse lokaal neerslagstation 13
2.3.4 Conclusies neerslag analyse 14
2.4 Uitgevoerde maatregelen Witteveensleiding 14
3 Actualisatie MIPWA v3 model 15
3.1 Inleiding 15
3.2 Modelgrootte 16
3.3 Beoordeling en aanpassing modelinvoer 16
3.4 Validatieset 17
3.5 Beoordeling resultaten basismodel: BASIS4 17
3.5.1 Inleiding 17
3.5.2 Niet gestuwd gebied 17
3.5.3 Gestuwde gebied Sallandse Heuvelrug 18
4 Gevoeligheidsanalyse/kalibratie model 20
4.1 Inleiding 20
4.2 Samenvatting parameter optimalisatie model huidige situatie (HUIDIG_KD) 20
4.3 Validatie model huidige situatie 21
4.3.1 Statistiek 21
5 Referentiesituatie 22
5.1 Ontwateringsdiepte 23
6 Verkennende scenario's: rekenronde 1 24
6.1 Uitgangspunten scenario's 24
6.2 Effecten scenario's rekenronde 1 26
7 Verkennende scenario's: rekenronde 2 29
7.1 Uitgangspunten scenario's 29
7.2 Effecten scenario's rekenronde 2 30
7.2.1 Scenario 11 30
7.2.2 Scenario 12 32

8 Vertaling effecten niet-stationaire situatie 34
8.1 Inleiding 34
8.2 Uitwerking meetraai 35
8.3 Niet stationaire effecten 40
8.3.1 Seizoensafhankelijke effecten 40
8.3.2 Langjarige effecten 40
8.4 Vertaling stationaire effecten naar niet-stationaire situatie 44
9 Conclusies en aanbevelingen 44
9.1 Conclusies 44
9.2 Aanbevelingen 47

Bijlage 1. Modelomvang
Bijlage 2. Modelaanpassingen basismodel (Basis4)
Bijlage 3. Validatie set
Bijlage 4. Gevoeligheidsanalyses (Excel-tabel)
Bijlage 5. Modelresiduen definitief model Huidige situatie
Bijlage 6. Effecten verkennende scenario's
Bijlage 7. Verdampingswaarden gewassen (KWR, 2013)

1 Inleiding

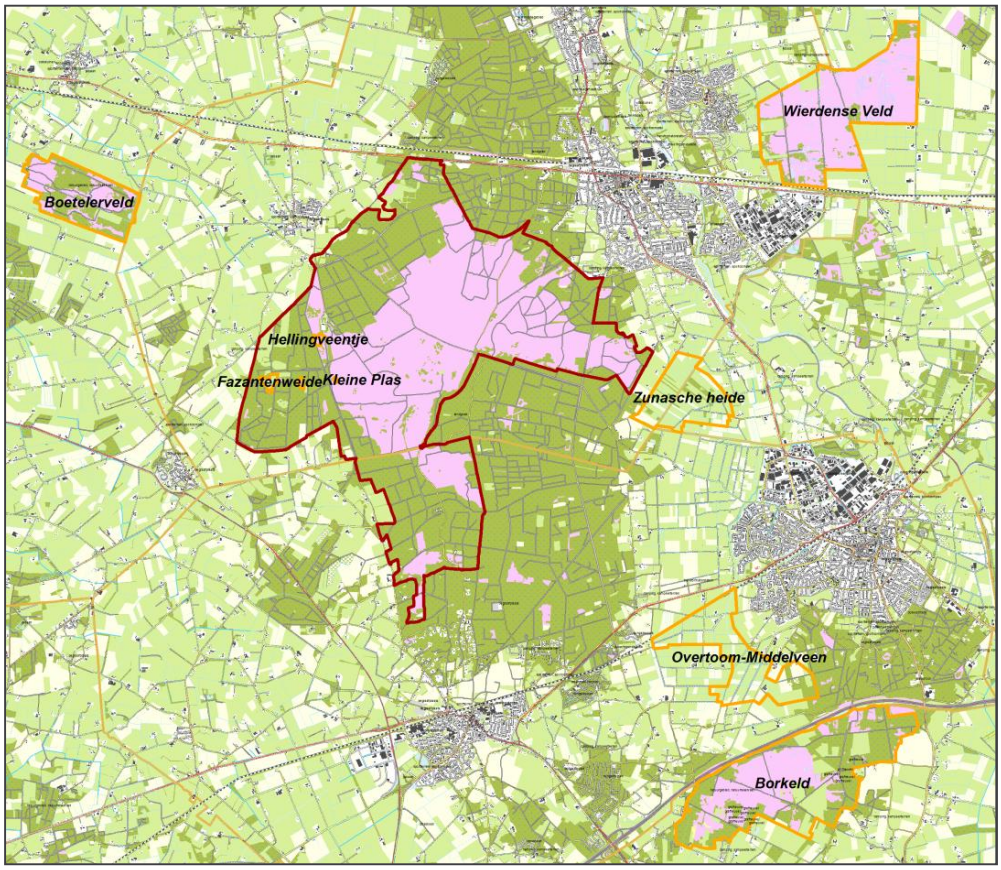
1.1 Aanleiding

De Sprengenberg (907 ha) is een uitgestrekt natuurgebied met veel heide en naaldbos en is onderdeel van het Nationale Park en N2000 gebied De Sallandse Heuvelrug.
De Sprengenberg ligt in gemeente Hellendoorn, ongeveer 5 km ten zuidwesten van Nijverdal tussen de dorpen Haarle en Nieuw-Heeten.

De PAS-gebiedsanalyse geeft aan dat op de westflank van de Sallandse Heuvelrug in het deelgebied Sprengenberg op termijn herstel van 15–30 ha vochtige heide nodig is om de landschappelijke gradiënt van droge heide naar vochtige heide te herstellen. Veldwerk heeft daarbij aangetoond dat voor het bereiken van de noodzakelijke hydrologische condities een verhoging nodig is van de regionale grondwaterstand van 20 tot 60 cm (GVG).

In 2015 heeft Sweco (toen nog Grontmij) reeds een systeemanalyse uitgevoerd en zijn de toenmalige beschikbare grondwatermodellen (WRD2014 en MIPWA-versies v2.1, v2.2 en het lagenmodel van v3.0) beoordeeld[1]. Op het moment dat besloten werd om verder te gaan met het lagenmodel van MIPWA v3.0, is het project tijdelijk stilgelegd in afwachting van andere gebiedsontwikkelingen.

Het project krijgt nu een doorstart. Inmiddels is het totale MIPWA v3.0 model in concept opgeleverd. Sweco heeft dit model in opdracht van provincie Overijssel beoordeeld op geschiktheid voor het doorrekenen van mogelijke PAS-maatregelen. Conclusie is dat het model in potentie wel geschikt is, maar nog nader aangepast, gekalibreerd en gevalideerd moet worden.



Figuur 1-1 N2000 gebied Sallandse Heuvelrug (rood) met omliggende natuurgebieden (oranje)

[1] Grontmij, Hydrologisch onderzoek PAS Sallandse Heuvelrug, PN 343838, 2015.

Het westelijk deel van de Sallandse Heuvelrug en meer specifiek de Sprengenberg, wordt in deze rapportage aangeduid als 'Westflank'. Dit betreft alleen de flankzone binnen de N2000 grens.
De westelijke flank van de Sprengenberg, inclusief aangrenzend landbouwgebied buiten de N2000 grens, wordt 'Westrand' genoemd.

1.2 Doel en resultaat

Doelen van deze fase van het project zijn het bouwen van een geschikt stationair, gevalideerd grondwatermodel en met dit model verkennen van mogelijke (combinaties van) maatregelen.

De resultaten van deze fase zijn:
1. een gevalideerd en gekalibreerd stationair model voor de Westrand;
2. kaartbeelden (inclusief toelichting) van de relatieve effecten van verkennende stationaire scenario's op de langjarig gemiddelde stijghoogten in de verschillende watervoerende pakketten;
3. visualisatie van de modelresultaten in een dwarsprofiel.

De lokaal voorkomende schijnspiegels op de Sprengenberg worden met dit model niet goed gemodelleerd. In een eerder stadium is al onderzocht dat uitbreiding van vochtige heide in deze schijnspiegelgebieden niet mogelijk is. Voor de hier benodigde kwaliteitsverbetering is geen grondwatermodellering noodzakelijk, maar gaat het vooral om interne beheer-maatregelen.

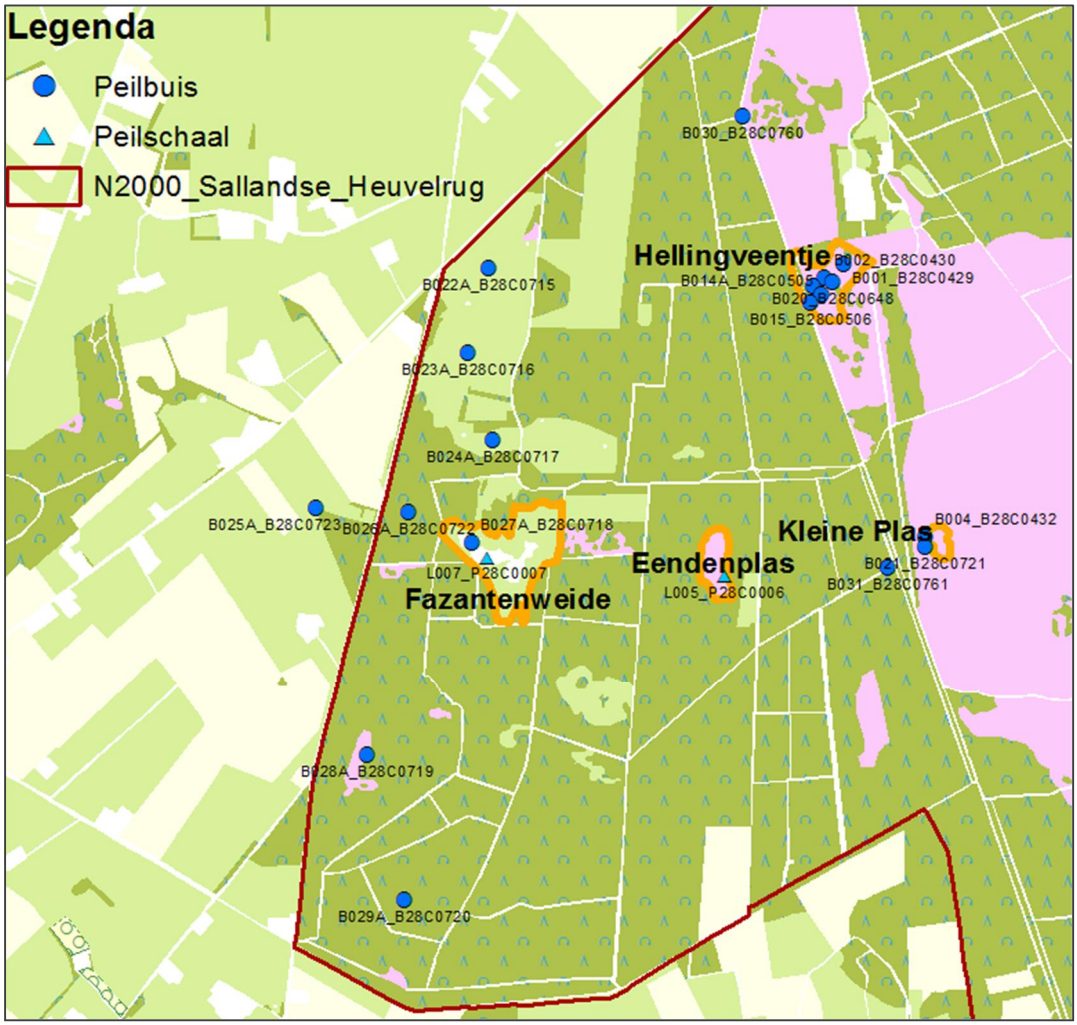
2 Aanvulling hydrologische systeemanalyse

2.1 Inleiding

In 2015 is reeds een uitgebreide hydrologische systeemanalyse uitgevoerd. Intussen zijn echter nieuwe gegevens beschikbaar gekomen. Dit betreft:
1. grondwaterstandgegevens van in 2015 door Natuurmonumenten geplaatste peilbuizen;
2. neerslaggegevens Hydronet en lokaal neerslagstation;
3. recent uitgevoerde maatregelen Witteveensleiding.

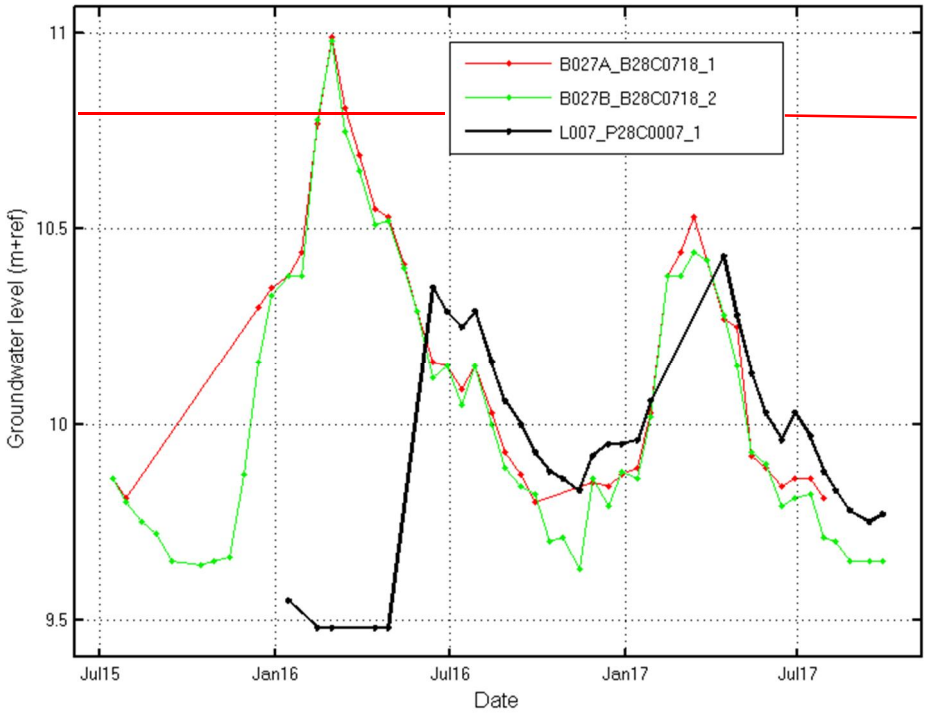
2.2 Aanvullende analyse lokaal grondwatersysteem

In 2015 is een nieuwe N-Z meetraai geplaatst op de Westflank (B022 t/m B029) met zowel een ondiep als dieper filter. Daarnaast is één peilbuis bij de Kleine Plas bijgeplaatst (B021). Tot slot is er in 2016 een peilschaal geplaatst in de plas in de Fazantenweide. Het totale meetnet van Natuurmonumenten is weergegeven in Figuur 2-1. De nieuwe meetpunten hebben formeel te korte meetreeksen om betrouwbare GxG's te bepalen, maar geven al wel inzicht in het hydrologisch functioneren van het gebied.



Figuur 2-1 Actieve meetpunten van Natuurmonumenten op de Westflank

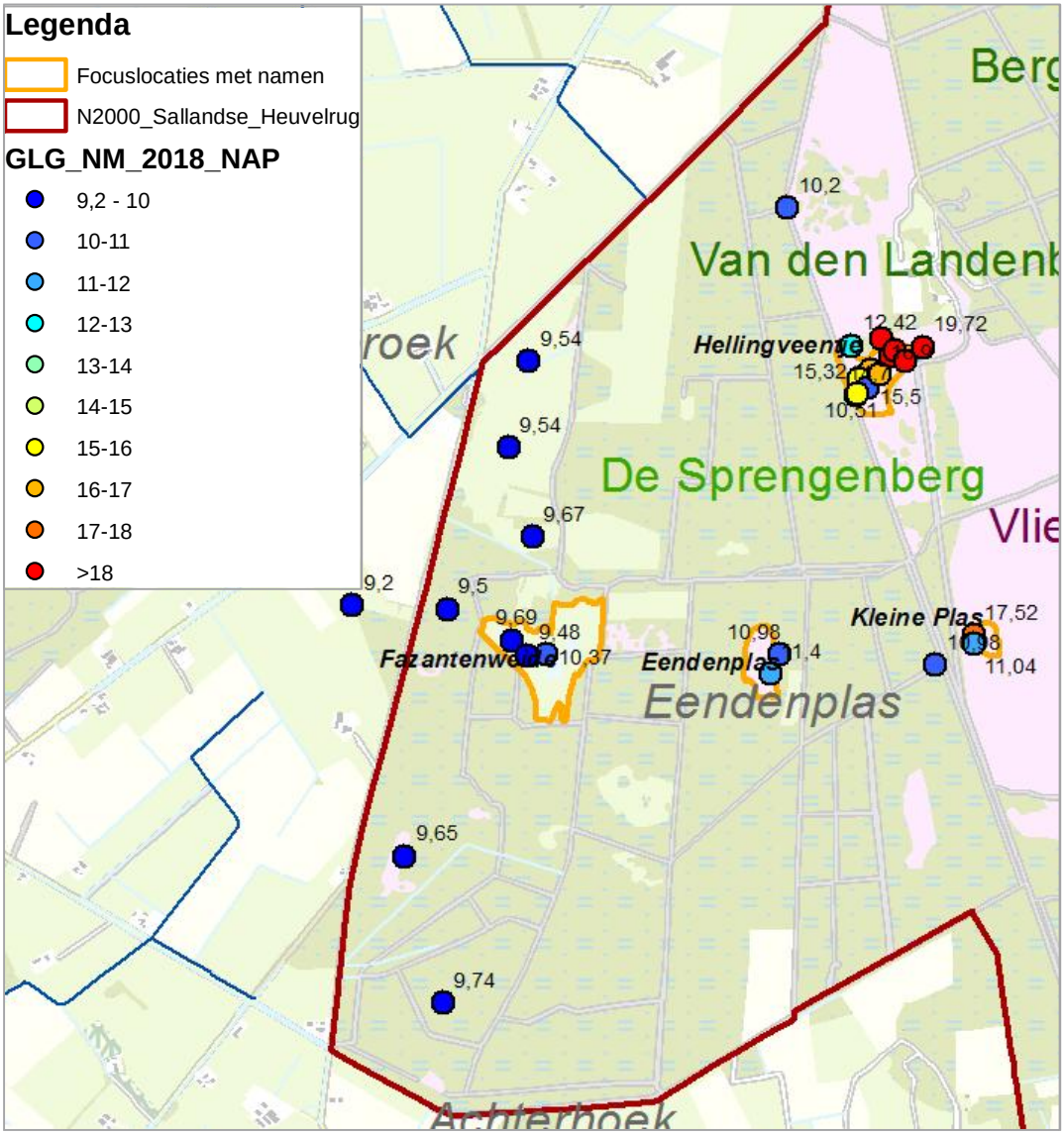
Binnen de Fazantenweide zijn een peilbuis (twee filters) en een peilschaal aanwezig. De metingen vanaf juli 2015 zijn weergegeven in Figuur 2-2. Hieruit blijkt dat het peil in de plas binnen de Fazantenweide (L007_P28C007_1 met een betrouwbare meetreeks vanaf juni 2016) een vergelijkbaar verloop en dynamiek heeft als de grondwaterstand en stijghoogte in de nabij gelegen peilbuis. Dit bevestigt dat de Fazantenplas is uitgegraven en in direct contact staat met het diepere regionale grondwatersysteem[1]. De peilbuis ligt daarbij iets ten noordwesten (benedenstrooms) van de plas wat de iets lagere waarden verklaart. Op deze locatie is dus geen sprake van een schijngrondwaterspiegel. Het ondiepe filter valt bovendien in de zomer droog. De stijghoogte zakt daarbij uit tot meer dan 1,0 m -mv. In een natte winter komt deze wel tot aan maaiveld.



Figuur 2-2 Lokale grondwatersituatie Fazantenweide. Rode lijn= maaiveldhoogte ter plaatse van peilbuis (NAP +10,75m)

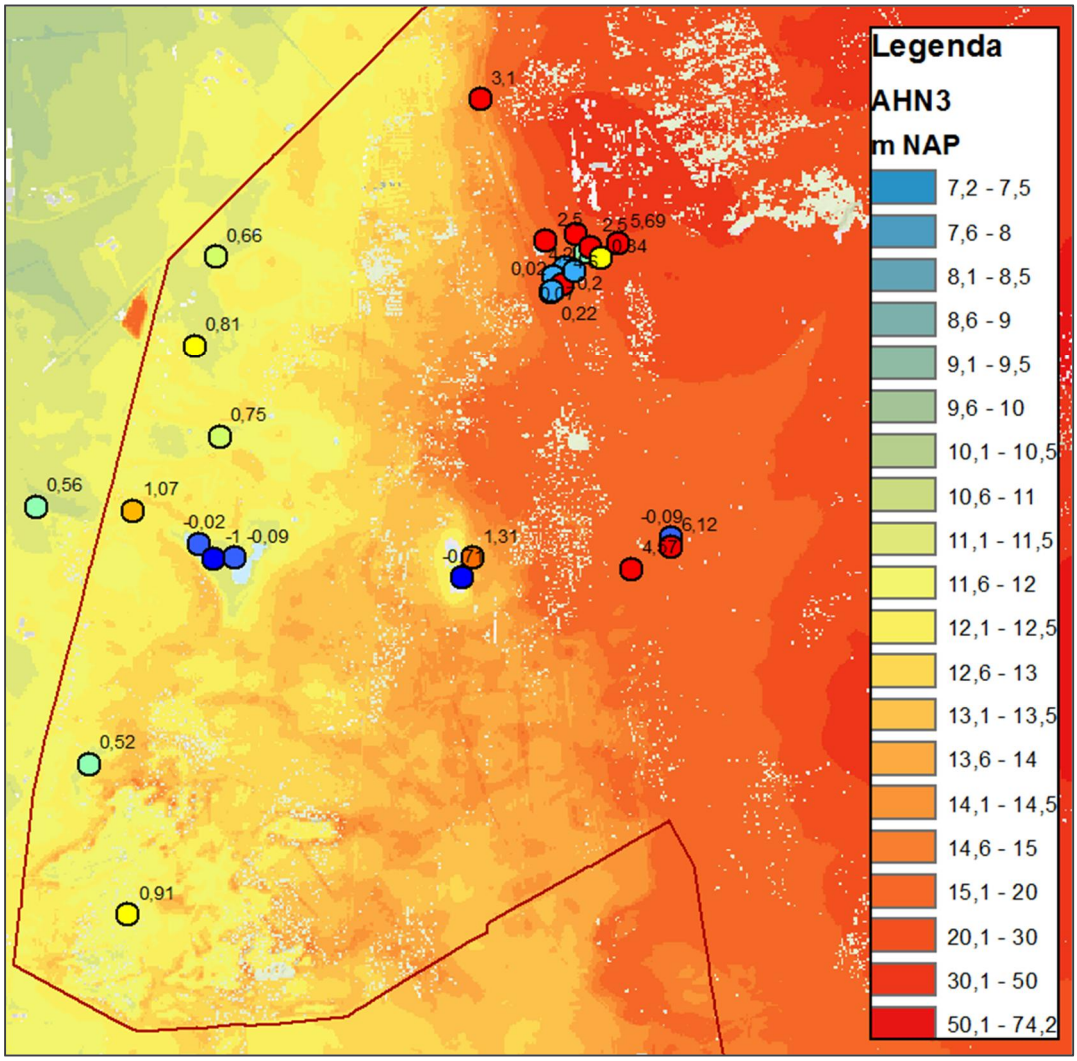
Bovenstaande beeld van ondiepe droogvallende peilbuizen zien we bij vrijwel alle ondiepe filters op de Westflank.

Schijngrondwaterspiegels komen wel voor ter plaatse van het Hellingveen en de Kleine plas, zie Figuur 2-3 (rode en oranje kleuren). Lokaal komen hier schijngrondwaterstanden voor, die circa 6 m hoger zijn dan de regionale freatische grondwaterstanden in de overige peilbuizen. Deze schijnspiegels treden jaarrond op.



Figuur 2-3. GLG peilbuizen en peilschalen NMM in m+NAP (gebaseerd op meetreeksen van ruim twee jaar)

De grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld variëren wel sterk afhankelijk van de precieze situering op de flank. In natte perioden komt de GHG buiten de schijnspiegel-systemen alleen aan maaiveld in de Fazantenweide, zie blauwe kleuren in Figuur 2-4. Bij de overige peilbuizen op de flank varieert de GHG (op basis van ruim twee jaar metingen) van 0,5 (lagere delen) tot ruim 1,0 m -mv.

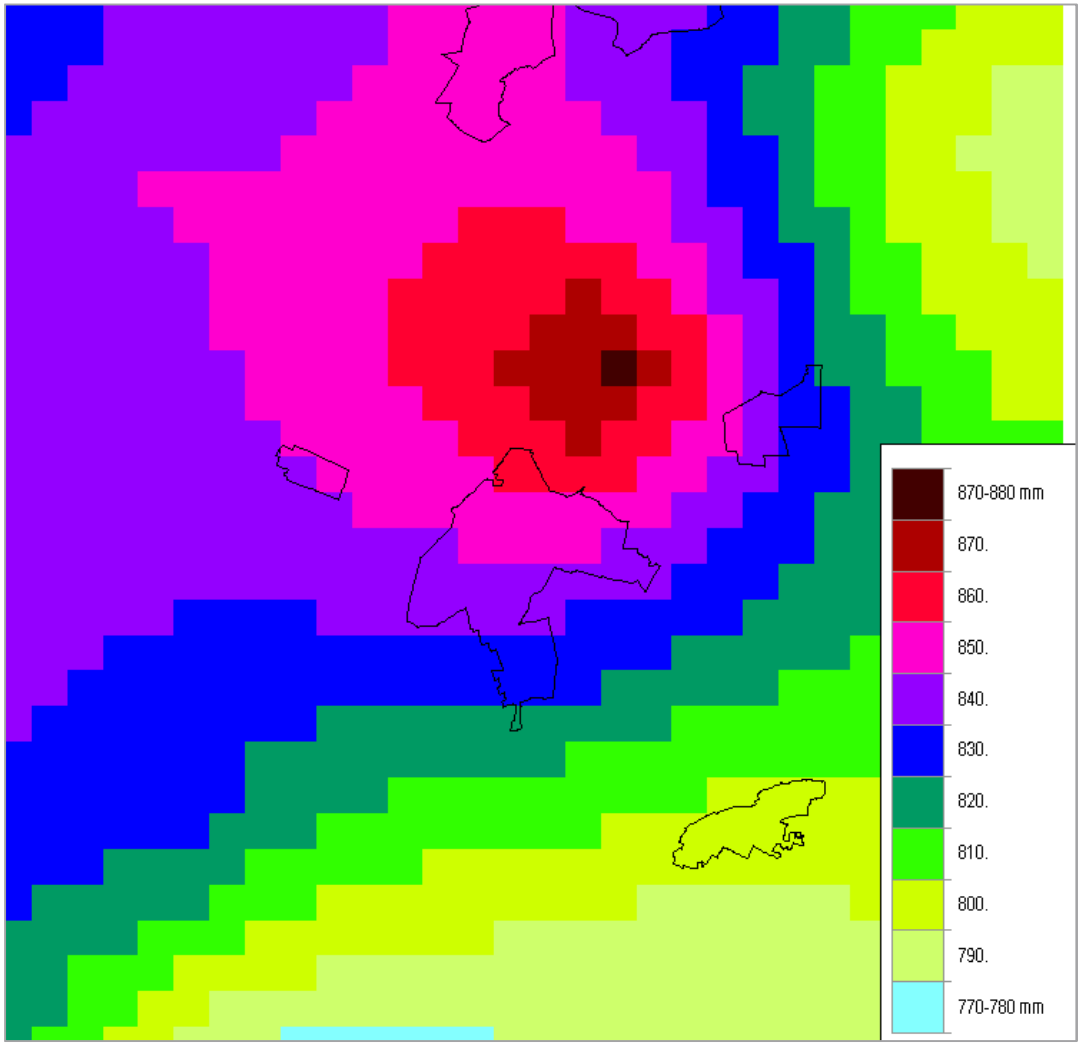


Figuur 2-4 GHG peilbuizen en peilschalen NMM in m-mv (labels) en maaiveldhoogte

2.3 Analyse neerslaggegevens

2.3.1 Neerslag in MIPWA v3 model (KNMI)

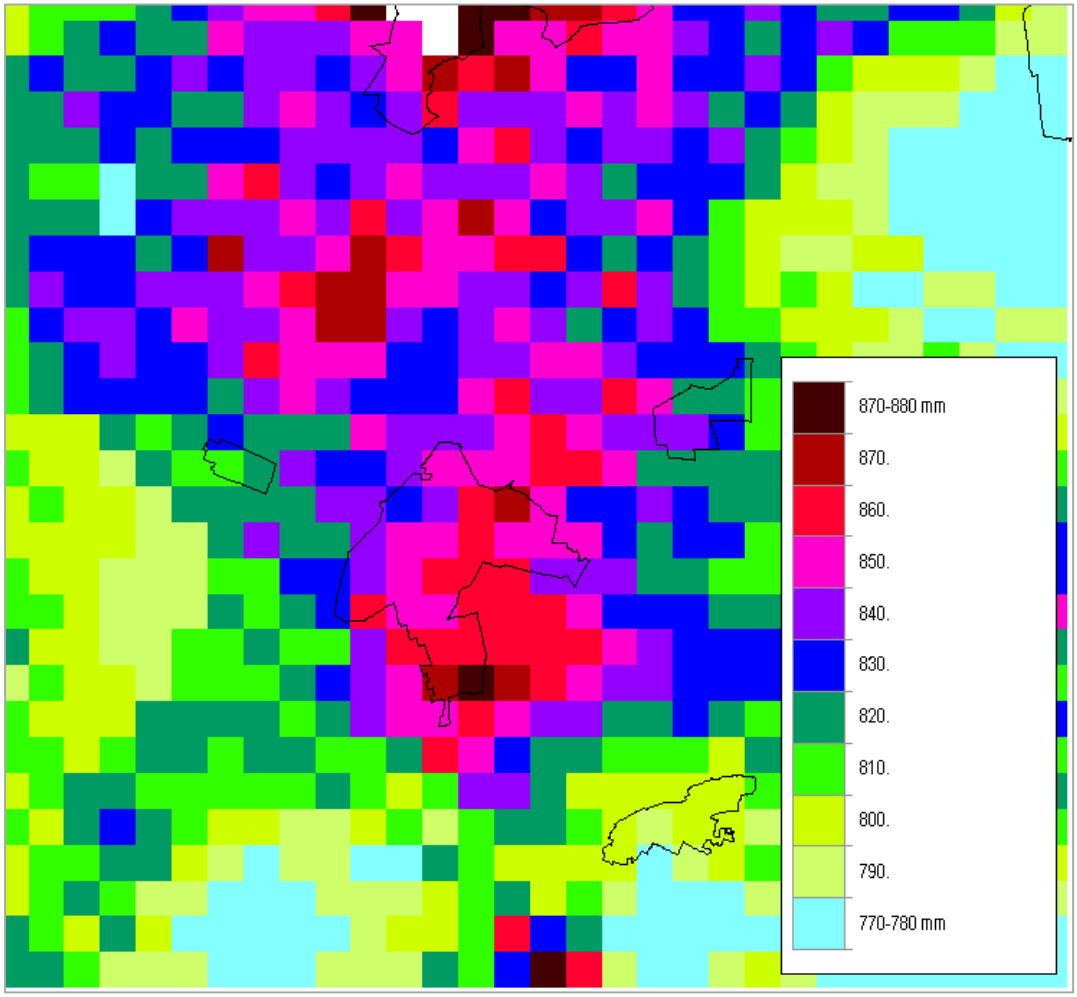
Neerslag en verdamping bepalen in belangrijke mate de grondwateraanvulling op de Sallandse Heuvelrug en zijn een gevoelige parameter in grondwatermodelberekeningen. De vlakdekkende neerslag en verdamping in het MIPWA v3 model zijn bepaald door een interpolatie van de meetgegevens ter plaatse van KNMI-stations. De resulterende gemiddelde neerslag over de periode 2009-2014 is weergegeven in Figuur 2-5.



Figuur 2-5 Gemiddelde neerslag 2009-2014 in mm/jaar (MIPWA v3 op basis van KNMI-interpolatie)

2.3.2 Analyse radargegevens

Sinds enige jaren worden ook radarbeelden gebruikt om de vlakdekkende neerslag te bepalen, waaronder voor Hydronet. Deze radarbeelden zijn gebaseerd op zes radarstations (twee in Nederland, drie in Duitsland en één in België) en worden geijkt ter plaatse van de KNMI-stations. Met de radarbeelden is het mogelijk om de ruimtelijke variatie in neerslag in gebieden tussen de meetstations te beoordelen. De data is beschikbaar voor pixels van 1x1 km voor de periode 2009-2014. De gemiddelde neerslag is weergegeven in Figuur 2-6. Deze geeft een veel gevarieerder beeld.



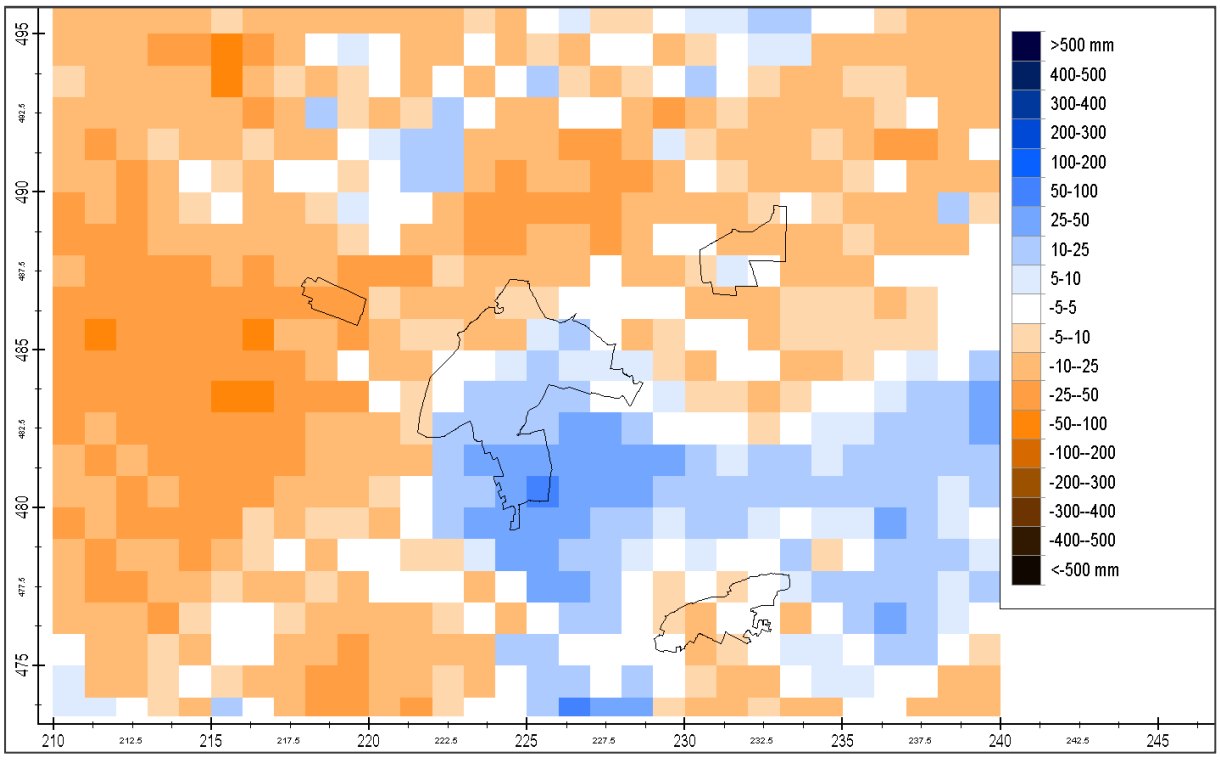
Figuur 2-6 Gemiddelde neerslag Hydronet 2009-2014 in mm/jaar

In Tabel 2-1 zijn de jaarlijkse en de totaal gemiddelde verschillen (2009-2014) weergegeven tussen de radargegevens uit Hydronet en de MIPWA-invoerbestanden. Hieruit blijkt dat de radargegevens voor het grootste gedeelte van het modelgebied ‘droger’ zijn dan de KNMI-interpolatie in MIPWA. Waar de radar een natter beeld geeft, zijn de uitschieters echter vrij groot met jaarlijkse verschillen tot circa 230 mm. Dit duidt waarschijnlijk op extreme zomerse buien die niet terugkomen in de interpolatie tussen KNMI-stations. In het ‘droge bereik’ blijft het jaarlijkse verschil tot <100 mm beperkt. Opvallend is dat vooral de dynamiek van de radar groter is: de minimale waarden zijn lager en de maximale waarden zijn hoger.

Tabel 2-1 Vergelijking neerslag Hydronet radargegevens met MIPWA-bestanden voor modelgebied

Jaar	MIN Radar (mm)	MAX Radar (mm)	MIN MIPWA (mm)	MAX MIPWA (mm)	MIN Verschil Ra-MIP (mm)	MAX Verschil Ra-MIP (mm)	Beeld voor grootste deel modelgebied
2009	711	976	743	892	-75	+150	Radar droger
2010	756	927	805	925	-83	+53	Radar droger
2011	744	1040	774	944	-64	+227	Radar droger
2012	727	1009	771	878	-62	+150	Radar natter
2013	720	859	756	866	-96	+62	Radar droger
2014	693	930	718	844	-94	+124	Radar natter
GEMID	751	895	777	872	-60	+94	Radar droger

Bovenstaande langjarig gemiddelde verschillen zijn weergegeven in Figuur 2-7. Hier zien we een duidelijk patroon ontstaan: ten noorden en westen van de Sallandse Heuvelrug is de radarneerslag lager dan de KNMI-interpolatie. Bovenop en ten zuidoosten van de Heuvelrug is de neerslag volgens de radar juist hoger.



Figuur 2-7 Verschil tussen gemiddelde radarneerslag Hydronet 2009-2014 en gemiddelde neerslag MIPWA 2009-2014 (radar-MIPWA)

2.3.3 Analyse lokaal neerslagstation

De Brandweer Nijverdal heeft een lokaal neerslagstation op de Sprengenberg. Deze is gesitueerd direct ten westen van de top van de Heuvelrug. Voor de jaren 2014-2017 zijn neerslagsommen per uur beschikbaar. Deze zijn opgesomd tot jaarhoeveelheden en weergegeven in Tabel 2-2. Alleen voor het jaar 2014 is een vergelijking mogelijk tussen de diverse neerslaggegevens. Hieruit blijkt dat het lokale neerslagstation van Brandweer Nijverdal circa 20% minder neerslag heeft gemeten dan uit de neerslagradar en interpolatie van de KNMI-stations te herleiden is.

Tabel 2-2 Lokale neerslag ter hoogte van de Westflank

Jaar	Lokaal station brandweer (mm)	Radar Westflank (mm)	MIPWA Westflank (mm)
2014	610	748-804	765-774
2015	697	n.b.	n.b.
2016	736	n.b.	n.b.
2017	715	n.b.	n.b.

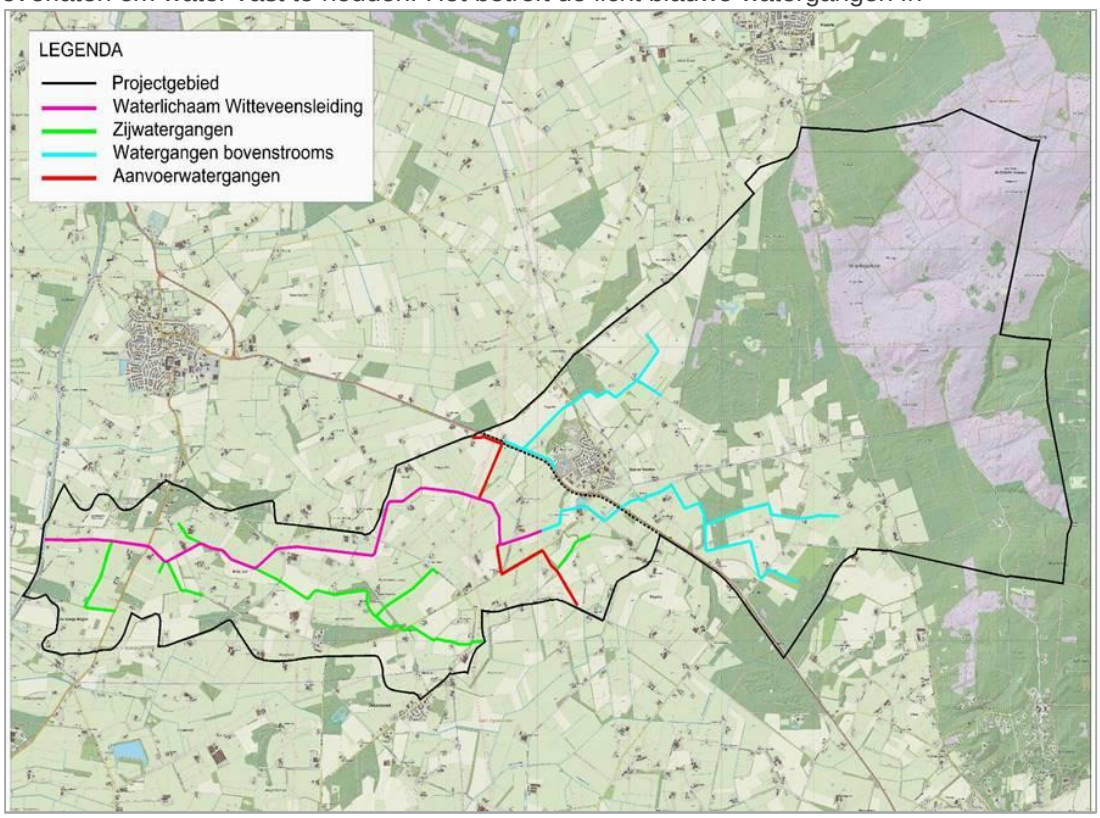
2.3.4 Conclusies neerslag analyse

Verwachting was dat de verschillen in neerslagdata zouden uitwijzen dat er sprake is van een zogeheten regenschaduw aan de zuidoostzijde van de Sallandse Heuvelrug. Dit 'berg-fenomeen' treedt ook op bij de Nederlandse heuvels ter plaatse van de Veluwe en de Hondsrug. Bij een overwegend westelijke stroming verwachten we dan meer neerslag aan de westzijde van de Heuvelrug en minder neerslag aan de oostzijde. Ter plaatse van de Sallandse Heuvelrug lijkt dit niet helemaal op te gaan. Er lijkt vooral meer neerslag te vallen bovenop de stuwwal wat nog doorwerkt tot het gebied direct ten zuidoosten. Wellicht is de stuwwal niet groot genoeg om al op de Westflank het effect te zien.

Resumerend: de KNMI-interpolatie kan zo 10% afwijken van de radar maar welke nu echt 'het beste' de werkelijkheid benaderd, is niet eenduidig vast te stellen. Dit is een aandachts-punt voor de gevoeligheidsanalyse.

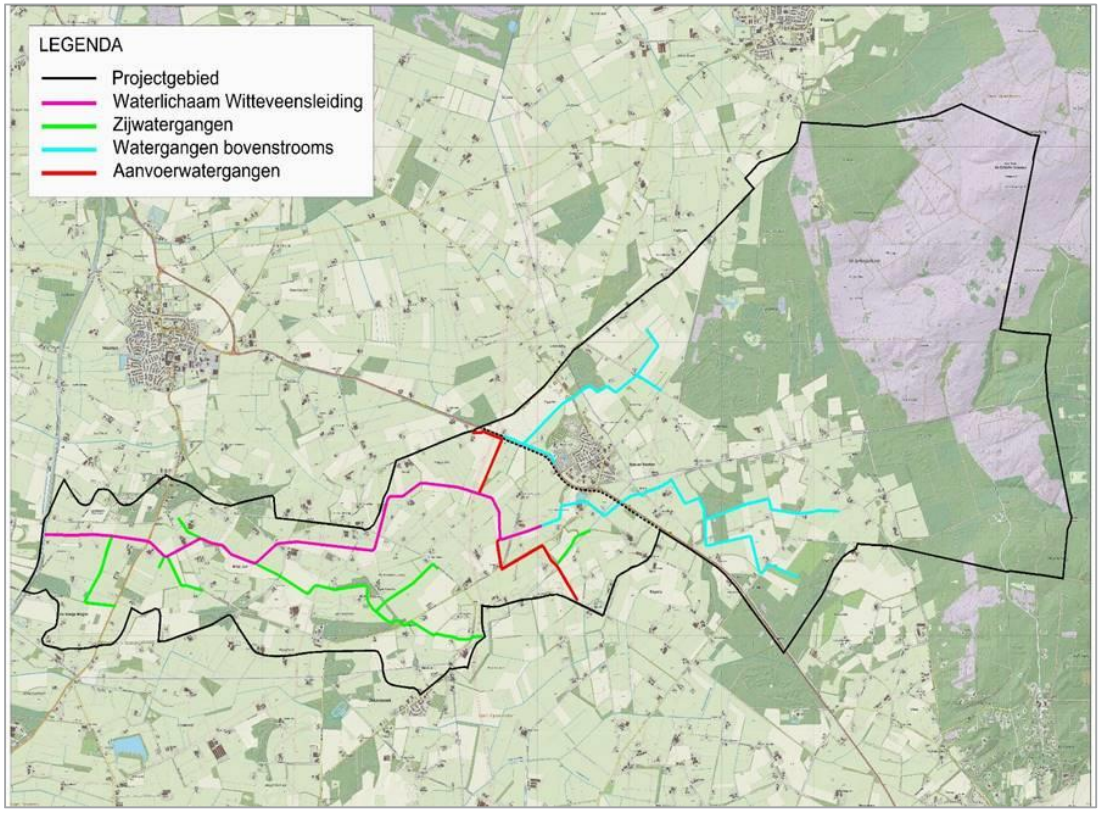
2.4 Uitgevoerde maatregelen Witteveensleiding

Het waterschap heeft in 2017 al maatregelen uitgevoerd aan de bovenlopen van de Witteveensleiding. Dit betreft het verondiepen van watergangen en het aanleggen van extra overlaten om water vast te houden. Het betreft de licht blauwe watergangen in



Figuur 2-8 'Watergangen bovenstrooms'.

Deze aanpassing wordt doorgevoerd voor de referentiesituatie en maakt geen onderdeel uit van het PAS-maatregelenpakket.



Figuur 2-8 Projectgebied en deelgebieden Witteveensleiding

3 Actualisatie MIPWA v3 model

3.1 Inleiding

Afgelopen najaar is het concept MIPWA v3 model beoordeeld voor de onderhavige studie (oplevering september 2017). De resultaten hiervan zijn gepresenteerd in een werksessie op 5 oktober. Sindsdien is echter weer een nieuwe oplevering geweest van het MIWPA v3 model (eindconcept, januari 2018). Omdat in deze versie een aantal bugs zijn hersteld, is besloten om met deze versie verder te gaan.

Voor de modelactualisatie zijn de volgende stappen doorlopen:

1. bepaling modelgrootte;
2. beoordeling en aanpassing modelinvoer;
3. aanpassing validatieset peilbuizen;
4. beoordeling resultaat basismodel.

3.2 Modelgrootte

Het modelgebied dient zo gekozen te worden dat effecten op de randen van het model niet doorwerken tot in het onderzoeksgebied en vice versa. Van het onderzoeksgebied is bekend dat er sprake is van een grote freatische lekweerstand en spreidingslengte; de Sprengenberg is onderdeel van een stuwwal met een dik watervoerend pakket zonder dempende sloten in de directe nabijheid. Dit zorgt ervoor dat (geo)hydrologische ingrepen een grote invloedsafstand kunnen hebben.

Om voldoende ruimte met de modelgrenzen in te bouwen, is in eerste instantie gekozen voor de volgende modelgrenzen: X: 210.100 – 239.900 Y: 470.100 – 499.900. Het meest zuidelijke deel valt daarmee net buiten het MIPWA-interessegebied. Buiten deze gebieden is het model niet doorgerekend door Deltares, maar fungeert alleen als bufferzone. Besloten is daarom om de zuidelijke modelgrens 3,5 km in noordelijke richting te verschuiven (473.600).

Een nadere onderbouwing van de modelomvang is weergegeven in bijlage 1.

3.3 Beoordeling en aanpassing modelinvoer

Nadat de benodigde modelgrootte is bepaald, is de resulterende modeluitsnede gecontroleerd op de volgende onderdelen:

1. stijghoogten modelrand;
2. plausibiliteit ondergrond schematisatie (lagenmodel+ anisotropie);
3. oppervlaktewatersysteem (incl. drainage en overlandflow);
4. onttrekkingen.

Waar nodig, zijn bovenstaande modelconcepten aangepast. Een uitgebreide toelichting op de aanpassingen is opgenomen in bijlage 2. Een samenvatting van de aanpassingen is weergegeven in onderstaande Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Aanpassingen basismodel

Parameter	Omschrijving	Model ORG	Model BASIS4
SHD	Startstijghoogten en randen	31 dec 1988 NHI	Gemiddelde stijghoogten 1989-2014 MIPWA 3.0 niet-stat, verschaald naar 25 x 25 m
WELL	Onttrekkingen Vitens	Aanlevering Vitens-Deltares	Aanlevering Vitens-Sweco
WELL	Onttrekkingen Ten Cate	ontbreekt	Aanlevering Provincie Overijssel-Sweco (LGR)
OLF	Overland flow N35	bouwput- “Onttrekking”	Maaiveldhoogte
ANI	Anisotropiefactor	0,4 in WVP 2-8	0,4 in WVP 2-5, in aangepaste verbreiding gestuwde afzettingen
ANI	Anistrotropiehoek	0-160 graden in WVP 2-8	160 graden in WVP 2-5, in aangepaste verbreiding gestuwde afzettingen
Lagen-model	Onderkant glijvlak	WVP8 BOT Deltares	WVP5 BOT Deltares +0,1 m, in aangepaste verbreiding gestuwde afz.
KVV	Verticale doorlatendheid glijvlak	0,001 m/d in SDL 8	0,001 m/d in SDL 5, in aangepaste verbreiding glijvlak
KHV	Horizontale doorlatendheid gestuwd	15 m/d in WVP 2-5	15 m/d in WVP 2-5, in aangepaste verbreiding gestuwde afzettingen
KVA	Verticale anisotropie gestuwd	0,2 in WVP 2-5	0,2 in WVP 2-5, in aangepaste verbreiding gestuwde afzettingen

3.4 Validatieset

De validatieset, zoals meegeleverd in MIPWA v3, is op een paar onderdelen aangepast:

- De buizen van Vitens zijn opnieuw aangeleverd, omdat deze relatief veel uitbijters/ foutieve waarden bevatte.
- De periode waarover de langjarig gemiddelde stijghoogte is berekend, is aangepast van 2000-2015 naar 2007-2018. Reden hiervoor is dat de modelinvoer representatief is voor de 'huidige situatie'.
- Enkele peilbuizen van Natuurmonumenten zijn toegevoegd aan de meetset.

Uiteindelijk bestaat de validatieset uit 800 buizen:

- 77 meetreeksen van provincie Overijssel;
- 689 meetreeksen van Vitens Overijssel;
- 27 meetreeksen van voormalig Waterschap Groot Salland;
- 4 meetreeksen van Waterschap Vechtstromen;
- 3 meetreeksen van Natuurmonumenten.

Op basis van de nieuwe verbreiding van de gestuwde afzettingen (REGIS II.2) is de validatieset vervolgens ingedeeld in 2 subsets en toegekend aan 9 watervoerende lagen:

- peilbuizen in of binnen 1 km van het gestuwde gebied (104);
- peilbuizen die daarbuiten liggen (454).

Een uitgebreide toelichting op de validatie set is opgenomen in bijlage 3. Hierin zijn tevens de gemeten stijghoogten in de langjarig gemiddelde, GHG- en GLG-situatie weergegeven en de optredende dynamiek.

3.5 Beoordeling resultaten basismodel: BASIS4

3.5.1 Inleiding

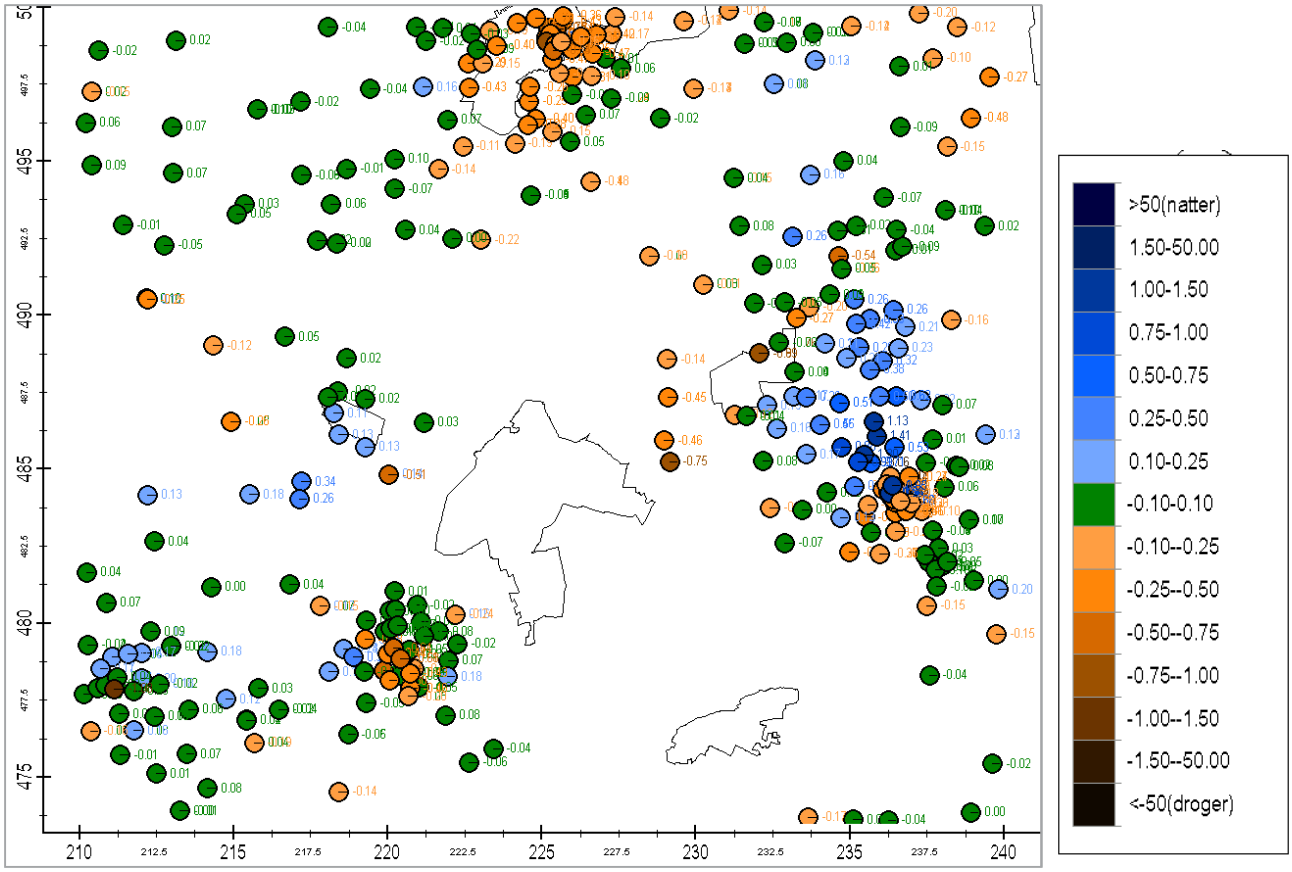
Bij de modelbeoordeling is onderscheid gemaakt in het gestuwde gebied van de Sallandse Heuvelrug en het niet gestuwde gebied. Beide worden hieronder afzonderlijk toegelicht.

3.5.2 Niet gestuwd gebied

Om een beeld te krijgen van de prestaties van het basismodel op regionale schaal, zijn de residuen voor de hele validatieset (voor langjarig gemiddelde stijghoogten) weergegeven in figuur 3.1. Hierbij zijn de filters in alle watervoerende pakketten gezamenlijk weergegeven.

Het basismodel vertoont op veel plekken kleine verschillen (< 10 cm) tussen de gemiddelde gemeten en berekende stijghoogten. Er zijn 3 'probleemgebieden' zichtbaar, waarvan alleen de eerste zich in het 'interessegebied' bevindt.

- Rondom winning Espelose Broek zijn een aantal peilbuizen duidelijk te droog.
- Ten oosten van het Wierdense Veld worden zowel te hoge als te lage stijghoogten gesimuleerd (het laatste vooral bij de drinkwaterwinning Wierden).
- Nabij de noordelijke modelrand is het model duidelijk te droog.

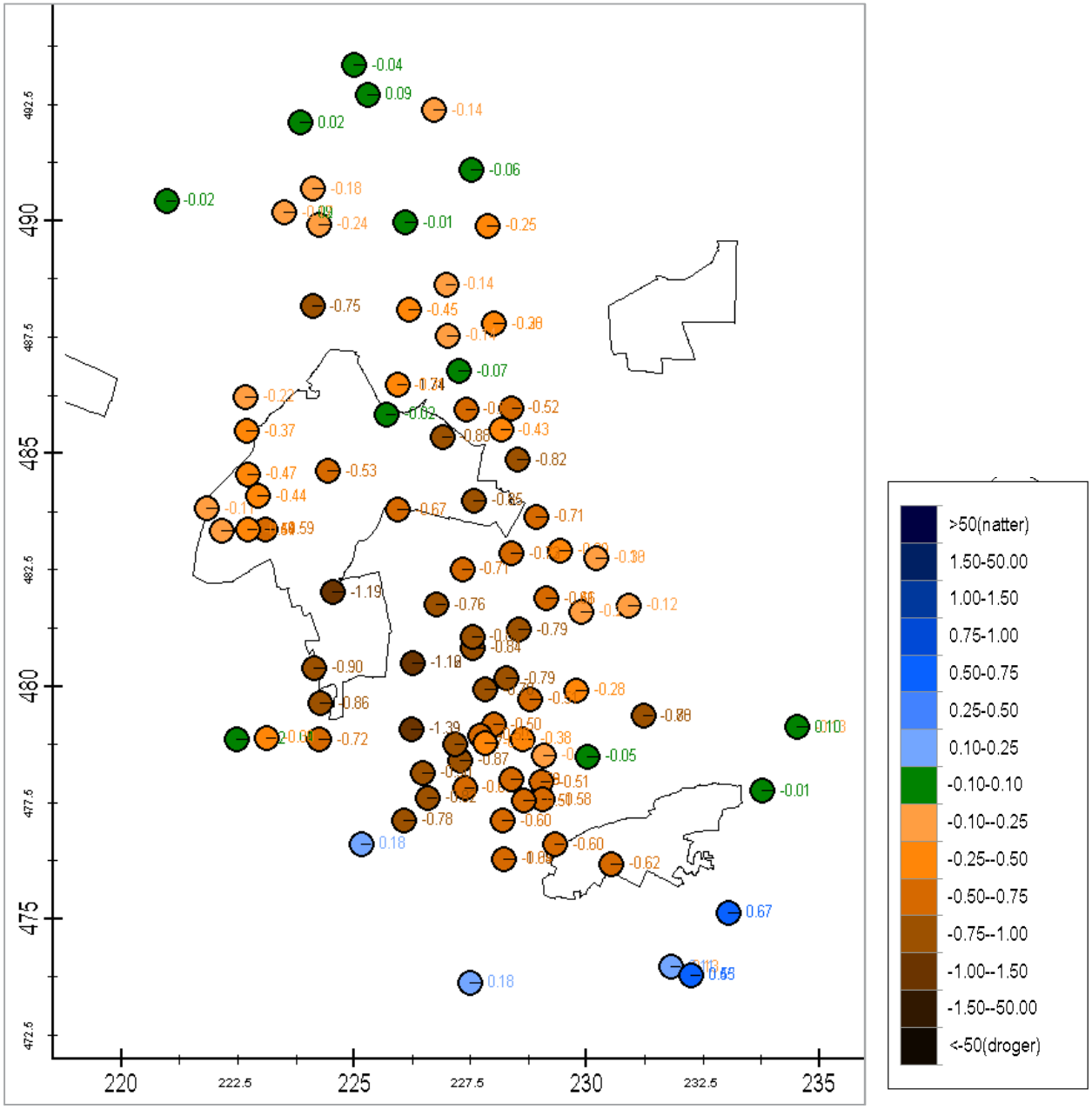


Figuur 3-1 Residuen basismodel in WVP1 t/m WVP9 (verschil gemeten-berekend in meters)

3.5.3 Gestuwde gebied Sallandse Heuvelrug

In figuur 3.2 is vervolgens ingezoomd op het gestuwde gebied van de Sallandse Heuvelrug.

In onderstaand figuur (figuur 3.2)zijn duidelijk de te droge modelomstandigheden op en rond de Sallandse Heuvelrug zichtbaar. Het gebied dat het slechtste presteert (tot 1,4 m te droog) bevindt zich ten zuidoosten van het N2000 gebied. Ook de Westrand is te droog (tot circa 0,5 m). Ten zuiden van Borkeld, dicht bij de zuidelijke modelgrens, is het model te nat.



Figuur 3-2 *Residuen basismodel in WVP1 tot en met WVP9 (verschil gemeten-berekend in meters)*

4 Gevoeligheidsanalyse/kalibratie model

4.1 Inleiding

Om de modelprestatie te verbeteren en meer inzicht te krijgen in de sturende en gevoelige parameters, zijn diverse gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Hierbij zijn zowel individuele als combinaties van parameters aangepast. Een overzicht van de uitgevoerde analyses is opgenomen in bijlage 4 (Apart Excel-bestand). Bij de analyse is met name gekeken naar het functioneren van het gestuwde gebied: dit is het gebied waar de meeste mogelijke maatregelen zich bevinden, maar in het basismodel nog onvoldoende presteert.

De volgende overwegingen hebben een rol gespeeld bij de parameteraanpassingen:

- In het gestuwde gebied ontbreekt oppervlaktewater. De grondwaterstanden worden daarmee in belangrijke mate bepaald door een combinatie van grondwateraanvulling en de snelheid waarmee het water 'de bult' afstroomt.
- Voor de grondwateraanvulling zijn twee bronbestanden beschikbaar: KNMI- en radar-neerslaggegevens. Gekeken is welke leidt tot het beste resultaat en of dit verklaarbaar is.
- Opvallend is dat de waterscheiding zich niet bevindt op het 'hoogste deel' van de stuwwal, maar verder ten zuidoosten hiervan nabij Borkeld, zie bijlage 3. Van hieruit stroomt het regionale grondwater in noordwestelijke richting met een afbuiging naar beide zijden van de stuwwal.
- Niet alleen de gestuwde modellagen zijn te droog; ook het diepe watervoerende pakket vertoont grote afwijkingen tussen berekende en gemeten stijghoogten. Het is dan ook niet verwonderlijk dat alleen sleutelen aan de modelparameters in het gestuwde pakket niet afdoende is gebleken. Het verkleinen van het doorlaatvermogen van het diepe watervoerende pakket is noodzakelijk gebleken om de opbolling in de stuwwal goed te simuleren. Overigens is dit een bekend verschijnsel: de REGIS-doorlatendheden van de zandlagen zijn vaak (te) hoog ingeschat.
- De vraag was tot hoe ver het oppervlaktewater aan weerskanten van de stuwwal nog invloed heeft op de stijghoogten ter plaatse. Verwachting was dat de waterlopen een drainerende werking hebben en vooral aan de randen de stuwwal draineren. Afhankelijk van het doorlaatvermogen van het watervoerende pakket kan dit doorwerken tot aan de waterscheiding. Om hier zicht op te krijgen is de drainageweerstand aan beide zijden van de stuwwal verdubbeld (basisweerstand van de sloten verhoogd van één dag naar twee dagen), waarbij vooral het aanpassen van de weerstand van de Vechtstromen waterlopen effectief bleek. Voor het gebied ten zuidoosten van de stuwwal (gebied zonder wateraanvoer) leverde dit een verbetering van de stijghoogten op (circa 10-15 cm).

4.2 Samenvatting parameter optimalisatie model huidige situatie (HUIDIG_KD)

In de kalibratiefase zijn de volgende modelparameters aangepast.

Tabel 4-1 Modelaanpassingen kalibratiefase

	Modelparameter:	**Model ORG (MIPWA v3 jan 2018)**	**Model HUIDIG_KD**
1	Grondwateraanvulling	Neerslag KNMI	Neerslag radar
2	Weerstand glijvlak	100d	400d
3	Doorlatendheid gestuwde zandlagen	15m/d	5m/d
4	Basisweerstand waterlopen WVZ	Zand=1d; klei/veen=2d	x 2
5	Doorlatendheid WVL7 en 8	REGIS v2.1	x 0,6

4.3 Validatie model huidige situatie

4.3.1 Statistiek

In Tabel 4-2 en Tabel 4-3 zijn de gemiddelde fouten weergegeven voor de verschillende modellen.
De eerste stap van het originele MIPWA-model naar BASIS4 betrof met name conceptuele verbeteringen en verbeteringen in de basisinvoer, wat geen overall verbetering heeft opgeleverd voor de modelresiduen voor het hele gebied (lokaal heeft dit wel invloed gehad).

Na aanpassing van de eerste vier parameters (alles met uitzondering van kD diepe pakket), was de gemiddelde fout ongeveer gehalveerd in het gestuwde gebied. Wanneer daarna ook de kD nog werd aangepast, halveerde de gemiddelde fout opnieuw in het gestuwde gebied. Het overige modelgebied blijft in alle gevallen goed.

Tabel 4-2 Statistiek voor kalibratieset gestuwd gebied

			Gemiddelde fout			
Set	**Layer**	**N**	**ORG**	**BASIS4**	**HUIDIG**	**HUIDIG_KD**
SH_gestuwd	1	4	-0,17	-0,24	-0,21	-0,18
	2	23	-0,32	-0,30	-0,17	-0,08
	3	17	-0,52	-0,52	-0,30	-0,18
	4	16	-0,50	-0,58	-0,29	-0,17
	5	23	-0,55	-0,57	-0,22	-0,04
	6	10	-0,26	-0,40	-0,23	-0,13
	7	5	-0,20	-0,22	-0,09	0,09
	8	4	-0,04	-0,17	-0,14	-0,11
	9	2	-0,50	-0,48	-0,31	-0,20
	Total	**104**	**-0,41**	**-0,44**	**-0,22**	**-0,10**

Tabel 4-3 Statistiek voor kalibratieset overig gebied

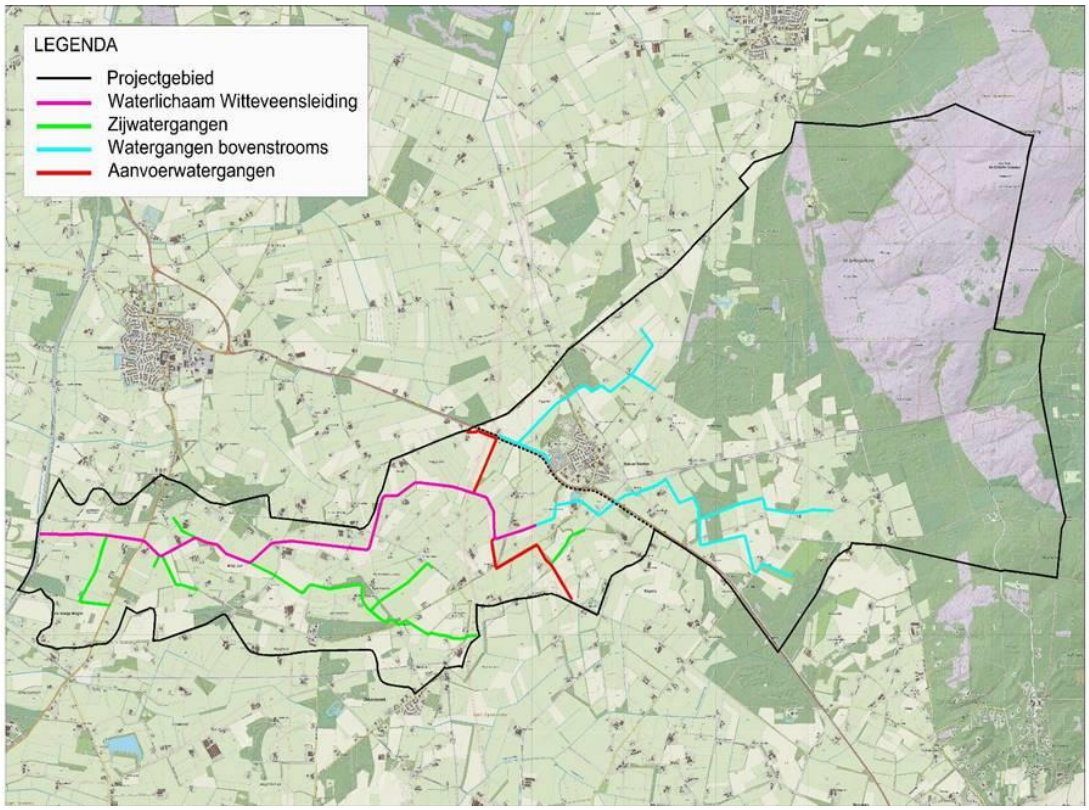
			Gemiddelde fout			
Set	**Layer**	**N**	**ORG**	**BASIS4**	**HUIDIG**	**HUIDIG_KD**
overig	1	55	0,05	0,03	0,02	0,03
	2	111	-0,03	-0,09	-0,06	-0,06
	3	72	-0,07	-0,15	-0,12	-0,12
	4	52	0,06	0,03	0,05	0,04
	5	35	0,14	0,05	0,09	0,04
	6	36	0,14	-0,06	-0,02	-0,08
	7	22	0,12	0,00	0,03	-0,02
	8	50	0,05	-0,11	-0,08	-0,24
	9	21	0,23	-0,03	0,00	-0,01
	Total	**454**	**0,04**	**-0,05**	**-0,03**	**-0,06**

Alleen in modellaag 8 resulteert het verkleinen van de kD in een grotere afwijking. Dit wordt veroorzaakt door een relatief groot aantal peilbuizen in de directe omgeving van Espelose Broek. In dit gebied met een lokaal afwijkende bodemopbouw levert het verlagen van de kD niet tot een verbetering. Om deze reden zijn beide modellen (met en zonder aanpassing in de KD) gebruikt bij de scenarioberekeningen. Hiermee kunnen 'bandbreedten' aan effecten worden bepaald.

De ruimtelijke verdeling van de residuen is weergegeven in bijlage 5. De Westrand presteert erg goed in model HUIDIG_KD.

5 Referentiesituatie

Het waterschap heeft in 2017 maatregelen uitgevoerd aan de bovenlopen van de Witteveensleiding. Dit betrof het verondiepen van watergangen en het aanleggen van extra overlaten om water vast te houden. De drainagebasis in de bovenlopen (lichtblauwe gebied op onderstaande kaart) is daarbij verhoogd naar circa 0,5 m onder het laagste maaiveld.



Figuur 5-1 Projectgebied maatregelen Witteveensleiding, watergangen bovenstrooms (lichtblauw)

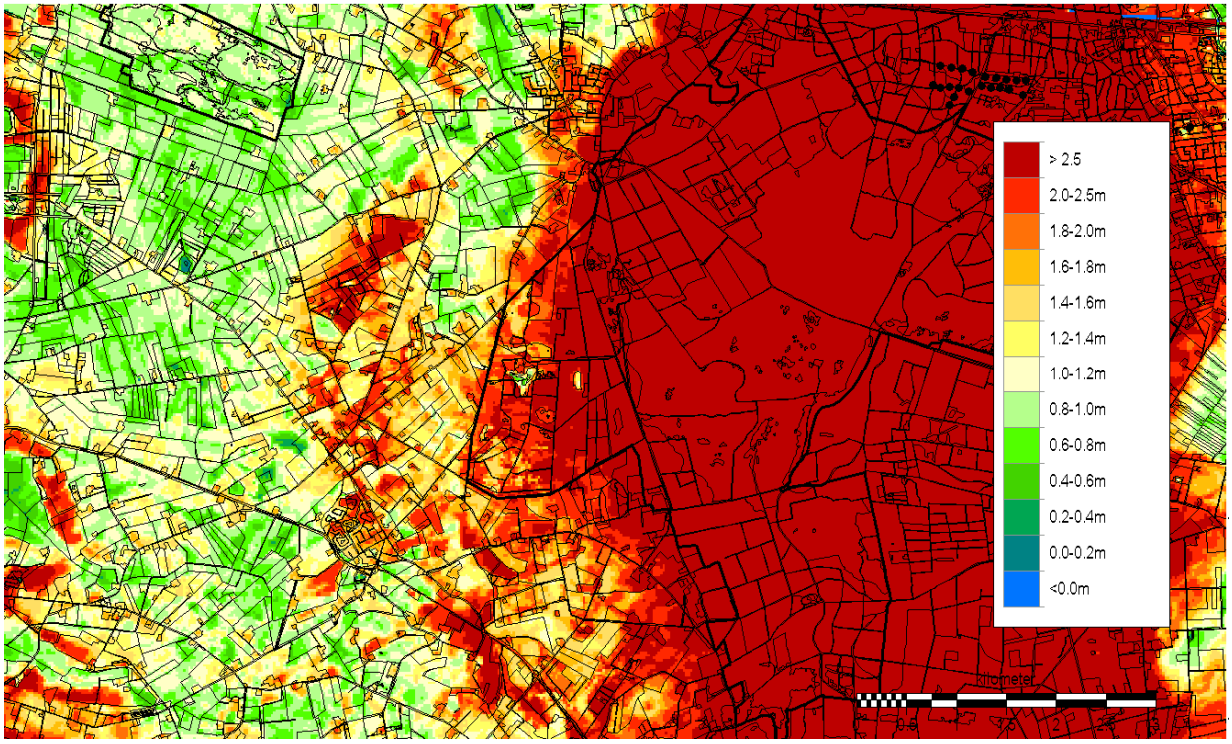
In het gekalibreerde model HUIDIG en HUIDIG_KDdiep was deze maatregel nog niet doorgevoerd. De kalibratieperiode betrof namelijk de periode, voorafgaand aan de uitvoering van deze maatregel. Voor het doorrekenen van de verkennende scenario's zijn deze maatregelen alsnog verwerkt in het model, resulterend in een model voor de referentiesituatie (2018), op de volgende wijze:

- bodemhoogte watergangen bovenstrooms verhoogd naar 0,5 m -mv (MIPWA-maaiveld ter plaatse van waterloop);
- peil watergangen bovenstrooms verhoogd naar 0,5 m-mv;
- conductance niet aangepast;
- infiltratiefactor = 0 (waterlopen kunnen alleen draineren, niet infiltreren).

Het gevolg is dat deze waterlopen alleen nog gaan afvoeren wanneer de grondwaterstand hoger is dan 0,5 m-mv.

5.1 Ontwateringsdiepte

De met het definitieve model berekende freatische grondwaterstand ten opzichte van maaiveld (met uitzondering van schijnspiegels) is weergegeven in Figuur 5-2.



Figuur 5-2 Freatische grondwaterstand (excl. schijnspiegels) in m -maaiveld referentiesituatie

De langjarig gemiddelde grondwaterstanden op de stuwwal zijn over het algemeen dieper dan 2,5 m -mv. Ter plaatse van de Westflank is deze algemeen nog steeds dieper dan 1 m-mv. Uitzondering is de Fazantenweide waar lokaal een gemiddelde grondwaterstand van 40-60 cm -mv voorkomt. Ook de laagte ter plaatse van de Eendenplas is op bovenstaande kaart zichtbaar.

6 Verkennende scenario's: rekenronde 1

6.1 Uitgangspunten scenario's

Met het model voor de referentiesituatie is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om de haalbaarheid van de 20-60 cm stijghoogteverhoging op de Westflank voor de realisatie van vochtige heide te bepalen. De vraag is in hoeverre deze verhoging te realiseren is met alleen maatregelen, gericht op het slotensysteem op de Westrand, of dat ook (omvangrijke) maatregelen aangaande bosomvorming en waterwinning noodzakelijk zijn.
Het gaat hier nadrukkelijk nog niet om 'realistische' maatregelenpakketten, maar puur om de reactie van het hydrologisch systeem op ingrepen te verkennen en om te bepalen of de benodigde verhoging van de stijghoogte überhaupt haalbaar is.

De effecten van de scenario's zijn bepaald ten opzichte van de referentiesituatie, na uitvoering van de maatregelen aan de Witteveensleiding. De doorgerekende scenario's zijn weergegeven in Tabel 6-1.

Tabel 6-1 Verkennende scenario's

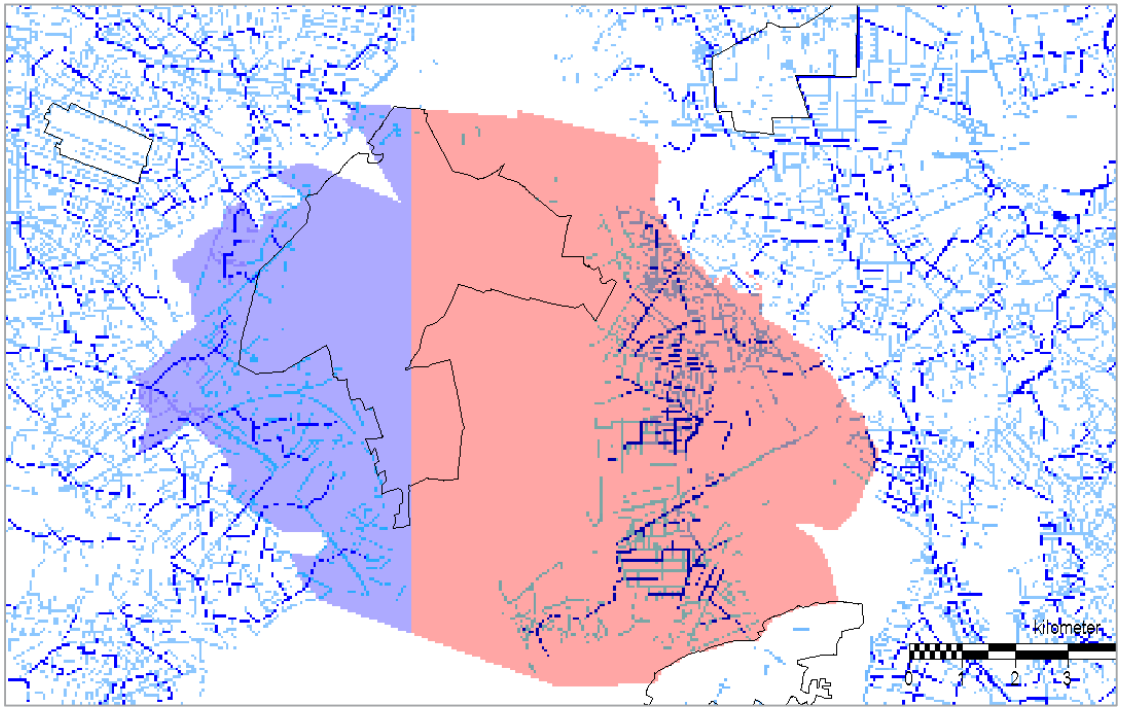
Modelrun	Maatregel combinaties	Omschrijving
1	Verhogen drainagebasis Westrand gebied "geen wateraanvoer" (Groot Salland)	Afvoerdrempel verhogen naar 0,5m -mv
2	Verhogen drainagebasis Westrand en oostflank gebied "geen wateraanvoer" (Groot Salland+ Vechtstromen)*	Afvoerdrempel verhogen naar 0,5m-mv (hele zijtak beekdal-afvoerdrempel verhogen)
3	Uitzetten winning Espelose broek	
4	Uitzetten winning Nijverdal	
5	Uitzetten winning Ten Cate	
6	Uitzetten winning Holten	
7	Omvormen bos naar heide	+100 mm/jaar** voor 411,3 ha***
8	Combinatie run 2+7	Alle maatregelen m.b.t. niet-winningen
9	Combinatie 3+4+5+6	Alle onttrekkingen uit
10	Combinatie 2+3+4+5+6+7+8	Alle maatregelen

** Gebieden zonder wateraanvoer zijn weergegeven in Figuur 6-1. Binnen deze gebieden zijn alleen de watergangen (zowel legger als TOP10) geselecteerd met een huidig peil > 0,5 m -mv.*

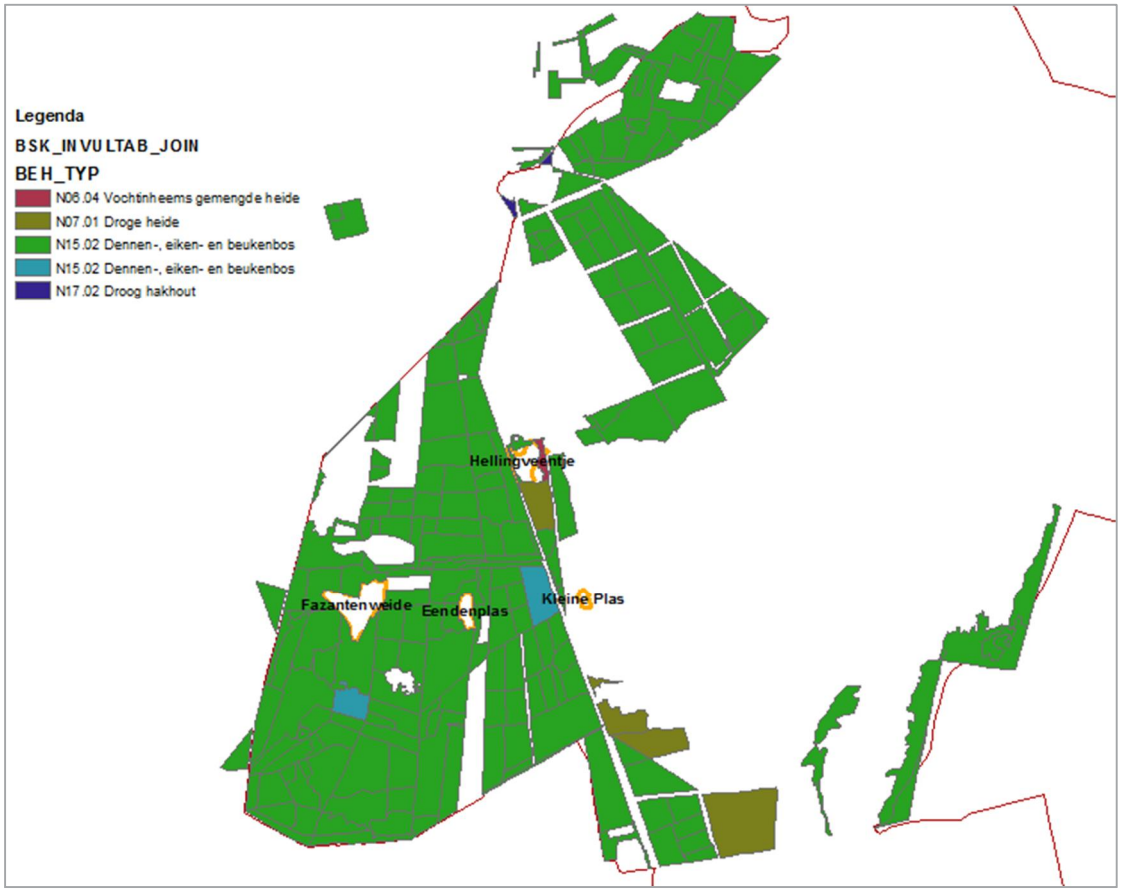
*** Globale gemiddelde grondwateraanvulling uit Grondwaterzakboekje 2017: loofbos (250 mm/j), licht naaldbos (150 mm/j), zwaar naaldbos (100 mm/j) en heide (350 mm/j). Volgens de gegevens van Massop (2005), Dolman et. al (2000) leidt het omzetten van licht of donker naaldhout in natte heide tot een verdampingsafname van respectievelijk circa 120 en circa 220 mm (gemiddeld 170 mm). In dit gebied is meer sprake van gemengd bos en gaan we uit van een conservatieve afname van 100mm/jaar; ofwel een toename in de grondwateraanvulling van 100mm/jaar.*

****Binnen het aangeleverde bosmaatregelenplan is ca. 411,3 ha beheertype N15.02 (Dennen-, eiken- en beukenbos), zie Figuur 6-2.*

Aanvullend is één extra scenario 10b uitgevoerd, waarin in het referentiemodel de KD van WVP 7 & 8 niet aangepast zijn. Hiermee wordt een maximaal effect van de maatregelen verwacht en is bovendien mogelijk meer representatief voor het gebied direct rondom de winning Espelose Broek.



Figuur 6-1 Gebieden zonder wateraanvoer; links WDOD, rechts (gedeeltelijk) WS Vechtstromen

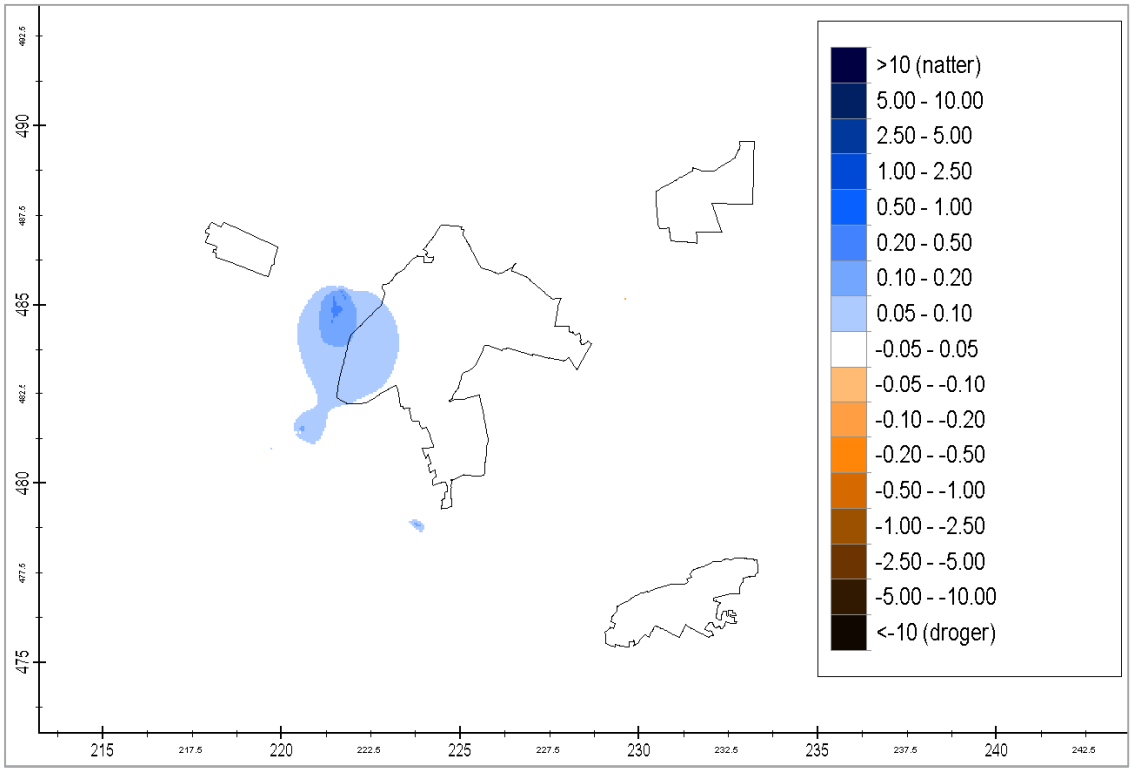


Figuur 6-2 Bosgebieden Westflank (groen en blauw)

6.2 Effecten scenario's rekenronde 1

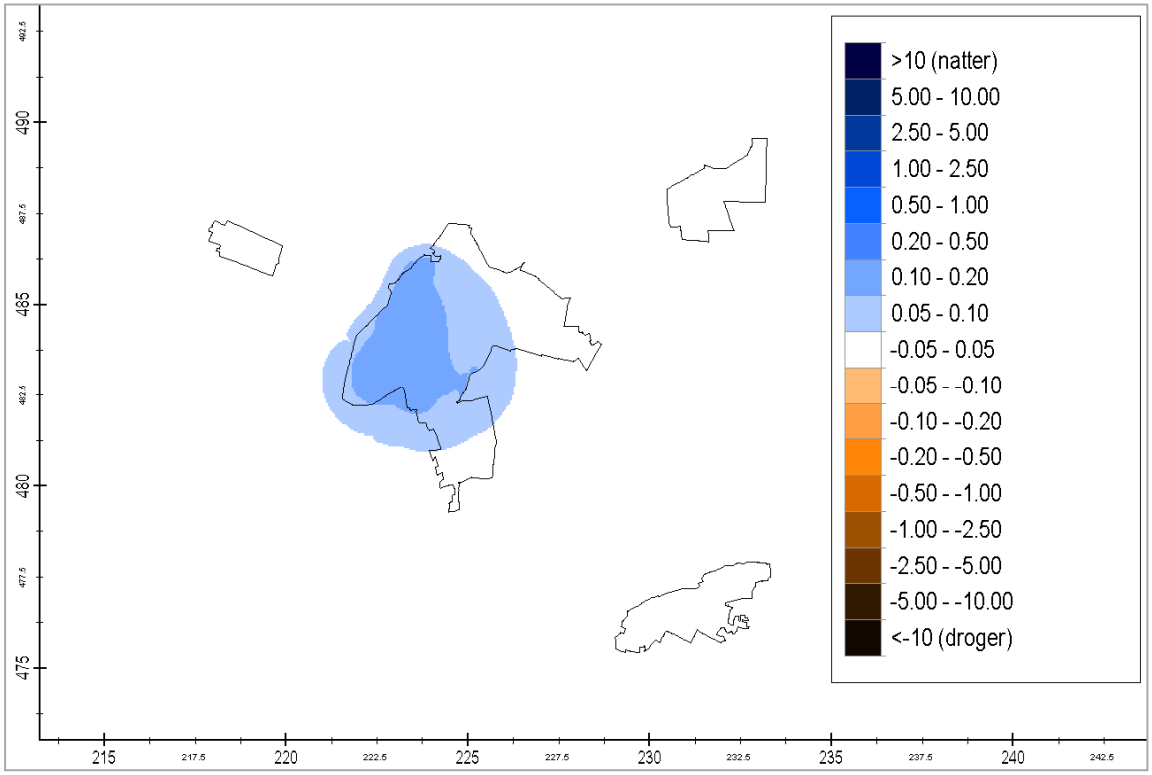
De relatieve effecten van de verkennende scenario's op de freatische grondwaterstanden en diepe stijghoogten zijn weergegeven in bijlage 6. Een aantal scenario's zijn hieronder toegelicht.

Wanneer alleen de sloten op Westrand worden verondiept (in het gebied waar geen wateraanvoer is), heeft dit nauwelijks invloed op de grondwaterstanden op de Westflank: deze nemen slechts met 5-10 cm toe, zie Figuur 6-3. Het verondiepen van alle sloten op de oostflank van de Sallandse Heuvelrug (beekdal van de Maatgraven) heeft een aanzienlijk groter effect, maar dit effect reikt niet tot aan de Westflank (minder dan 5 cm effect).



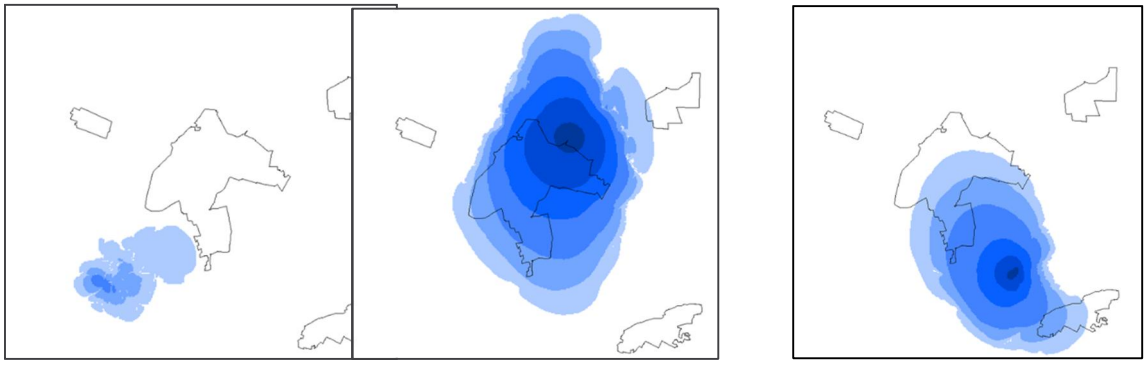
Figuur 6-3 Scenario 1 ten opzichte van REF-KD (WVP1)- verhogen drainagebasis Westrand naar 0,5 m-mv (m)

Het omvormen van (het hele) bos op de Sallandse Heuvelrug naar heide is volgens de huidige berekeningen wel effectief. Deze maatregel is op zichzelf goed voor ruim 10 cm vernatting op de flank, zie Figuur 6-4. Daarbij moet wel worden vermeld dat dit effect berekend is met een stationair model, waarbij is aangenomen dat de grondwateraanvulling door het omvormen met circa 100 mm/jaar toeneemt. Uitgaande van beschikbare literatuur is dit een conservatieve aanname.



Figuur 6-4 Scenario 7 ten opzichte van REF-KD (WVP1)- effect omvormen 411 ha bos naar heide (m)

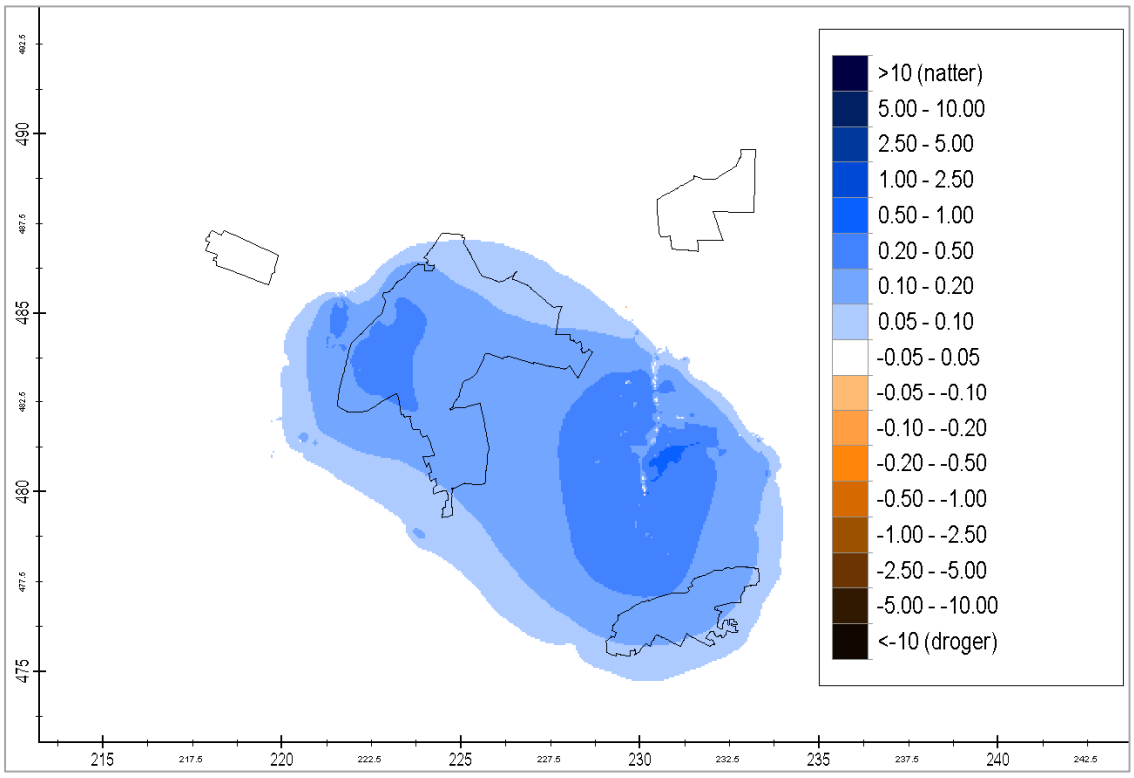
De relatieve effecten van het uitzetten van elk van de drie drinkwaterwinningen zijn weergegeven in Figuur 6-5 Espelose Broek (4,3 Mm3/jaar), Nijverdal (5,7 Mm3/jaar) en Holten (2,4 Mm3/jaar).



Figuur 6-5 Effecten uitzetting drinkwaterwinningen op freatisch grondwater (m). Links: Espelose broek, midden: Nijverdal, rechts: Holten. Legenda gelijk aan figuur 6-4

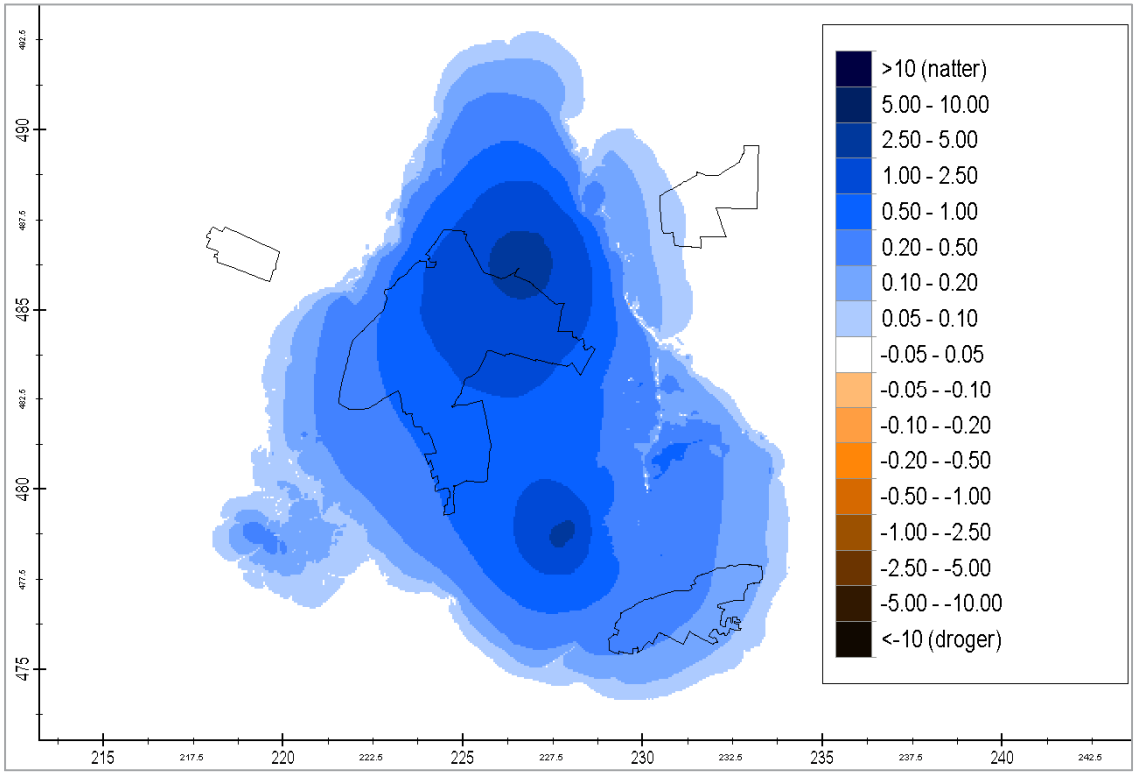
Alleen het stopzetten van de winning in Nijverdal heeft een effect van meer dan 5 cm (tot maximaal 20 cm) op de grondwaterstanden ter plaatse van de Westflank. Dit is op zich niet verwonderlijk, aangezien dit de grootste onttrekking betreft en zich bovendien op de stuwwal bevindt in een groot, goed doorlatend watervoerend pakket zonder tussenliggende ontwateringsmiddelen. Effecten kunnen op deze manier relatief ver reiken. Het geringe effect van de winning Espelose Broek op het freatisch grondwater is een direct gevolg van de afdekkende kleilaag die hier lokaal voorkomt. Effecten werken daarom maar beperkt naar boven toe door.

Het combineren van het verhogen van de drainagebasis aan beide zijden van de Heuvelrug en het omvormen van de bosgebieden zorgt voor een vernatting van 15 à 20 cm op de Westflank, zie Figuur 6-6.



Figuur 6-6 Scenario 8 ten opzichte van REF-KD (WVP1)-effect alle maatregelen met betrekking tot niet-winningen (m)

De maximale verhoging ter plaatse van de Westflank wordt bereikt bij een combinatie van alle maatregelen en bedraagt dan 30 à 35 cm, zie Figuur 6-7. Het aanpassen van het doorlaatvermogen van WVP7 en WVP8 (factor 0,6) is daarbij nauwelijks van invloed op de effecten op de Westflank (<2 cm).



Figuur 6-7 Scenario 10 ten opzichte van REF-KD (WVP1)-effect alle maatregelen samen (m)

7 Verkennende scenario's: rekenronde 2

7.1 Uitgangspunten scenario's

Op basis van de resultaten van de verkennende scenario's zijn nog twee aanvullende scenario's opgesteld. Twee vragen lagen ten grondslag aan deze extra scenario's:

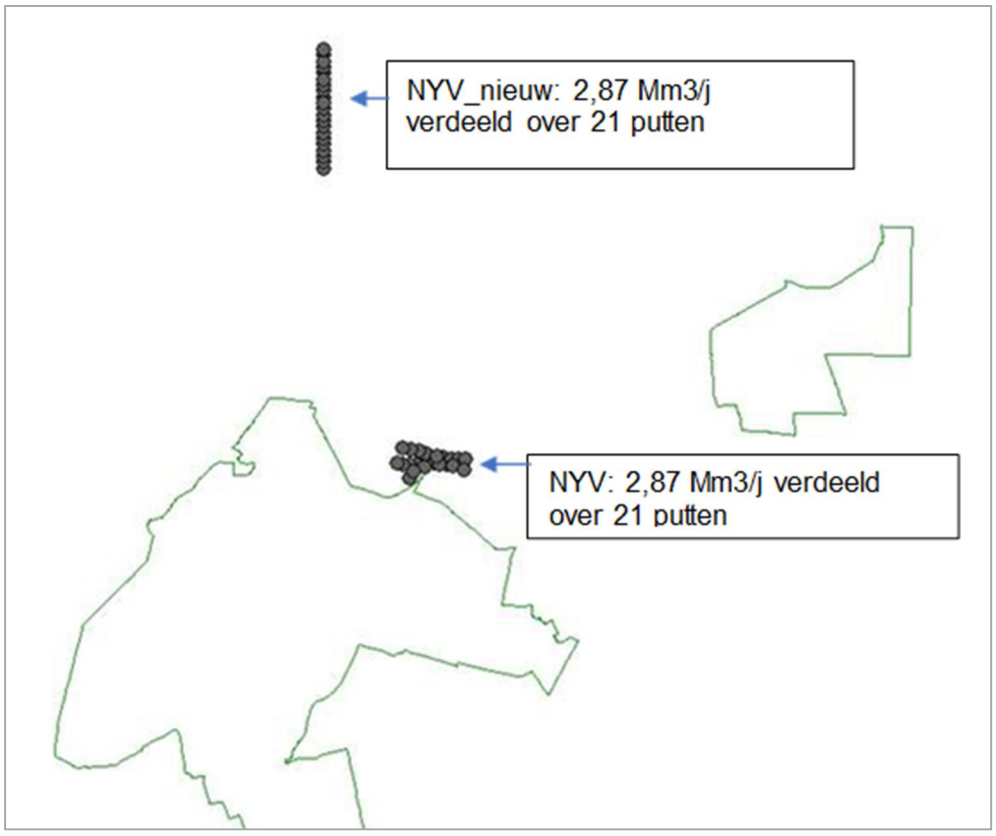
- Heeft het nog verder verondiepen van de sloten op de Westrand nog zin? Ofwel: is er in de langjarig gemiddelde situatie bij verondieping tot 0,5 m-mv lokaal nog steeds sprake van een afvoer/drainerende werking? (het antwoord was 'ja').
- Kunnen we op basis van rekenronde 1 een maatregelenpakket formuleren met de 'meest doelmatige' maatregelen? Maatregelen die niet of nauwelijks effect blijken te hebben op de Westflank, worden weglaten.

De twee resulterende scenario's zijn weergegeven in Tabel 7-1. De effecten van deze scenario's zijn berekend ten opzichte van het referentiemodel waarin ook het doorlaat-vermogen van WVP7 en WVP8 is aangepast.

Tabel 7-1 Scenario's rekenronde 2

Scenario	Maatregel	Grootte
11	Dempen watergangen Westrand gebied 'geen wateraanvoer' (Groot Salland) + omvormen bos naar heide + uitzetten winning Nijverdal	Afvoerdrempel verhogen naar mv, +100 mm/jaar extra voor 411,3 ha bos omvormen, Nijverdal 0 mM3/j
12	Dempen watergangen Westrand gebied 'geen wateraanvoer' (Groot Salland) + omvormen bos naar heide + verplaatsen helft winning Nijverdal naar noorden	Afvoerdrempel verhogen naar mv, +100 mm/jaar extra voor 411,3 ha bos omvormen, Nijverdal circa 2,9 mM3/j verplaatst

Het noordelijk verplaatsen van de helft van winning Nijverdal is modelmatig uitgevoerd door een langgerekt puttenveld (ook 21 putten) in te voeren in het gebied X: 225207, Y: 490360-491966 (binnen noordelijke uitloper stuwwal rond verpleeghuis Krönnenzommer Hellendoorn, zie Figuur 7-1).

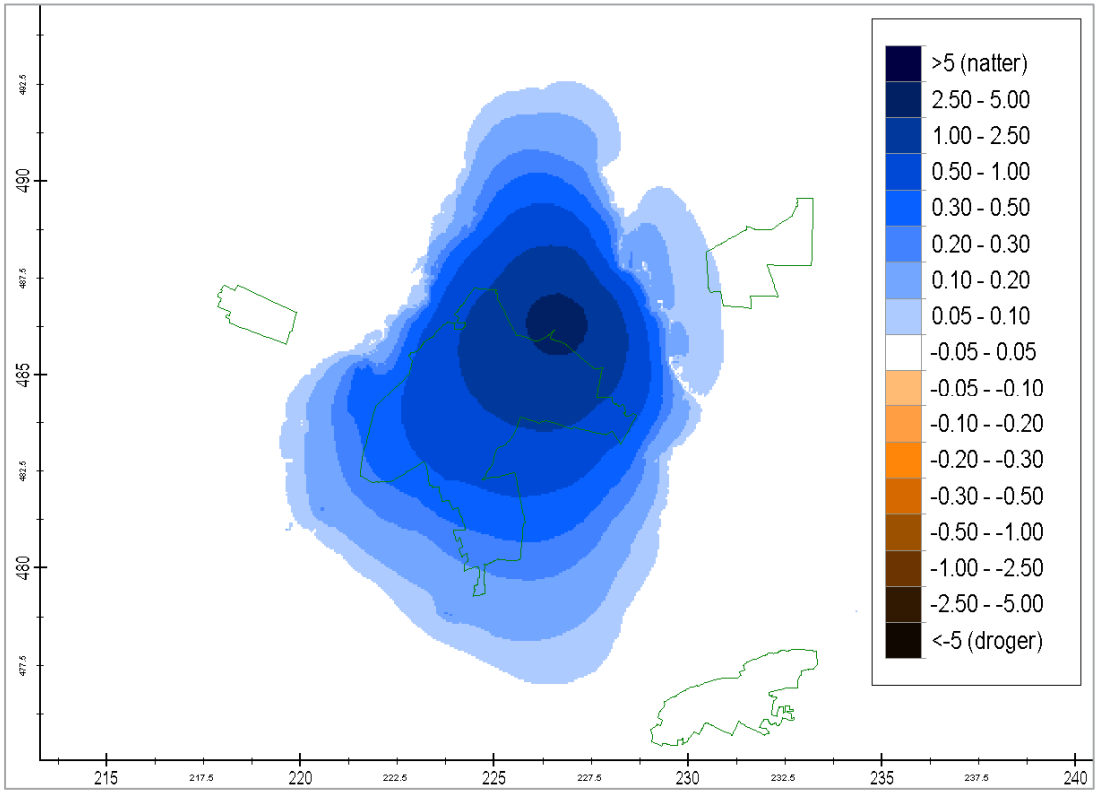


Figuur 7-1 Verdeling winning Nijverdal in scenario 12

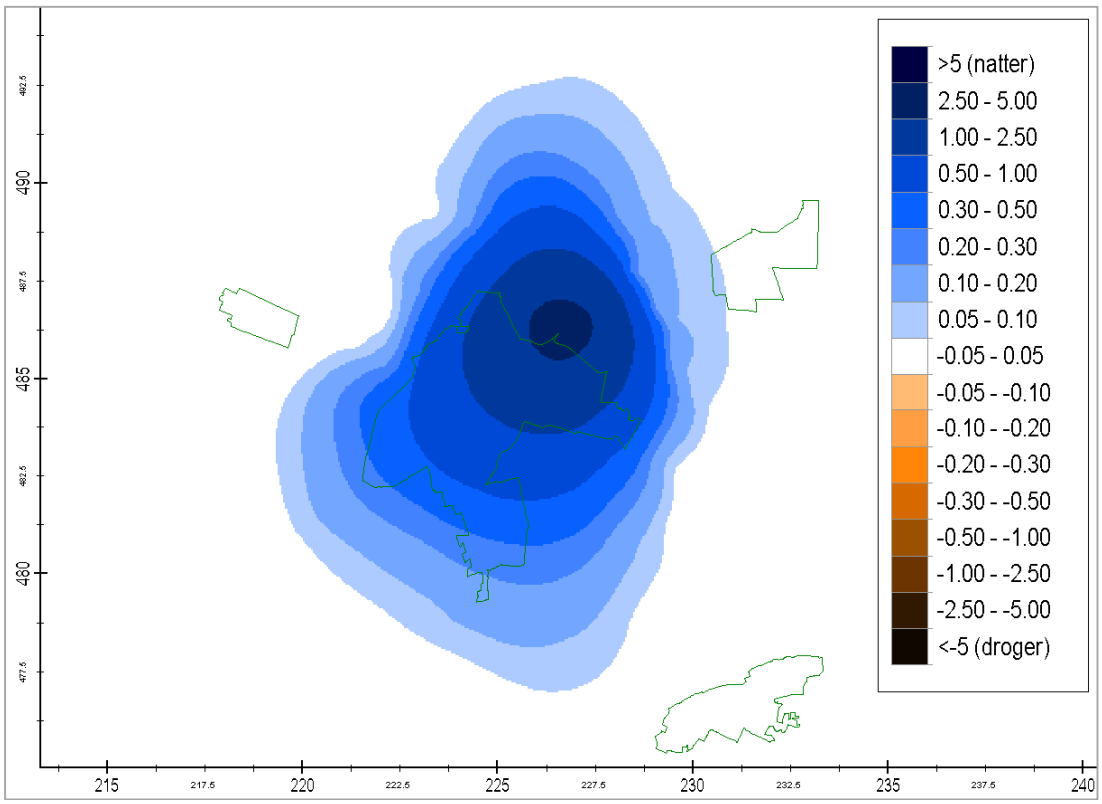
7.2 Effecten scenario's rekenronde 2

7.2.1 Scenario 11

De combinatie tussen het stopzetten van winning Nijverdal, het omvormen van bos naar heide binnen de bospercelen en het dempen van alle watergangen in de niet-wateraanvoer-gebieden aan de Westrand, zorgt voor een grondwaterstandsstijging van 25 à 30 cm ter hoogte van de Westflank. Dit geldt door het ontbreken van scheidende lagen zowel voor het ondiepe als diepe watervoerende pakket.

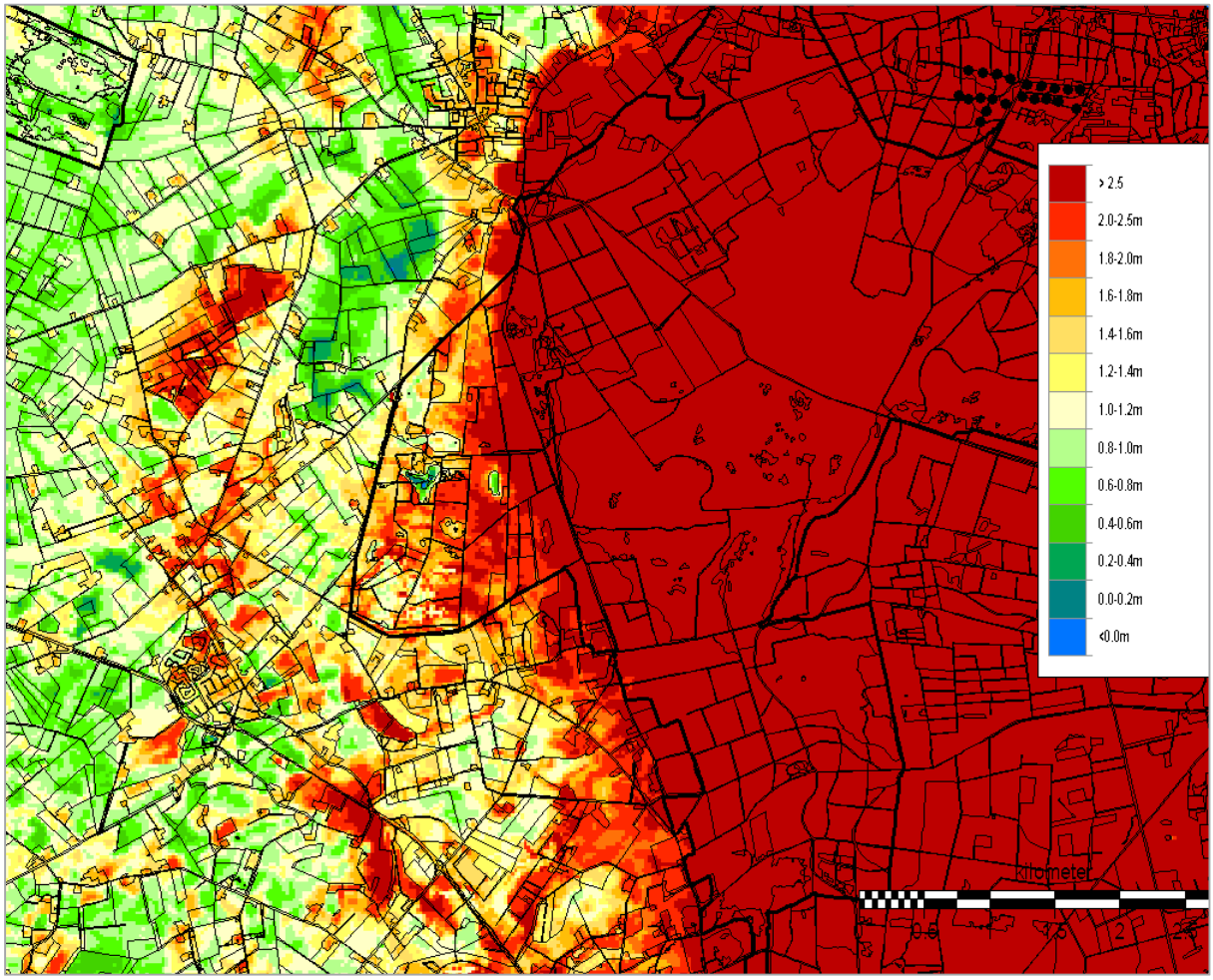


Figuur 7-2 Effect scenario 11 ten opzichte van REF_KD (WVP 1) op freatisch grondwater (m)



Figuur 7-3 Effect scenario 11 ten opzichte van REF_KD (WVP8) diepe watervoerende pakket (m)

De berekende grondwaterstand ten opzichte van maaiveld ter plaatse van de Westrand in scenario 11 is weergegeven in Figuur 7-4.

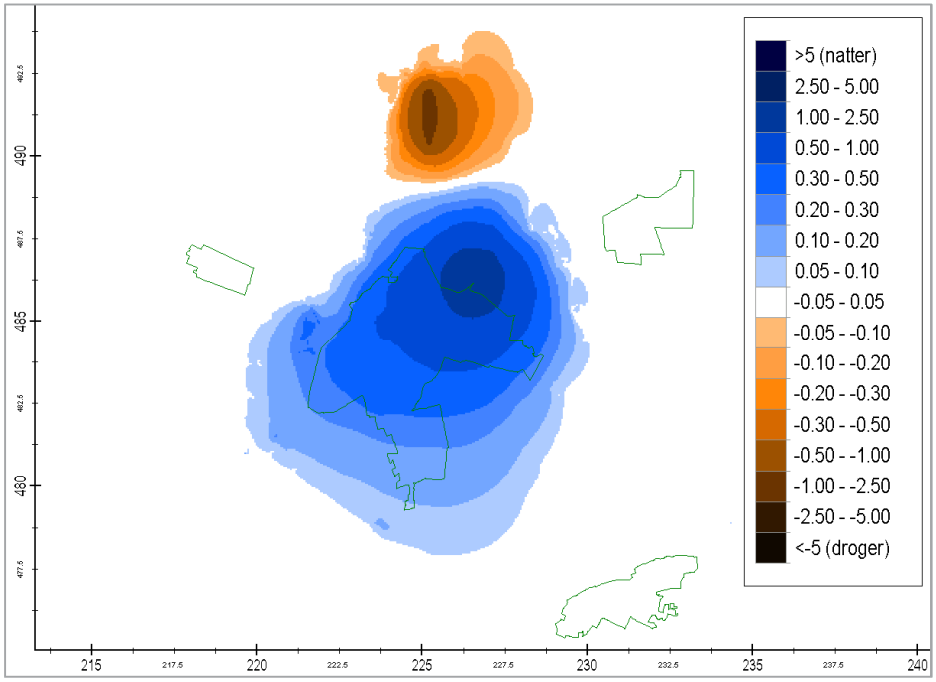


Figuur 7-4 Berekende grondwaterstand in meters ten opzichte van maaiveld scenario 11 (langjarig gemiddelde situatie)

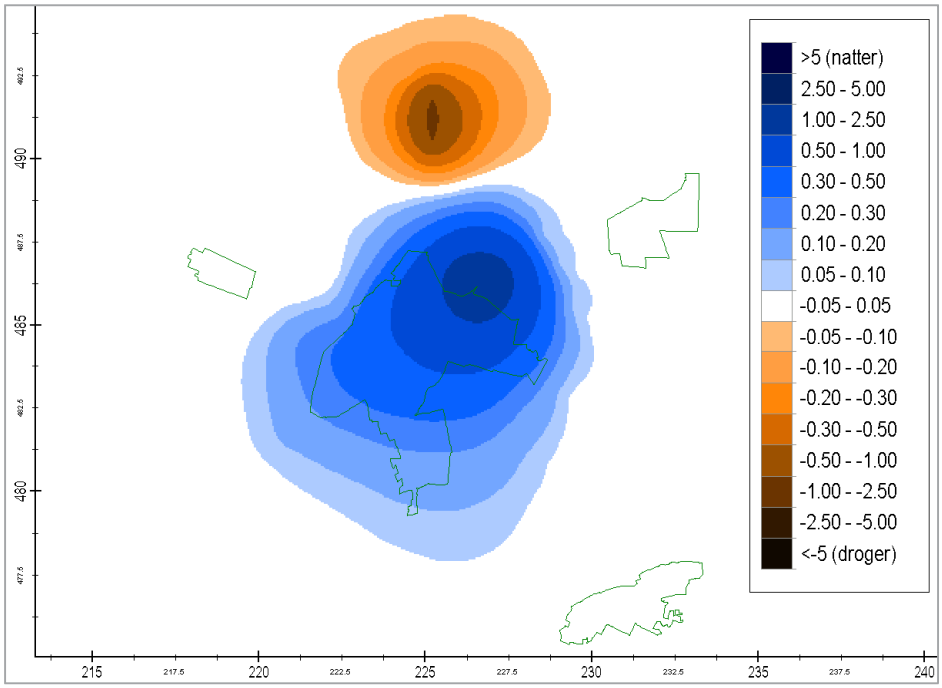
7.2.2 Scenario 12

Wanneer winning Nijverdal niet gestopt wordt maar de helft van de winning circa 5 km in noordwestelijke richting verplaatst wordt, neemt in combinatie met de overige maatregelen de verhoging af tot circa 20 à 25 cm ter plaatse van de Westflank.

Ter hoogte van de ‘nieuwe‘ locatie van winning Nijverdal is sprake van een maximale verlaging van 1,5 m met een maximaal invloedgebied (5 cm-verlagingscontour) van circa 3,5 km. Door de dempende werking van het oppervlaktewatersysteem is dit effectgebied in het ondiepe watervoerende pakket veel kleiner.

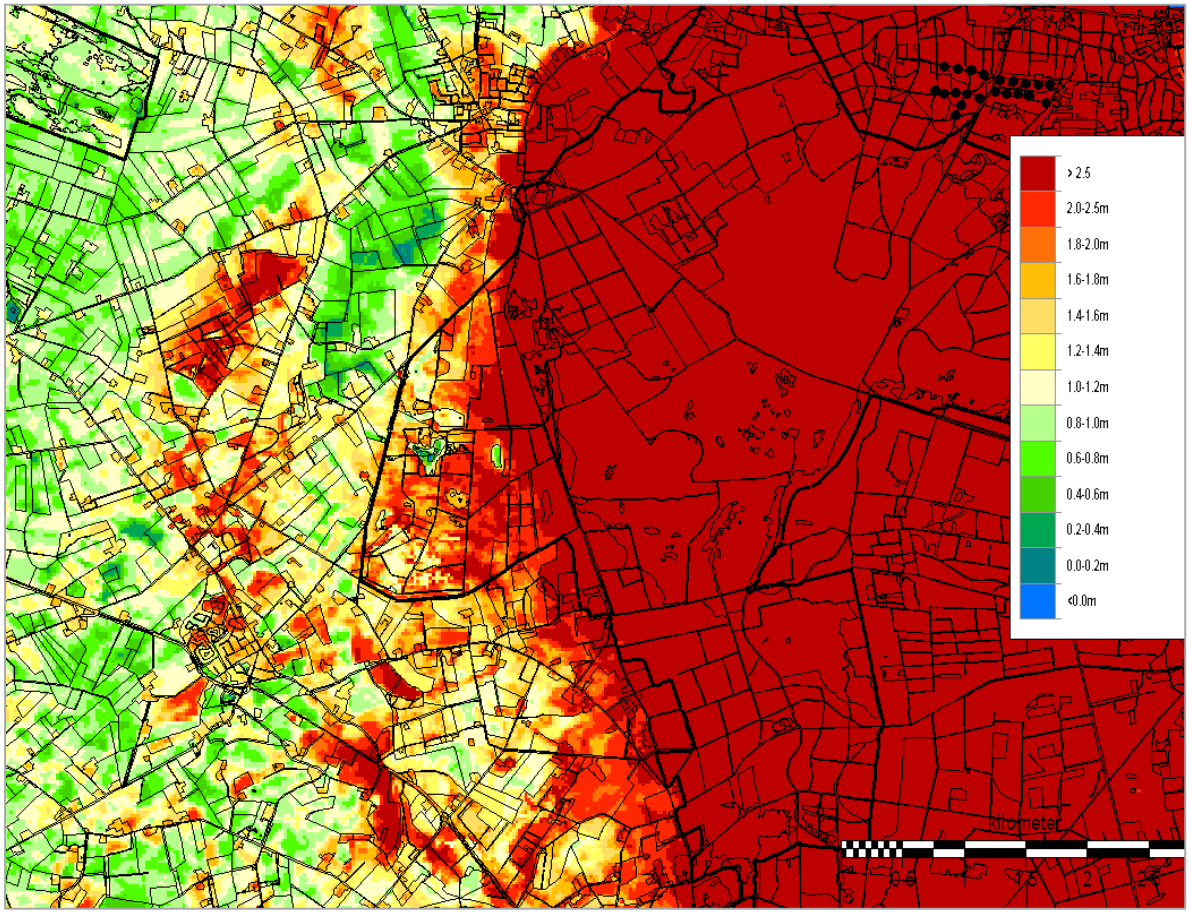


Figuur 7-5 Effect scenario 12 ten opzichte van REF_KD (WVP1) freatisch grondwater (m)



Figuur 7-6 Effect scenario 12 ten opzichte van REF_KD (WVP8) diep watervoerend pakket (m)

De berekende grondwaterstand ten opzichte van maaiveld ter plaatse van de Westrand in scenario 12 is weergegeven in Figuur 7-7.



Figuur 7-7 Berekende grondwaterstand in meters ten opzichte van maaiveld scenario 12 (langjarig gemiddelde situatie)

8 Vertaling effecten niet-stationaire situatie

8.1 Inleiding

In bovenstaande hoofdstuk zijn de effecten berekend voor een langjarig gemiddelde situatie met een model dat gekalibreerd is voor de periode 2007-2018. Hieruit wordt geconcludeerd dat met een combinatie van maatregelen een verhoging van de langjarig gemiddelde stijghoogte tot circa 30 cm technisch gezien haalbaar is.

De PAS-gebiedsanalyse voor het Natura 2000-gebied de Sallandse Heuvelrug geeft aan dat in het deelgebied Sprengenberg (Westflank) op termijn herstel van 15 – 30 ha vochtige heide nodig is om de landschappelijke gradiënt van droge heide naar vochtige heide te herstellen (zie ook pas.natura2000.nl/terinzagelegging).

Hullenaar (2015) heeft middels veldwerk een inschatting gemaakt welke arealen de juiste hydrologische randvoorwaarden krijgen bij een verhoging van de stijghoogte van respectievelijk 20, 40 en 60 cm. Hieruit blijkt dat:

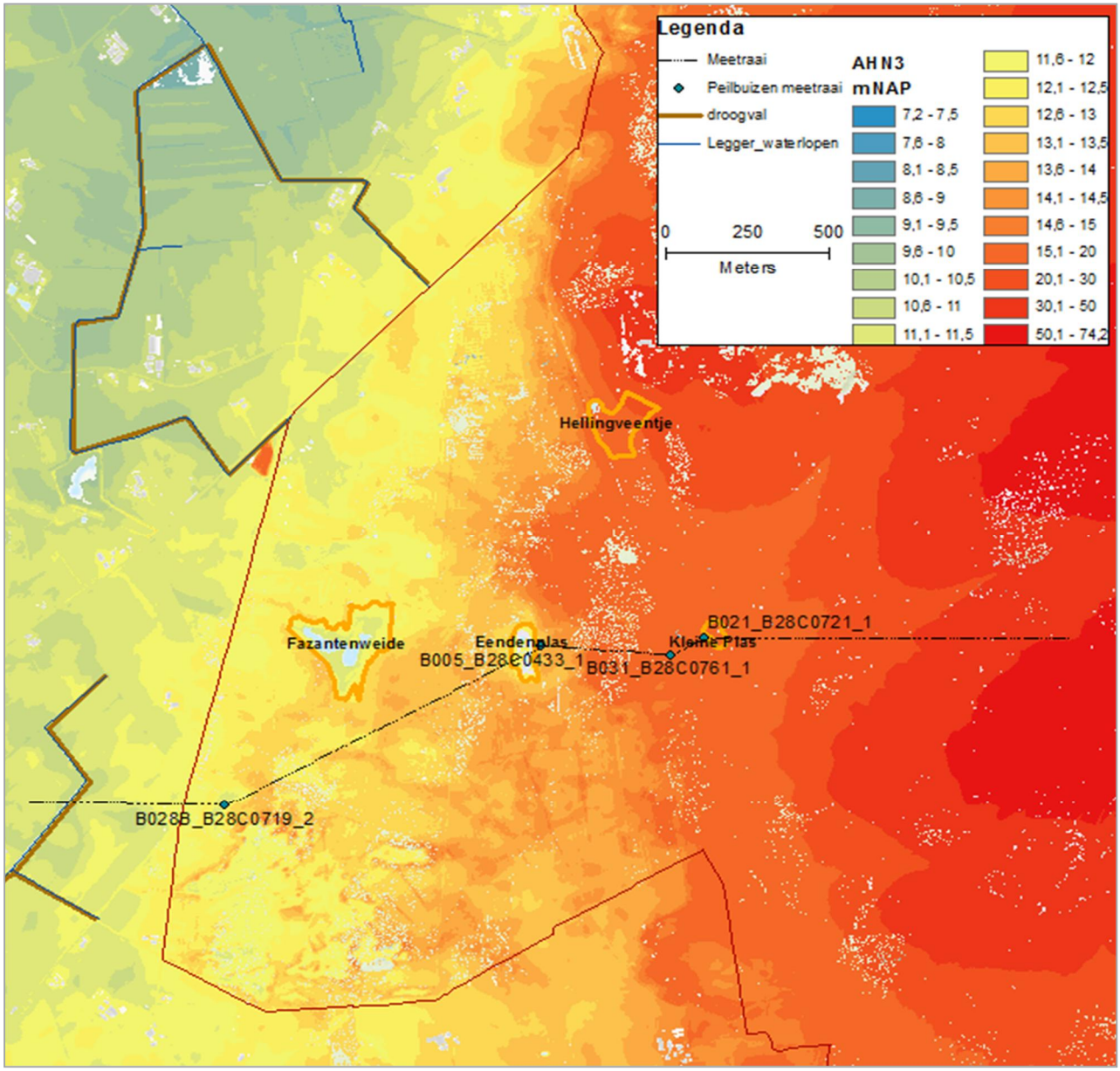
- Als de GVG 20 cm dichter aan maaiveld wordt gebracht, dan neemt de oppervlakte die vanuit hydrologisch oogpunt geschikt is voor herstel / uitbreiding van vochtige heide toe tot 16,6 ha. Dit is een toename van 10,0 ha ten opzichte van de uitgangssituatie. Deze toename vindt vooral plaats in het noordwestelijke voormalige landbouwgebied (toename van 5,7 ha). Daarnaast is er ook een toename in de laagste delen van de zuidwestelijke uitblazingslaagten (toename van 2,1 ha) in de Fazantenweide (toename met 1,2 ha) en in de laagste delen van de overige laagten in het middendeel (toename 0,9 ha).
- Als de GVG 40 cm dichter aan maaiveld wordt gebracht, dan neemt de oppervlakte die vanuit hydrologisch oogpunt geschikt is voor herstel / uitbreiding van vochtige heide toe tot 30,5 ha. Dit is dus een toename van 23,9 ha ten opzichte van de uitgangssituatie. Pas bij een vernatting met 40 cm worden in de zuidwestelijke uitblazingslaagten op aanzienlijke schaal de juiste hydrologische condities gerealiseerd. Ook is er bij een vernatting van 40 cm grote extra winst in het voormalige noordwestelijke landbouw-gebied.
- Bij een vernatting met circa 60 cm neemt de oppervlakte die, vanuit hydrologisch oogpunt, geschikt is voor vochtige heide in zijn totaliteit toe tot 46,8 ha. Bovendien komt in een klein areaal (3,6 ha) de GVG zelfs iets boven maaiveld te liggen, waardoor op deze plekken in het vochtige heidegebied zelfs venachtige vegetaties tot ontwikkeling kunnen komen. Indien deze oppervlakte in het totaal wordt meegeteld, dan neemt bij een vernatting van 60 cm de oppervlakte die geschikt is voor ‘vochtige heide’ toe tot 50,6 ha en bedraagt de extra winst ten opzichte van een vernatting met 40 cm 20,1 ha.

Om de berekende stationaire effecten te vertalen naar een niet-stationaire situatie, zijn twee stappen doorlopen:

1. Het uitzetten van de huidige GxG’s in een raai op de Westrand. Hierin zijn ook de berekende stijghoogten van de huidige situatie, scenario 11 en scenario 12 weergegeven.
2. Een kwalitatieve beschouwing van de te verwachten niet-stationaire effecten op basis van het uitgevoerde modelonderzoek en de systeemanalyse.

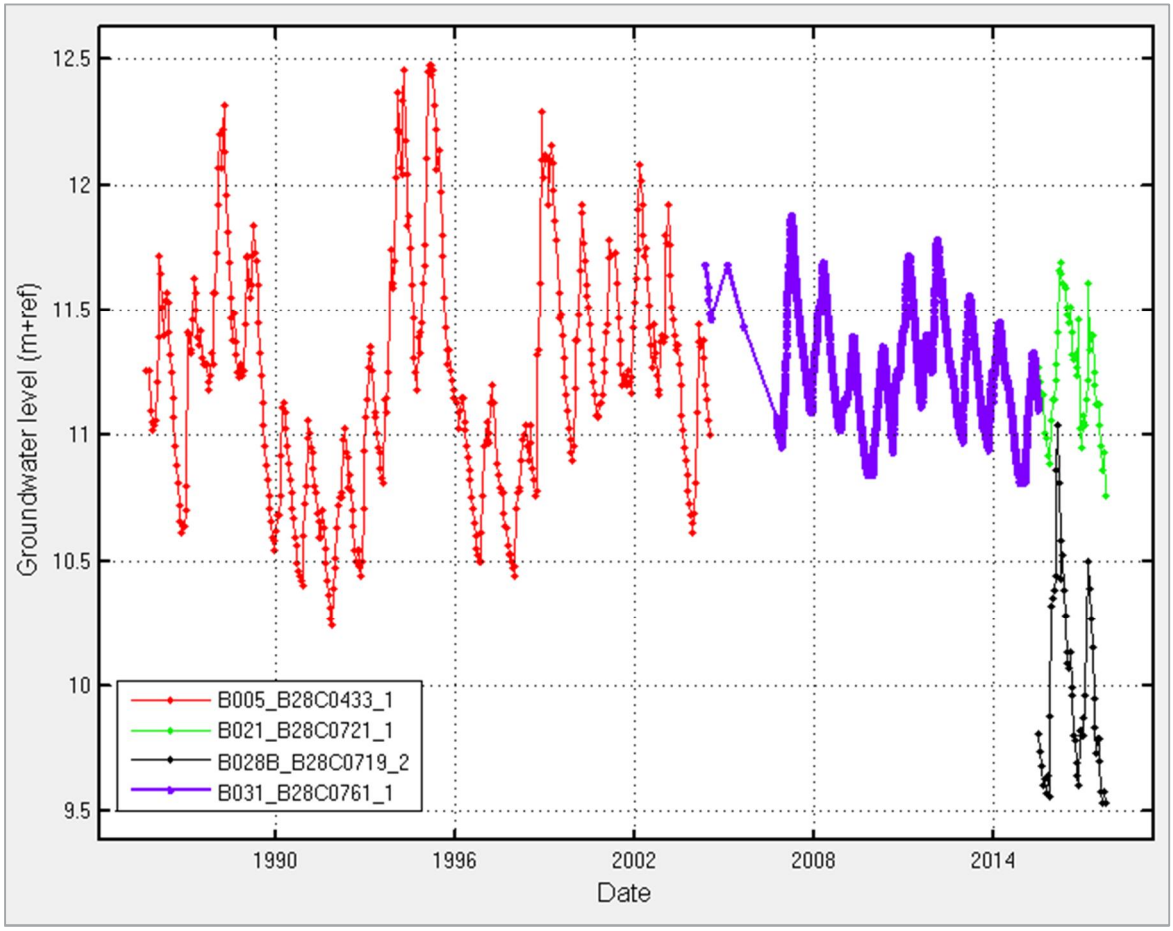
8.2 Uitwerking meetraai

De geselecteerde meetraai loopt van oost tot west vanaf de Oasekop door de Kleine Plas, Eendenplas en buigt dan af naar het zuidwesten door de lokale laagte (gebied met potentie volgens Hullenaar) en dan door tot voorbij de 1ste droogvallende watergang langs de flank, zie Figuur 8-1.



Figuur 8-1 Situering dwarsprofiel

De meetraai kruist hierbij vier peilbuizen waarvan de meetreeksen zijn weergegeven in Figuur 8-2. Deze meetreeksen betreffen niet dezelfde periode. De meetreeksen zijn bovendien niet allemaal lang genoeg om GxG's mee te bepalen (minimale meetreeks van acht jaar nodig). De hieronder bepaalde GxG's van de peilbuizen zijn bepaald op basis van de beschikbare meetreeksen. Peilbuis B005 heeft daarnaast een duidelijk diepere filterstelling en betreft een onttrekkingsput waarmee de Eendenplas op peil wordt gehouden. Deze is daarom niet representatief voor de freatische grondwaterstand.

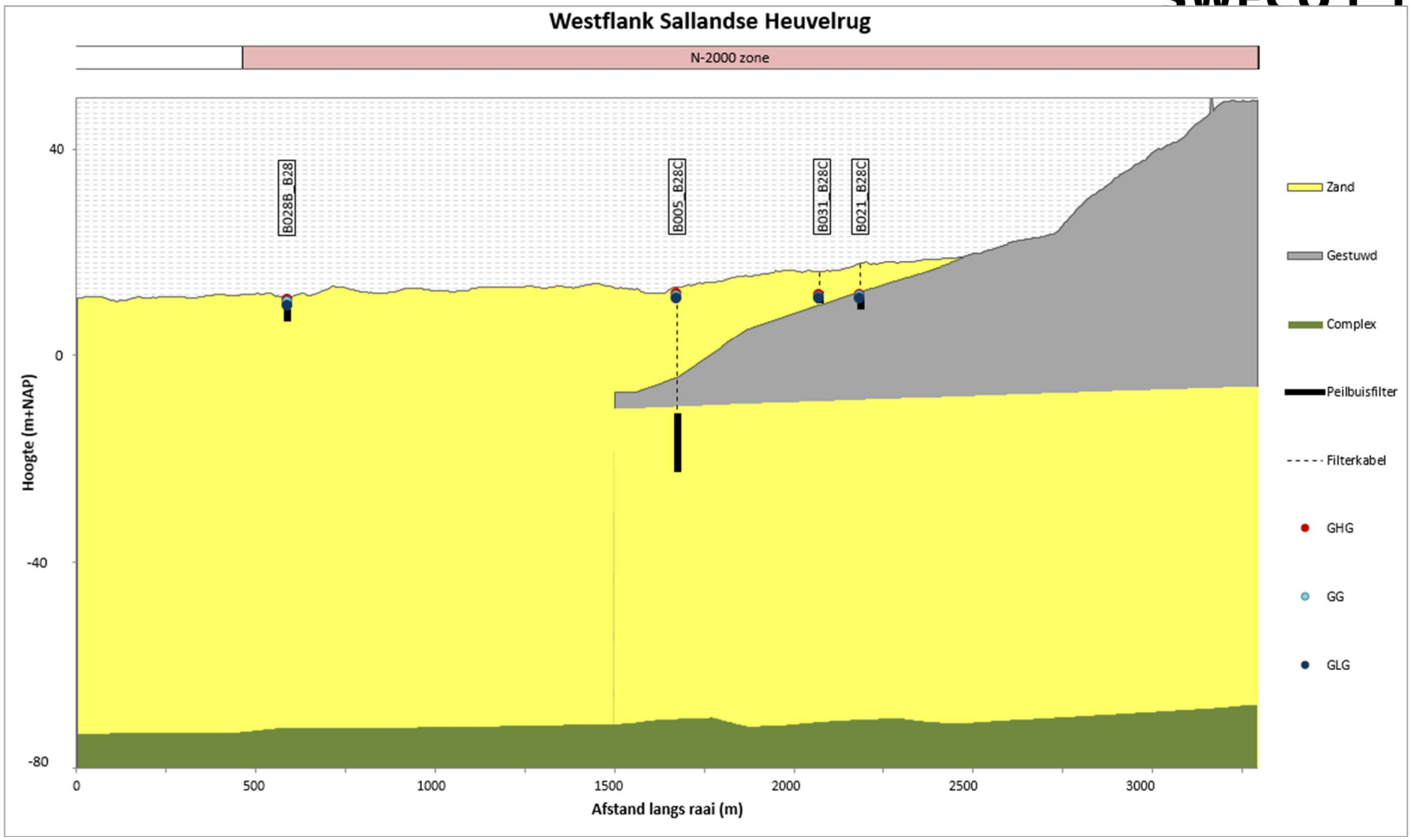


Figuur 8-2 Meetreeksen peilbuizen dwarsprofiel

Het geselecteerde dwarsprofiel is weergegeven in Figuur 8-3 (tot NAP -80 m) en Figuur 8-4 (tot NAP +7 m). In de eerste grafiek is een overzicht gegeven van de raai en de situering van de peilbuizen. In de laatste figuur is ingezoomd op het gebied onderaan de flank en zijn ook de berekende grondwaterstanden bij de verschillende scenario's weergegeven (de schaal is hier opgeblazen in de verticale richting).

De modelberekeningen laten een duidelijk geleidelijk verhang zien in westelijke richting. De knikken in de berekende grondwaterstanden komt door de overgang tussen gestuwde en niet-gestuwde afzettingen in het model (zie ook Figuur 9-12). De gemeten stijghoogten geven een iets grilliger beeld dat lokaal ook beïnvloed wordt door verschillen in filterdiepten. De gemiddelde grondwaterstanden in de drie freatische peilbuizen lopen wel precies door de lijn met de met het model berekende stijghoogte. De huidige GHG in de peilbuizen is circa 0,3 tot 0,6 m hoger dan de gemiddelde stijghoogte. Verwacht mag worden dat de grondwaterstand in de GVG-situatie iets lager is dan de GHG.

Uitgaande van het maximale scenario 11 waarbij de winning van Nijverdal volledig wordt gestopt, stijgt de grondwaterstand in de gemiddelde situatie met circa 30 cm in het gebied tussen de N2000 grens en de Eendenplas. De toekomstige gemiddelde grondwaterstand op de flank varieert dan van één meter -mv ter plaatse van lokale laagten tot ruim dan 2 m -mv op de hogere koppen.



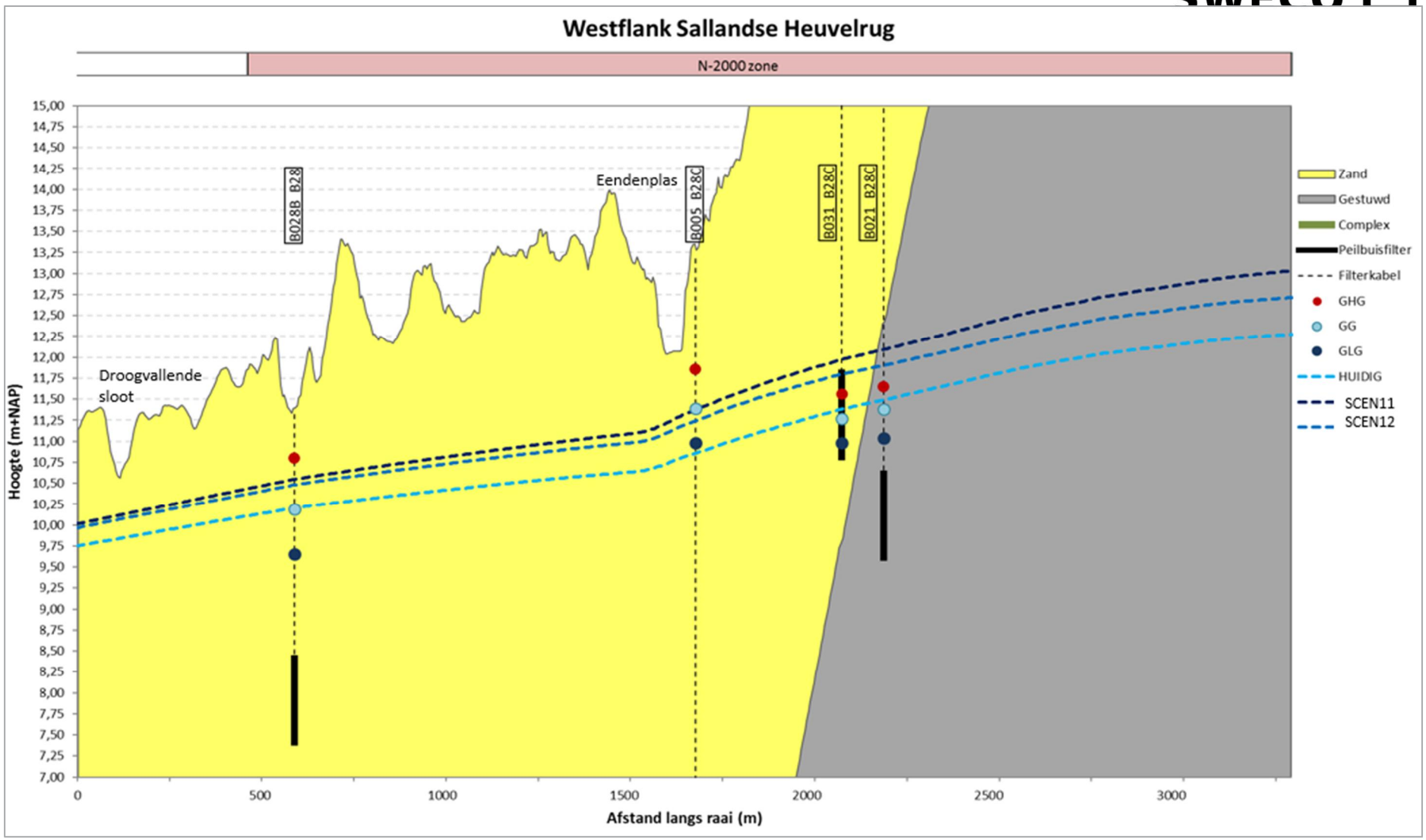
Figuur 8-3 Dwarsprofiel Westflank tot NAP -80 m

Sweco
Robijnstraat 11
1812 RB Alkmaar
Postbus 214
1800 AE Alkmaar
Nederland

T +31 88 811 66 00
www.sweco.nl

Sweco Nederland B.V.
Alkmaar
Handelsregister 30129769
Statutair gevestigd te De Bilt

Robin Opdam
Adviseur Geohydrologie
T +31 88 811 43 68
M +31 6 51 40 08 07



Figuur 8-4 Dwarsprofiel Westflank tot NAP +7 m in combinatie met berekende grondwaterstanden

Wanneer deze stijging van 30 cm ook optreedt in de GHG-situatie, komt deze wel dicht aan maaiveld ter plaatse van de lokale laagten, zoals de laagte waarin de meest westelijke peilbuis B028B staat. Dit gaat niet op voor peilbuis B005 die, vanwege de diepere filterstelling en mogelijk de nabije ligging tot de (infiltrerende) Eendenplas, een ander patroon vertoont. Uitgaande van de hoogtekaart (Figuur 8-1) liggen de kansrijke laagten vooral westelijk en zuidelijk van peilbuis B028B en in de directe omgeving van de Eendenplas. Het diep uitzakken van de GLG is voor de ontwikkeling van vochtige heide geen probleem.

8.3 Niet stationaire effecten

De vraag is of de effecten die voor de langjarig gemiddelde situatie opgaan, ook vertaald kunnen worden naar een GVG- of GHG-situatie. Effecten die optreden, zijn mogelijk niet het hele jaar door gelijk. Daarnaast zijn de GxG's in een aantal peilbuizen bepaald over een te korte periode (een tijdreeksanalyse kan gebruikt worden om de reeksen te verlengen, maar is in deze studie niet toegepast). De vraag is of deze gelijk blijven, wanneer we een langere periode in beschouwing nemen.

8.3.1 Seizoensafhankelijke effecten

Verschillende maatregelen hebben in verschillende perioden van het jaar hun maximale effecten.

Omvormen van bos naar heide

Verdamping van gewassen is in het zomerhalfjaar vele malen groter dan in het winterhalfjaar. Verwacht mag worden dat verschillen in verdamping door het omvormen van bos naar heide dan ook het grootst zijn in de zomer. In de winter neemt de aanvulling van het grondwater door verminderende interceptie toe, dus speelt ook de interceptie van neerslag op het bladerdek een belangrijke rol in de totale verdamping. Voor naaldbos geldt bijvoorbeeld dat de interceptie-verdamping tot 50% van de totale neerslag kan bedragen. Om een 1ste indicatie te geven van de verschillen in verdamping door het jaar heen, zijn in bijlage 7 de gewasfactoren per maand weergegeven voor verschillende gewassen (bron: KWR 2013).

Effect waterlopen

De waterlopen op de Westrand betreffen droogvallende waterlopen. In de winter en het vroege voorjaar voeren deze grondwater af. In de zomer stopt deze afvoer. Effecten als gevolg van het dempen/verondiepen van deze sloten zijn dan ook het grootst in perioden waarin sprake is van afvoer.

Daar staat tegenover dat een drainerende sloot een sterk dempend effect heeft op het grond-water. Het effect van bijvoorbeeld het stopzetten van een drinkwaterwinning dempt het snelste uit wanneer in de omgeving veel drainerende sloten aanwezig zijn. In gebieden zonder sloten of in de situatie dat deze sloten niet afvoeren, wordt de invloedsafstand van een dergelijke ingreep snel groter.

Drinkwaterwinningen

De drinkwaterwinningen onttrekken niet het hele jaar door dezelfde hoeveelheden water. In de zomer kunnen de onttrekkingen als gevolg van het waterverbruik groter zijn dan in de winter, waardoor optredende verlagingen in de zomer ook groter kunnen zijn.

8.3.2 Langjarige effecten

Op de Sallandse Heuvelrug zijn duidelijke langjarige dynamieken te zien als gevolg van natte en droge meteorologische jaren. Midden op de stuwwal is dit effect het sterkst (Figuur 8-6). Onderaan de Westflank waar de uitbreiding van de vochtige heide beoogd is, is dit effect minder groot door de dempende werking van nabijgelegen ontwateringsmiddelen maar nog steeds aanwezig (Figuur 8-7). Seizoensdynamiek per jaar is op de Westflank wel zichtbaar en dus van belang.

Sweco
Robijnstraat 11
1812 RB Alkmaar
Postbus 214
1800 AE Alkmaar
Nederland

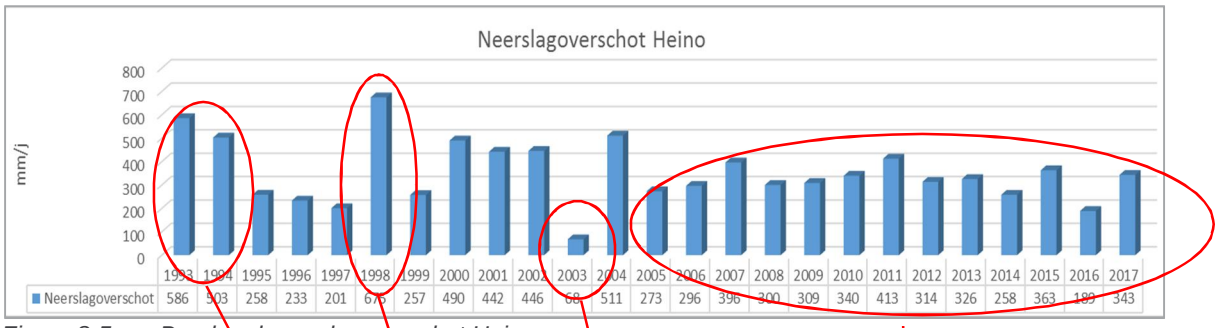
T +31 88 811 66 00
www.sweco.nl

Sweco Nederland B.V.
Alkmaar
Handelsregister 30129769
Statutair gevestigd te De Bilt

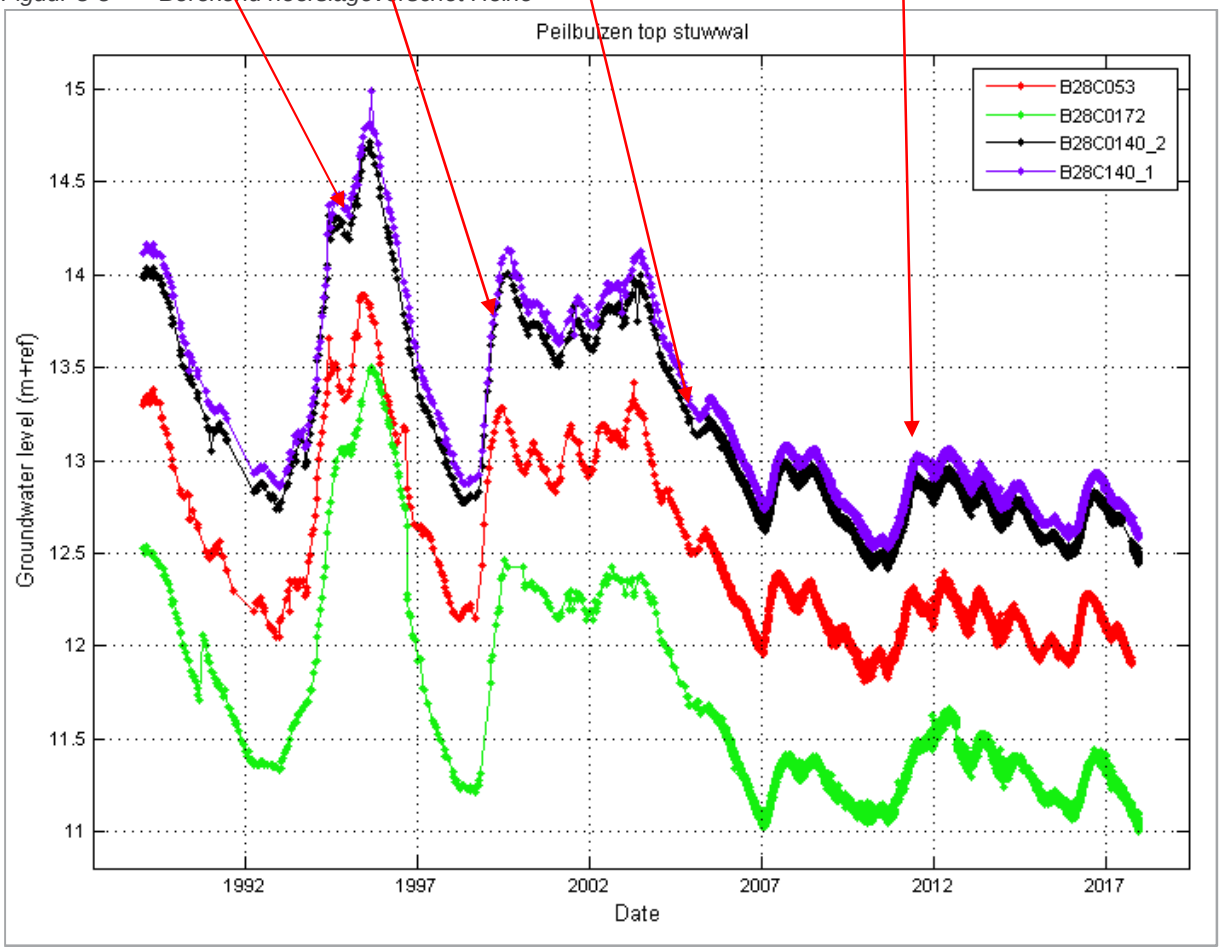
Robin Opdam
Adviseur Geohydrologie
T +31 88 811 43 68
M +31 6 51 40 08 07

De langjarige dynamiek is grotendeels te herleiden op berekende neerslagoverschotten (op basis van neerslag Heino en verdamping Heino: Figuur 8-5). Er is door de over het algemeen dikke onverzadigde zone wel sprake van vertraging tussen meteorologische natte/droge momenten en hogere/lagere grondwaterstanden. Hiervoor bestaat de volgende vuistregel: bij een dikke onverzadigde zone bedraagt de vertraging in de dynamiek van de grondwaterspiegel maximaal 10 dagen per meter. Op basis van een maximale dikte van de onverzadigde zone van 30 m (bij peilbuis B28C0172), gaat het om een maximale vertraging van circa 10 maanden. Hierbij geldt ook dat bij toenemende grondwaterdiepte de jaarlijkse fluctuatie steeds verder gedempt wordt door de bufferende werking van de onverzadigde zone, zodat de golfbeweging steeds meer gedomineerd gaat worden door extreem natte en droge perioden (De Vries, 1974).

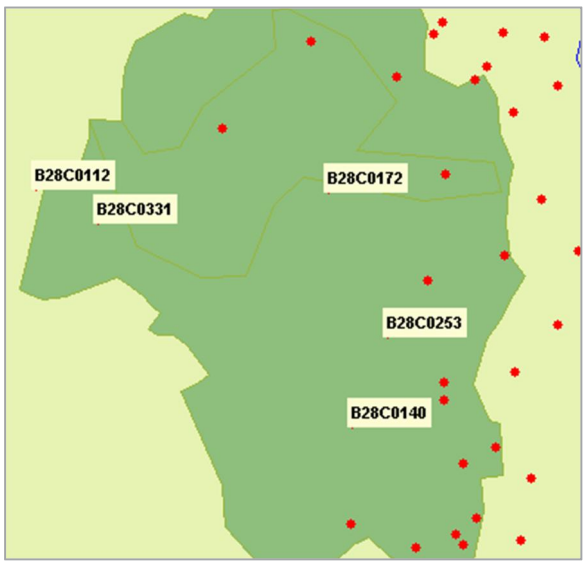
Rekening houdend met een vertraging van maximaal een jaar, zijn er een aantal overeenkomsten te vinden tussen het berekende neerslagoverschot en de langjarige grondwaterdynamiek. Zo hebben de jaren 1993-1994 een relatief groot neerslagoverschot en stijgt de grondwaterstand vanaf 1993. Vanaf 1996 dalen de grondwaterstanden, mogelijk overeenkomend met de lagere neerslagoverschotten in 1995-1997. De grondwaterstanden in 1998/1999 (1998 nat jaar) stijgen vervolgens weer. Ook zijn de berekende neerslagoverschotten in de jaren 90 veel grilliger dan na 2000 (met uitzondering van 2003). Vanaf 2003 dalen de grondwaterstanden duidelijk.

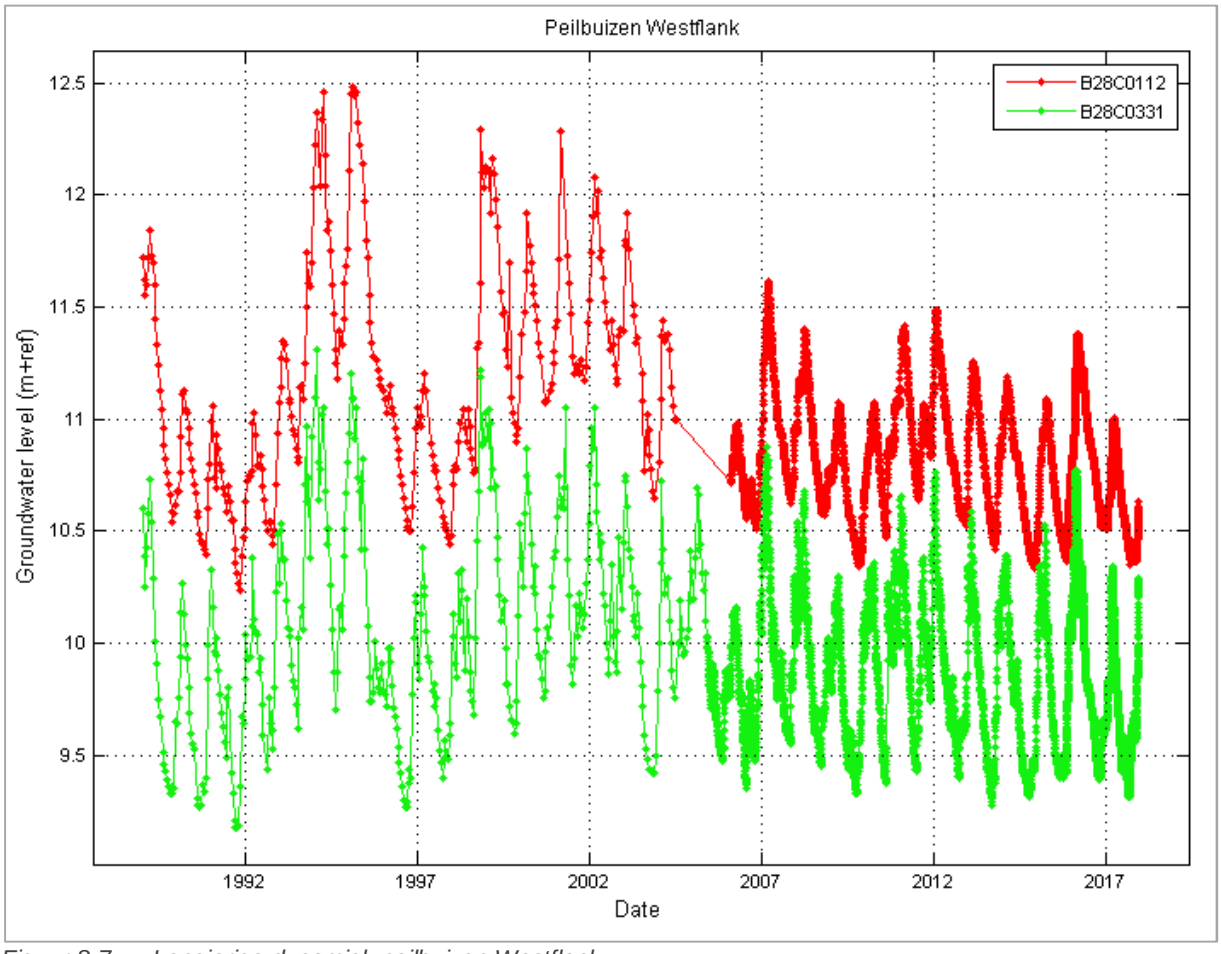


Figuur 8-5 Berekend neerslagoverschot Heino



Figuur 8-6 Langjarige dynamiek peilbuizen top stuwwal (filterdiepte circa 30 à 35 m -mv).





Figuur 8-7 Langjarige dynamiek peilbuizen Westflank

8.4 Vertaling stationaire effecten naar niet-stationaire situatie

Op basis van de seizoenafhankelijke effecten, is het de verwachting dat de effecten op de Westflank in de GHG-situatie dezelfde ordegrootte zullen hebben als in de gemiddelde situatie. Het omvormen van bos naar heide heeft zowel in het zomerhalfjaar als het winterhalfjaar effect (minder verdamping in zomerhalfjaar, minder interceptie in winterhalfjaar), het dempen van water-gangen vooral in winterhalfjaar (maar mogelijk ook in zomerhalfjaar door minder demping van vernattende maatregelen) en het stopzetten van drinkwaterwinningen zal mogelijk een groter effect hebben in het zomerhalfjaar. Tevens moet bedacht worden dat de grondwaterstanden, naarmate ze dichter aan maaiveld komen, sterker reageren op neerslag en verdamping doordat de bergingscapaciteit in de bodem afneemt.

9 Conclusies en aanbevelingen

9.1 Conclusies

De PAS-gebiedsanalyse geeft aan dat op de Westflank van het deelgebied Sprengenberg op termijn herstel van 15 – 30 ha vochtige heide nodig is om de landschappelijke gradiënt van droge heide naar vochtige heide te herstellen. Hiervoor is het noodzakelijk dat de regionale grondwaterstand wordt verhoogd. De GVG-situatie (gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand) is daarbij maatgevend.

Aan de hand van ecohydrologisch veldonderzoek (Bell Hullenaar, 2013) zijn de potenties bij verschillende verhogingen van GVG in kaart gebracht:

- Bij een verhoging van 20 cm neemt de oppervlakte die vanuit hydrologisch oogpunt geschikt is voor herstel / uitbreiding van vochtige heide toe tot 16,6 ha. Dit is een toename van 10,0 ha ten opzichte van de uitgangssituatie.
- Bij een verhoging van 40 cm dan neemt de oppervlakte met nog 13,9 ha toe (totale toename 23,9 ha).
- Bij een verhoging van 60 cm komt er nog 20,1 ha extra bij die vanuit hydrologisch oogpunt geschikt is voor vochtige heide, inclusief 3,6 ha waar zelfs venachtige vegetaties tot ontwikkeling kunnen komen (totale toename 40 ha).

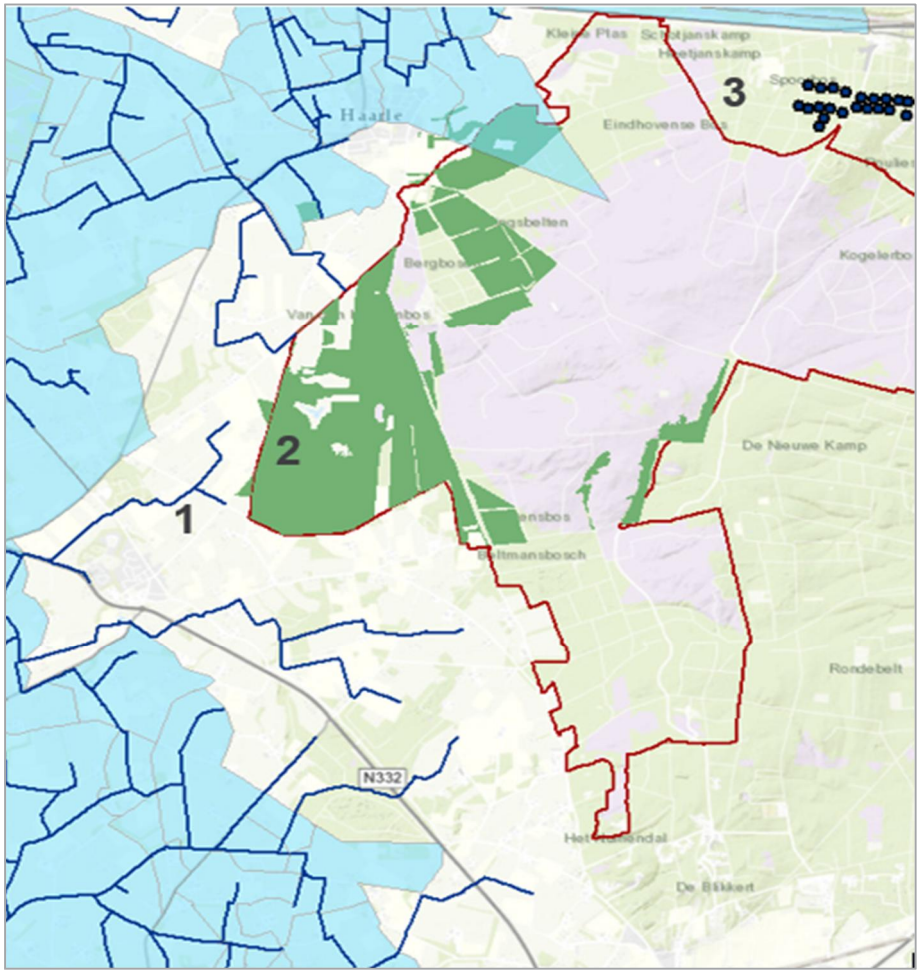
- De grondwaterstand kan ook dichter bij het maaiveld komen door in plaats van de grondwaterstand te verhogen, het maaiveld te verlagen. Zo kan binnen de lokale laagten van het bos (al vergraven of ontgonnen gronden) door het verwijderen van de bouwvoor (20 cm afgraving) 20 cm minder vernatting volstaan. Integrale verlaging van het maaiveld op de Westflank is echter niet aan de orde en onwenselijk voor het gebied. Bestaande natuurwaarden worden hierdoor geschaad. De toplaag van de bodem is jaren verschaald en bevat, zeker in deze arme omgeving, waardevolle mineralen, organisch stof dat nog wat water vasthoudt en bodemleven.

Om te bepalen welke maatregelen nodig zijn om bovenstaande verhogingen te realiseren, is een stationair model gebouwd voor de langjarig gemiddelde situatie, uitgaande van MIPWA v3. Het stuwwalconcept is verbeterd en er heeft een nadere kalibratie van het model plaatsgevonden. Met het resulterende model worden de grondwaterstanden op de Westrand (i.e. de Westflank binnen de N2000 grens en het aangrenzend landbouwgebied buiten de N2000 grens) goed gemodelleerd. In combinatie met de uitgevoerde systeemanalyses, is daarmee voldoende inzicht gekregen in de werking van het hydrologisch systeem en de noodzakelijke maatregelen.

De volgende effecten voor de Westflank zijn berekend voor de langjarig gemiddelde situatie:

- Het verhogen van de drainagebasis van de (droogvallende) sloten buiten het wateraanvoergebied op de Westrand tot 0,5m -mv resulteert in een verhoging van de grondwaterstand met circa 5 tot 10 cm.
- Het omvormen van alle bospercelen (circa 411 ha) op de Sallandse Heuvelrug naar heide is op zichzelf goed voor circa 10 cm vernatting.
- Het combineren van het verhogen van de drainagebasis tot 0,5m -mv van alle sloten buiten het wateraanvoergebied aan beide zijden van de Sallandse Heuvelrug en het omvormen van circa 411 ha bospercelen naar heide, resulteert in een vernatting van 15 tot 20 cm.
- Wanneer de sloten buiten het wateraanvoergebied op de Westrand *volledig* worden gedempt (afvoerdrempel verhogen naar mv), circa 411 ha bos wordt omgevormd naar heide en de drinkwaterwinning Nijverdal volledig wordt gestopt, stijgt de freatische grondwaterstand op de Westflank met circa 25 tot 30 cm.
- Het effect van het individueel stopzetten van de drinkwaterwinningen Espelose Broek, Holten en Ten Cate reikt niet (effect kleiner dan 5 cm) tot aan de Westflank van de Sallandse Heuvelrug en levert dus geen meerwaarde. Ook het verhogen van de drainagebasis van de waterlopen buiten het wateraanvoergebied aan de oostzijde van de Sallandse Heuvelrug (beekdal van de Maatgraven) is weinig effectief ter hoogte van de Westflank.
- Uit een extra gevoeligheidsberekening blijkt dat het aanpassen van de kD in het diepe watervoerende pakket met een factor 0,6 (een onzekere factor in de modellering) geen invloed heeft op de berekende effecten ter hoogte van de Westflank (effect kleinen dan 2 cm). De scenarioberekeningen zijn daarom uitgevoerd met de hogere kD, waarmee het model net iets beter presteerde.

De situering van de meest effectieve maatregelen zijn weergegeven in Figuur 9-1.



Figuur 9-1 *Zone 1 (niet-blauw): dempen waterlopen zonder wateraanvoer WDOD (alleen leggerwaterlopen weergegeven, in modelberekeningen is het dempen van TOP10-waterlopen ook meegenomen)*
Zone 2 (groen): omvormen bospercelen naar heide Zone 3: stopzetten winning Nijverdal

Bovenstaande effecten zijn bepaald voor een langjarig gemiddelde situatie. De benodigde verhoging volgens Hullenaar geldt met name voor de GVG-situatie. De GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand) mag bij de meeste vochtige heide varianten relatief diep uitzakken (met uitzondering van de veenmosrijke typen). Verwachting is dat de relatieve effecten op de Westflank in de GVG-situatie dezelfde ordegrootte zullen hebben als in de gemiddelde situatie:

- Het omvormen van bos naar heide heeft zowel in het zomerhalfjaar als het winterhalfjaar effect (minder verdamping in de zomer, minder interceptie in de winter).
- Door het dempen van watergangen wordt vooral in het winterhalfjaar minder water afgevoerd uit het gebied. Echter, door het langer vasthouden van water, zakt de grondwaterstand in droge perioden ook minder snel uit.
- Het stopzetten van drinkwaterwinning zal ter plaatse van de putten een groter effect hebben in de zomer wanneer de waterbehoefte het grootst is. Effecten reiken dan ook het verst, doordat in de huidige situatie de sloten op de flanken (deels) droogvallen en daarmee geen dempende werking hebben op de uitstralingseffecten.

Bij de berekende verhoging van maximaal 25 tot 30 cm (maximale scenario waterwinning Nijverdal uit, bosomvorming en maatregelen in landbouwsloten Westrand), neemt (zonder plaggen) het areaal dat vanuit hydrologisch oogpunt geschikt is voor herstel / uitbreiding van vochtige heide toe met circa 10 – 20 ha (op basis van Hullenaar, 2013). Dit valt nog deels binnen de bandbreedte van de 15 – 30 ha vochtige heide die nodig is om de landschappelijke gradiënt van droge heide naar vochtige heide te herstellen. Daar komt bij dat vernatting van de Westrand voor vochtige heide er voor zorgt dat er ook een kwaliteitsverbetering van andere natuurtypen, zoals voor het habitatype heischrale graslanden, zal optreden. Bovendien is er op de Westrand nu ook sprake van droogteschade bij de agrariërs.

Naast seizoensgebonden effecten speelt er ook een langjarig effect op de stuwwal. Door het ontbreken van ontwateringsmiddelen wordt de langjarige dynamiek van de grondwaterstand in belangrijke mate bepaald door de grondwateraanvulling (neerslag-verdamping). In perioden met natte jaren, zoals in de jaren 90 (1993-1994 en 1998-2002), waren de grondwaterstanden boven op de stuwwal circa 1,0 m hoger dan in de afgelopen 10 (minder natte en relatief warme) jaren. Op de Westflank is dit effect nog steeds zichtbaar met grondwaterstanden die tot 0,5 m hoger waren. De langjarig gemiddelde grondwaterstand op de Westflank lag de laatste 10 jaar circa 10 tot 30 cm lager dan het langjarig gemiddelde vanaf de jaren 90.

Langjarige schommelingen in het neerslagoverschot hebben een significant effect op de hydrologische condities op de Westflank. Dat kan zowel leiden tot langdurige vernatting als langjarige perioden met drogere omstandigheden. Deze effecten zijn moeilijk te voorspellen door onzekerheid in het verloop van de langjarige neerslag en mogelijke effecten van klimaatsverandering. Een vernatting die op dit moment nog te beperkt zou zijn, kan in combinatie met toekomstige klimatologische ontwikkelingen kansrijk zijn.

9.2 Aanbevelingen

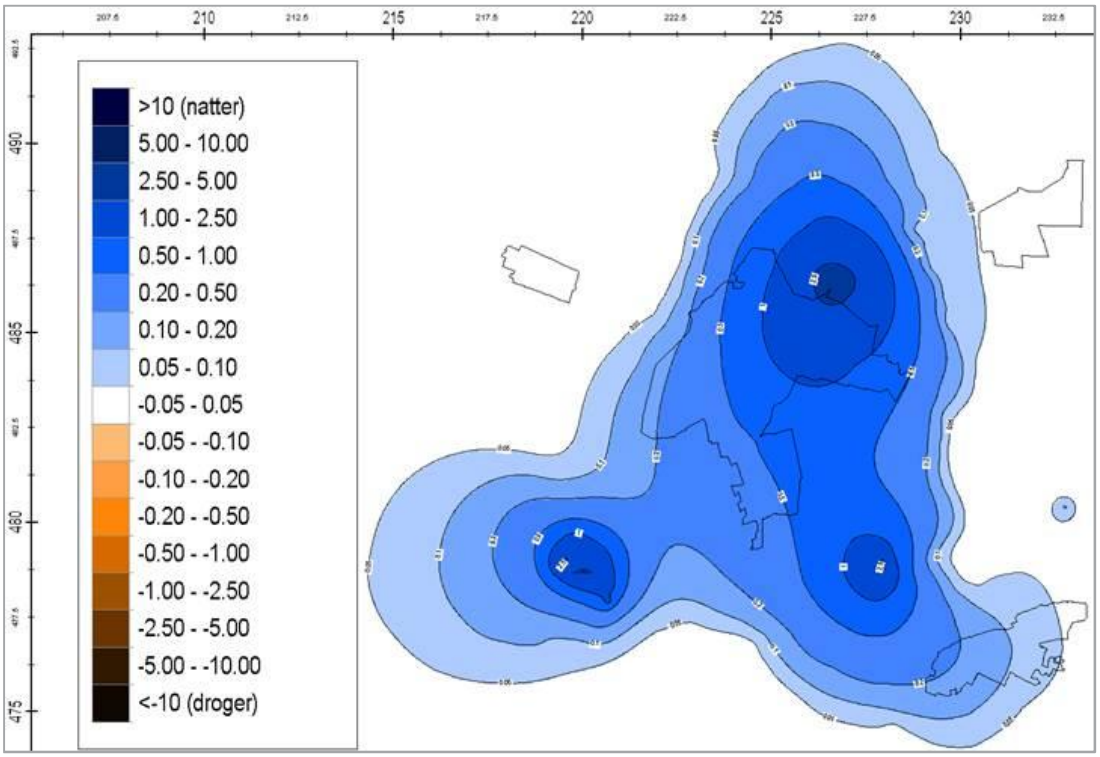
Uit het onderzoek is gebleken dat, technisch gezien en met specifieke maatregelen aangaande waterwinning, bosomvorming en landbouwsloten, de stijghoogte met maximaal 25 tot 30 cm kan worden verhoogd. Indien op basis van de deze conclusies een gebiedsproces wordt gestart, dienen de maatregelen nog nader te worden uitgewerkt en getoetst.

In dat stadium kan het zinvol zijn om het gebouwde stationaire model om te zetten naar een niet-stationair model. Hiermee kunnen dan de seizoensgebonden effecten en langjarige effecten nader worden geanalyseerd. Ook kan met dat model het effect van beregening op de Westrand worden meegenomen. In deze fase dient dan niet alleen het effect voor vochtige heide meegenomen te worden, maar ook effecten op overige functies of natuurtypen zijn van belang. Dit kan zowel een positief effect zijn, zoals voor het habitattype heischrale graslanden of landbouwgronden op de Westrand die momenteel droogteschade ondervinden, als een mogelijk negatief effect, op de lagere delen waar de grondwaterstanden nu al aan de hoge kant zijn voor het huidige gebruik.

Bijlage 1. Modelomvang

Het modelgebied dient zo gekozen te worden dat effecten op de randen van het model niet doorwerken tot in het onderzoeksgebied en vice versa. Van het onderzoeksgebied is bekend dat er sprake is van een grote freatische lekweerstand en spreidingslengte; de Sprengenberg is onderdeel van een stuwwal met een dik watervoerend pakket zonder dempende sloten in de directe nabijheid. Dit zorgt ervoor dat (geo)hydrologische ingrepen een grote invloedsafstand kunnen hebben.

Om de maximaal benodigde grootte van het modelgebied in te schatten, is met het nog niet aangepaste en gekalibreerde MIPWA-model (versie september 2017) een berekening gemaakt waarbij een maximaal effectscenario is doorgerekend waarbij drie drinkwaterwinningen van Vitens in de omgeving van de Westflank compleet zijn uitgeschakeld. De maximale coördinaten van het invloedgebied (afgemeten aan 5 cm verhogingscontour) zijn circa X: 215.000 – 232.000 Y: 474.000 - 492.000, zie Figuur 9-2.



Figuur 9-2 Invloedgebied uitzetten drinkwaterwinningen Nijverdal, Espelose Broek en Holten in het diepe watervoerende pakket (buitenste contour betreft 5 cm stijghoogteverhoging)

Om voldoende ruimte met de modelgrenzen in te bouwen, is in eerste instantie gekozen voor de volgende modelgrenzen: X: 210.100 – 239.900 Y: 470.100 – 499.900. Het meest zuidelijke deel valt daarmee net buiten het MIPWA-interessegebied. Buiten deze gebieden is het model niet doorgerekend door Deltares, maar fungeert alleen als bufferzone.
Besloten is daarom om de zuidelijke modelgrens 3,5 km in noordelijke richting te verschuiven (473.600).

Dit modelgebied is naar verwachting nog ruimschoots groot genoeg om alle korte en lange termijn scenario's voor de PAS-maatregelen op de Westflank te kunnen doorrekenen. Voor de zekerheid is nog wel de stijghoogte op de modelrand beoordeeld.

Bijlage 2. Modelaanpassingen basismodel (Basis4)

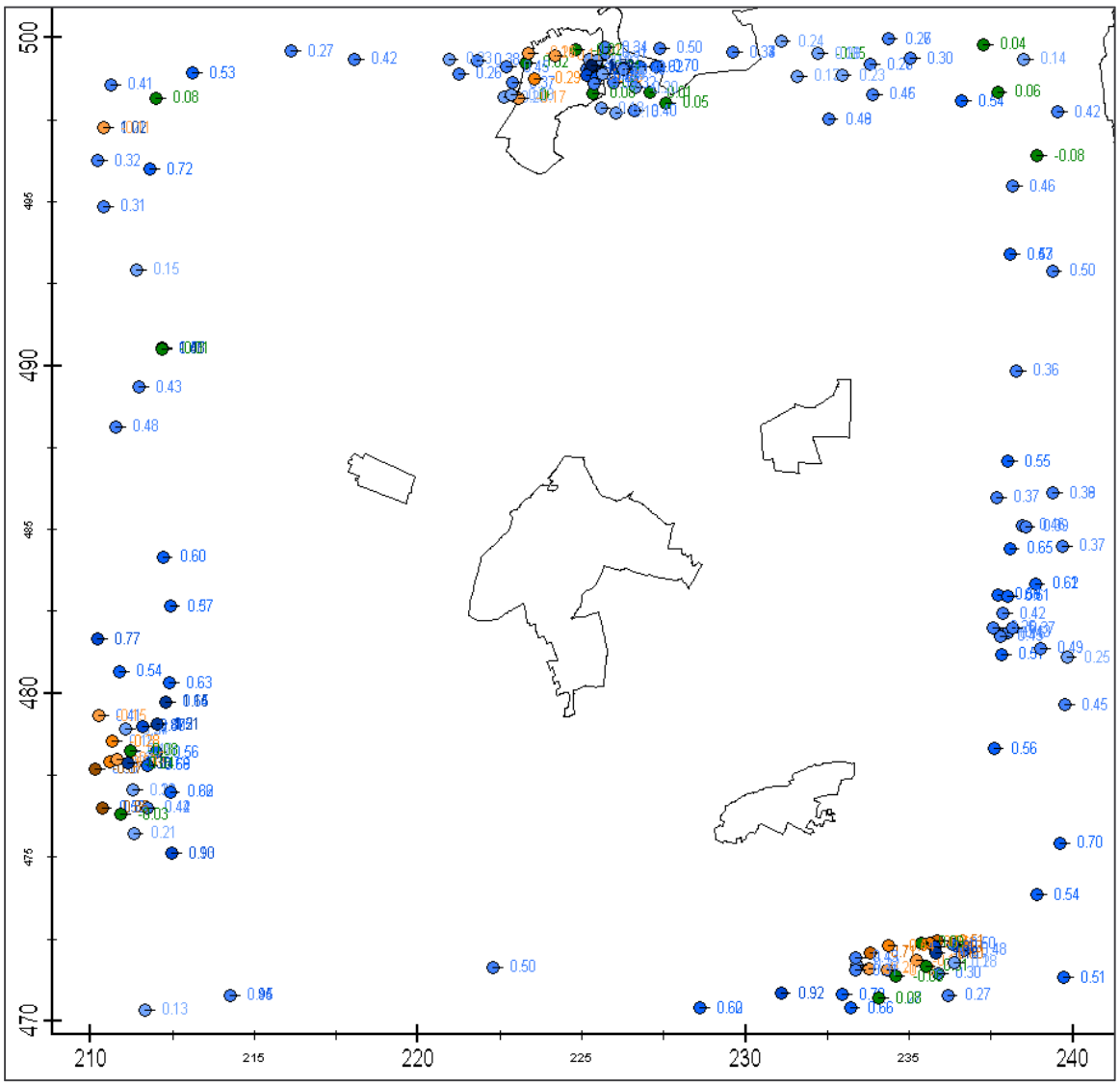
Controle stijghoogten op rand
Op de randen van het model is een vaste stijghoogte ingevoerd in MIPWA. De opgegeven start-stijghoogten worden hier vastgehouden. Voor de startstijghoogte is in de conceptoplevering van MIPWA 3.0 gebruik gemaakt van de stijghoogte op 31 december 1988 uit LHM 3.1.0 (NHI-model)[2]. De stijghoogten in deze winterperiode kunnen relatief hoog zijn en daardoor niet representatief voor een stationaire (langjarig gemiddelde) modelrand.

Om de geschiktheid van deze startstijghoogten te toetsen, zijn voor de peilbuizen nabij de modelrand de residuen bepaald tussen deze startstijghoogten en de gemiddelde gemeten stijghoogten. Deze zijn weergegeven in Figuur 9-3. Zoals verwacht, is de meerderheid van de residuen positief (blauw): het gebruik van de NHI-stijghoogten van 31 december 1988 zorgt voor te natte modelranden en daarmee niet representatief voor het langjarig gemiddelde.

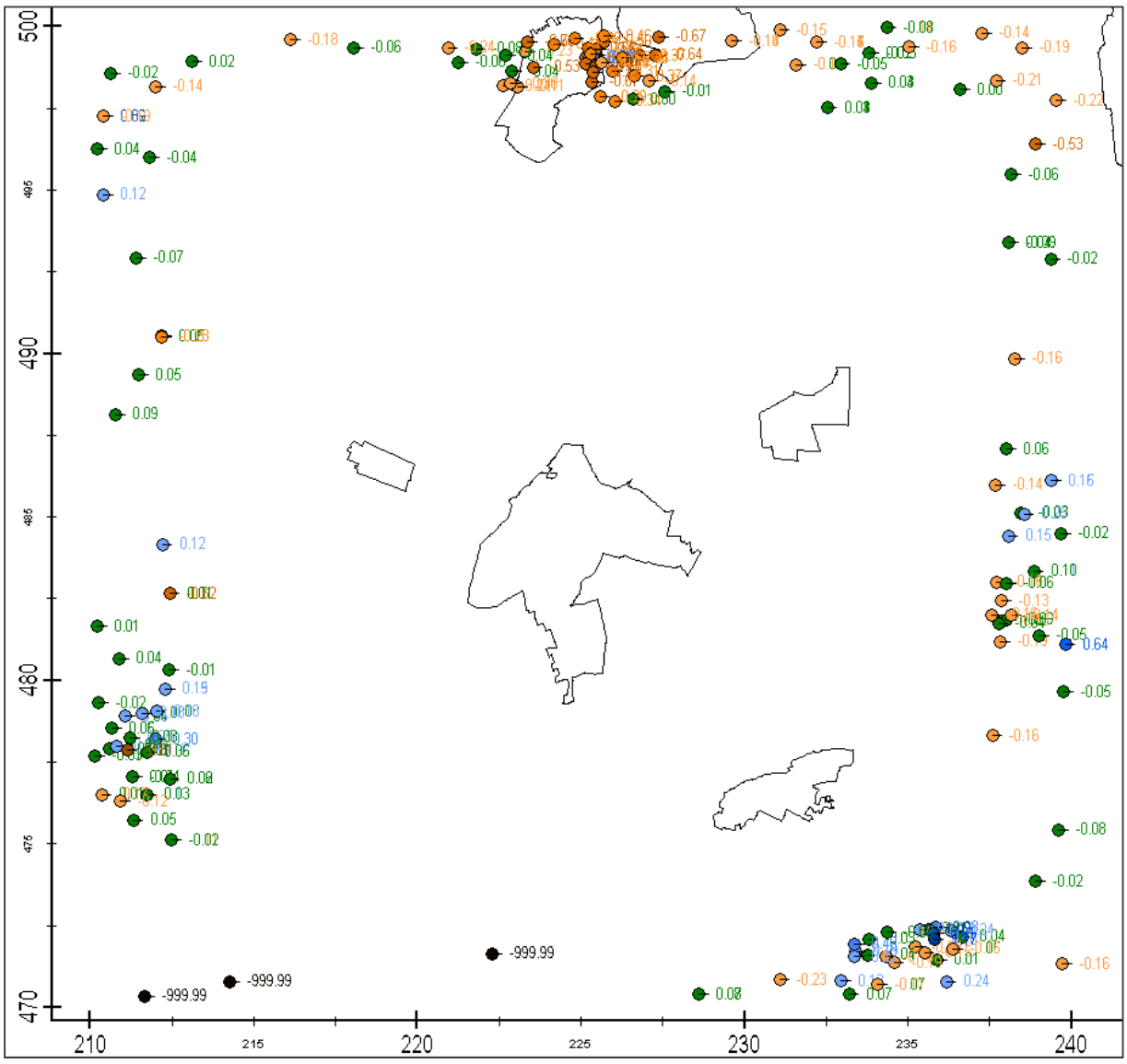
In de oplevering van MIPWA 3.0 (januari 2018) zijn ook de niet-stationaire resultaten voor de periode 1989-2014 van het 250 m resolutie model meegeleverd. Deze dienen als tijds-afhankelijke vaste-stijghoogterandvoorwaarden in niet-stationaire berekeningen. De 2-wekelijkse stijghoogten voor de periode 1989-2014 zijn per laag gemiddeld. Deze gemiddelde stijghoogten zijn vervolgens als startstijghoogte en modelranden gebruikt in een stationaire berekening.

In Figuur 9-4 zijn de verschillen tussen de gemiddelde gemeten stijghoogten van de peilbuizen nabij de modelrand en de gemiddelde berekende stijghoogten van het niet-stationaire MIPWA 3.0 model (250 m) weergegeven. Hieruit blijkt dat de absolute residuen vaak niet groter zijn dan 10 cm (groen). Deze methodiek is wel representatief voor de langjarig gemiddelde situatie. Lokaal zijn er wel duidelijk afwijkingen zichtbaar met bijvoorbeeld een te droge model-grens langs een deel van de noordelijke rand van het model. Deze startstijghoogten zijn daarna nog verschaald naar de rekenresolutie van 25 m (aritmetisch gemiddelde).

[2] MIPWA 3.0 actualisatie fase 1 – Lagenmodel, Deltares, 2016.



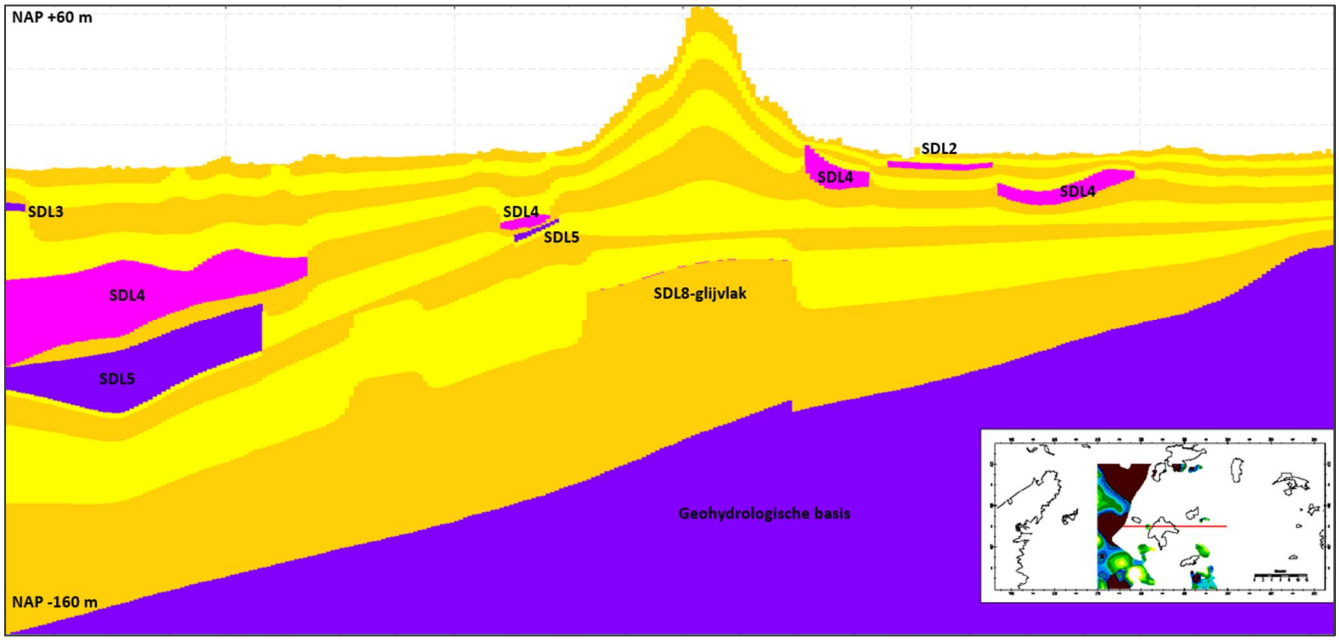
Figuur 9-3 Residuen van peilbuizen nabij modelrand ten opzichte van startstijghoogte NHI (groen= afwijking 'startstijghoogte-gemeten' minder dan 10 cm, blauw=model te nat, oranje=model te droog)



Figuur 9-4 Residuen van peilbuizen nabij modelrand ten opzichte van gemiddelde stijghoogten van niet-stationaire resultaten MIPWA 3.0 (1989-2014, 250m) (groen= afwijking 'startstijghoogte-gemeten' minder dan 10cm, blauw=model te nat, oranje=model te droog)

Lagenmodel

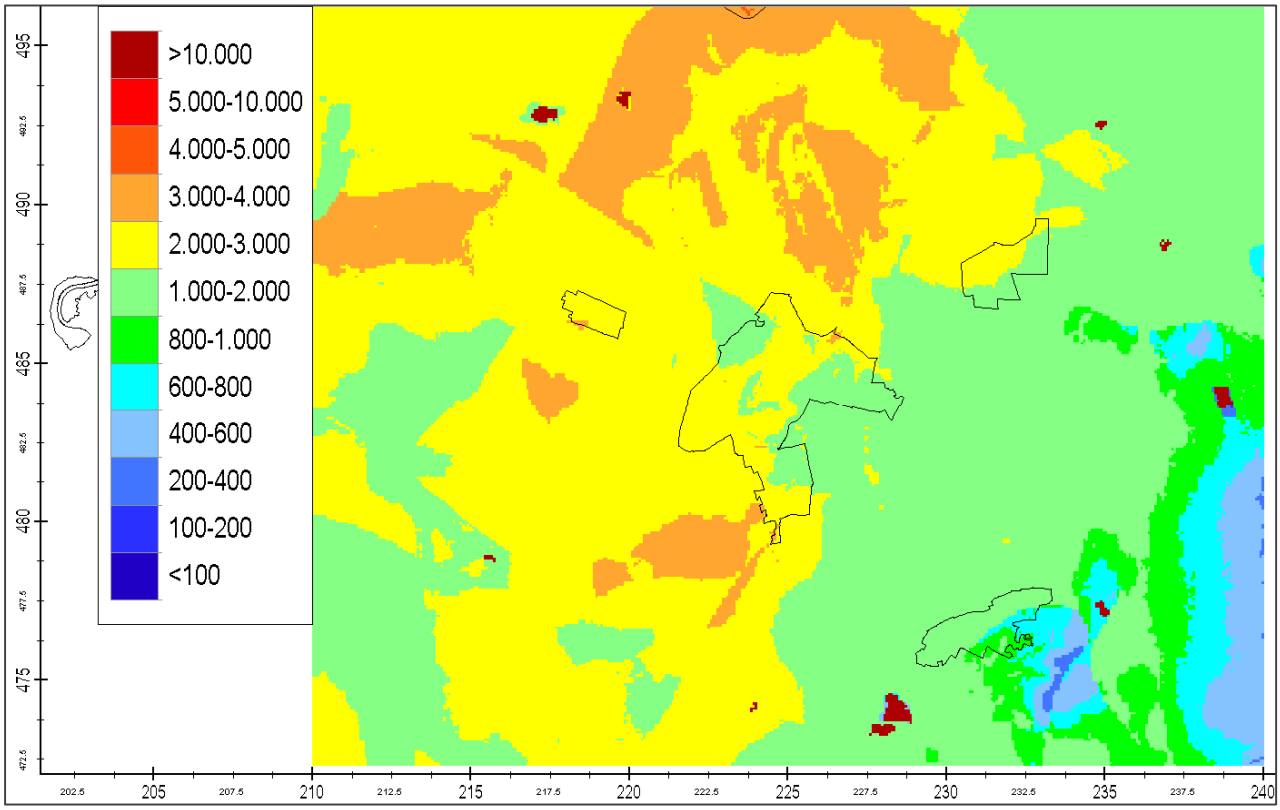
Het lagenmodel van MIPWA 3.0 is gebaseerd op REGIS II.1. In Figuur 9-5 is een west-oost doorsnede iets ten noorden van de Westflank weergegeven. In deze weergave zijn de diverse slecht doorlatende lagen aan weerszijden van de Sallandse Heuvelrug zichtbaar. Direct ten noordwesten van de Westflank zijn schollen Twello klei (Formatie van Kreftenheye) en diepe keileem (Formatie van Drenthe, Laagpakket van Gieten) in het model opgenomen (SDL4 en SDL5). Deze zijn ook aangetroffen in REGIS-boring B28C0264.



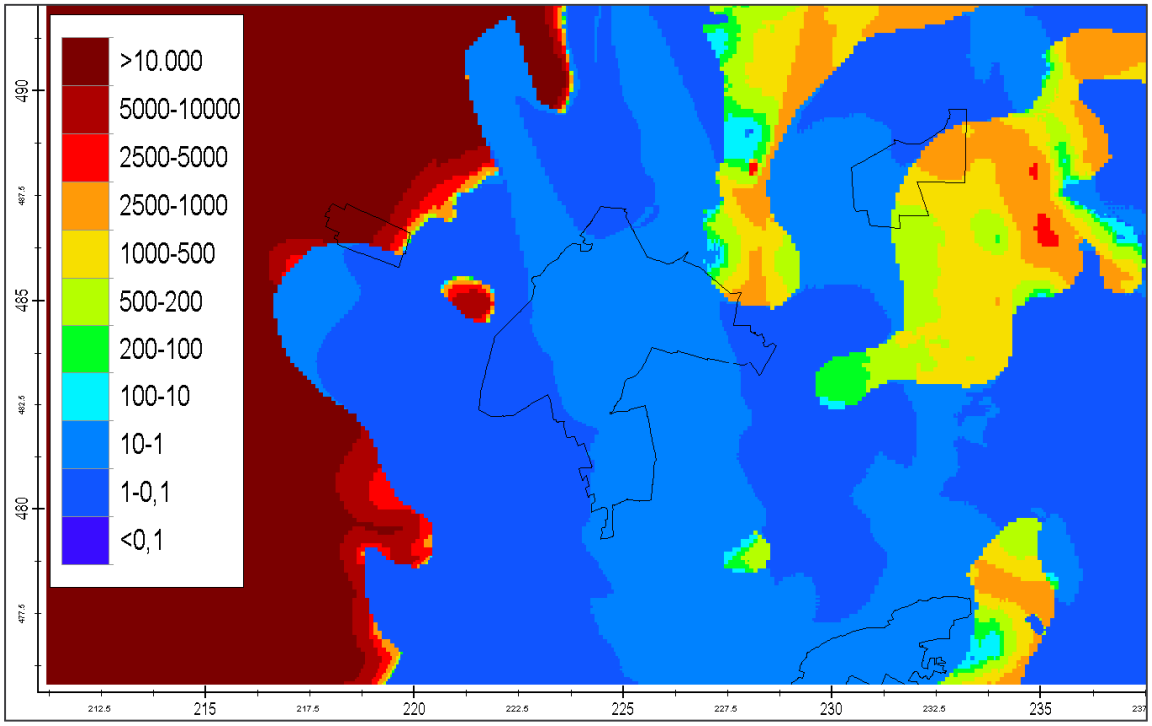
Figuur 9-5 West-oost doorsnede uit MIPWA v3.0 over de Sallandse Heuvelrug. Klei/leemlagen (SDL) zijn in roze/paars weergegeven, tussenliggende watervoerende zandlagen zijn geel

Uit bovenstaande figuur is op te maken dat er geen grote aaneengesloten slecht doorlatende lagen aanwezig zijn in het geohydrologische systeem rondom het onderzoeksgebied. Daarom mag het doorlaatvermogen van de diverse watervoerende pakketten bij elkaar opgeteld worden, omdat in het grootste deel van het onderzoeksgebied eigenlijk sprake is van één groot watervoerend pakket. Deze sommatie is in Figuur 9-6 weergegeven. Het totale doorlaatvermogen op de Westflank bedraagt circa 2.500 m^2/dag. De weerstanden van de in het modelgebied en rondom het onderzoeksgebied meest voorkomende slecht doorlatende lagen (SDL4 en SDL5) zijn weergegeven in respectievelijk Figuur 9-7 en Figuur 9-8.

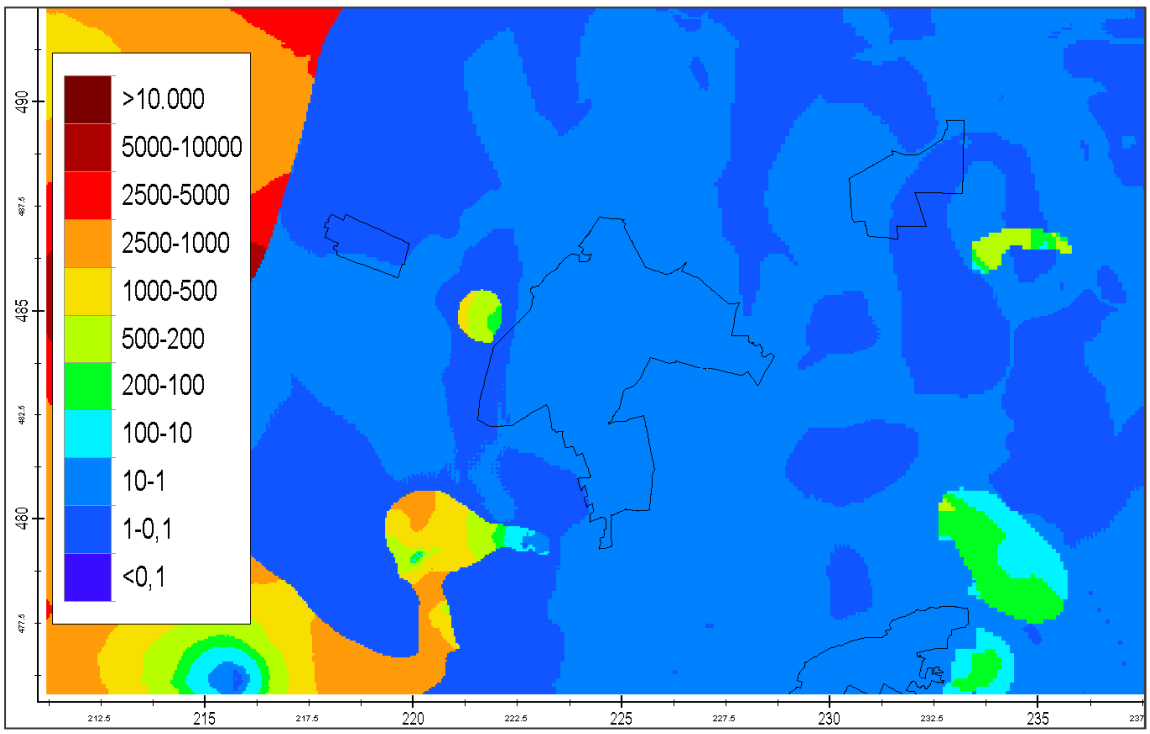
In het diepere systeem (deels echt aanwezige en deels hypothetische SDL8) zijn er echter wel flinke weerstanden (> 1000 dagen) in en rondom de Westflank aanwezig. Dit komt, omdat bij de berekening van de weerstand van slecht doorlatende lagen rekening gehouden wordt met zowel de helft van het bovenliggende als onderliggende watervoerende pakket. Watervoerend pakket 8 bestaat uit het Peize complex en watervoerend pakket 9 uit het Maassluis complex met deels slecht doorlatende afzettingen.



Figuur 9-6 Totaal doorlaatvermogen (KD in m^2/d) van de gesommeerd watervoerende pakketten

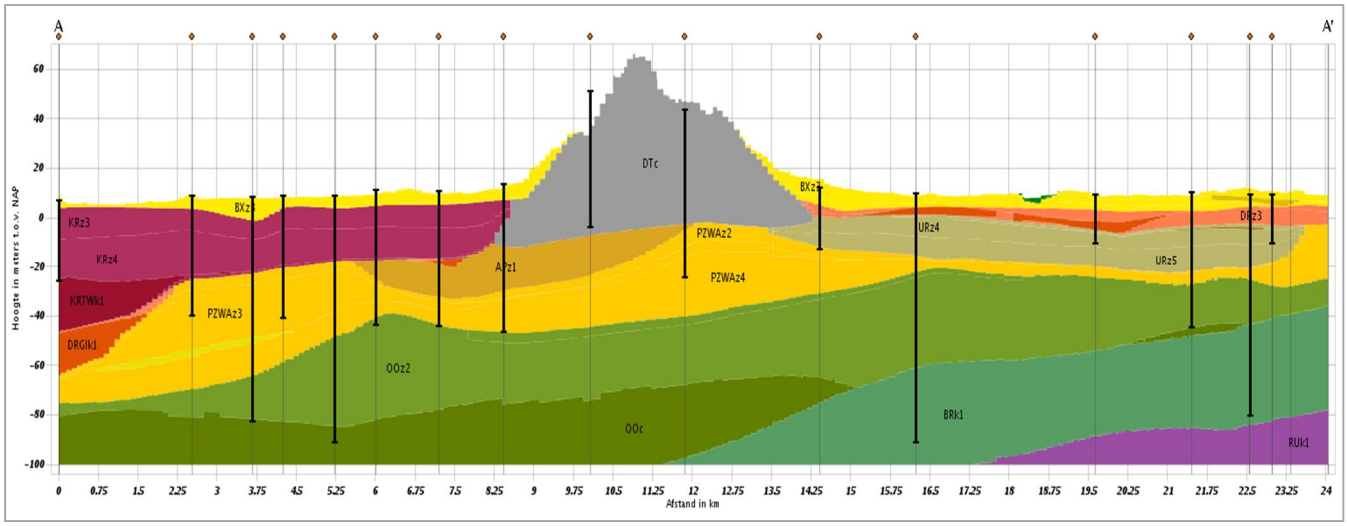


Figuur 9-7 Weerstand (dagen) van slecht doorlatende laag 4



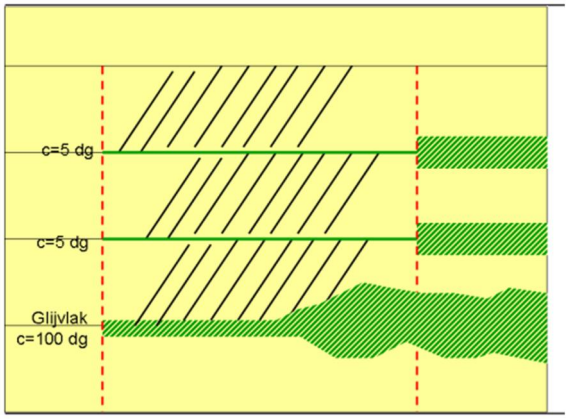
Figuur 9-8 Weerstand (dagen) van slecht doorlatende laag 5

Sinds augustus 2017 is de nieuwe REGIS II.2 beschikbaar. Vooral relevant is dat de verbreiding van de gestuwde afzettingen groter is geworden. Het voorkomen van diverse scheidende lagen aan weerszijden van de stuwwal lijkt grotendeels onveranderd (zie Figuur 9-9). De onderzijde van de gestuwde pakketten in REGIS II.2 bevindt zich op ca NAP 0 à -10 m. Dit is grotendeels overeenkomstig met REGIS II.1.



Figuur 9-9 West-oost doorsnede over Sallandse Heuvelrug uit REGIS II.2

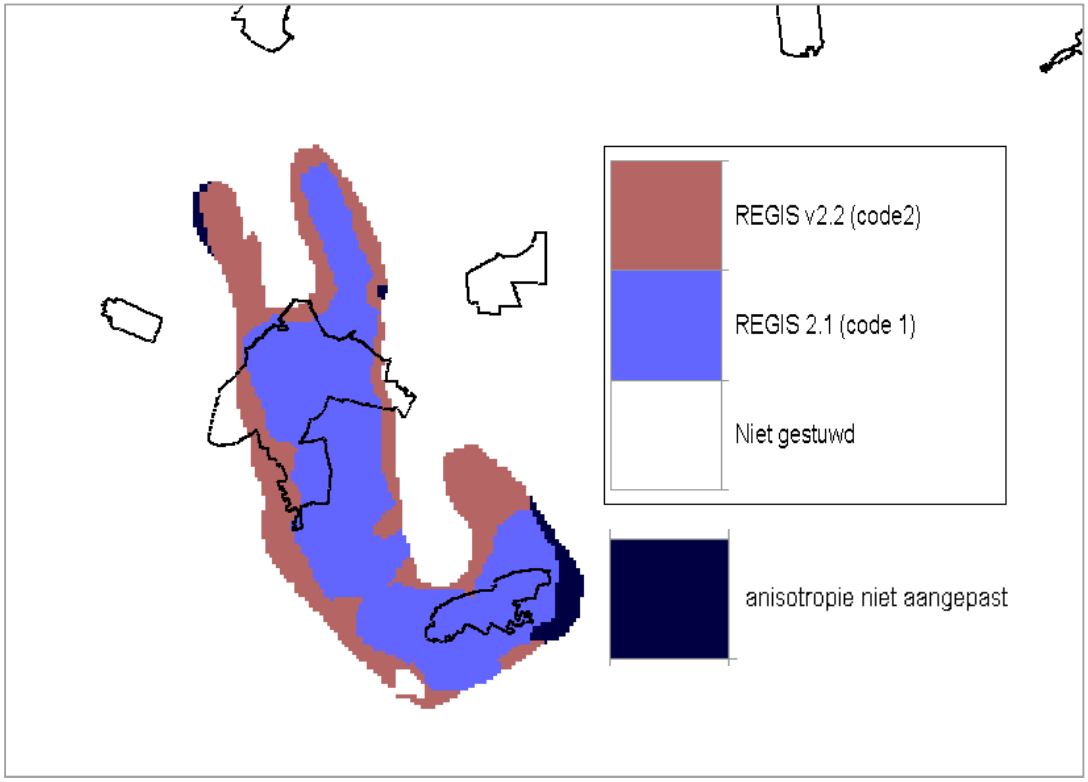
Het stuwwalconcept van de Holter- en Lemelerberg is gebaseerd op het WRD-model en weergegeven in onderstaande Figuur 9-10. De gestuwde anisotrope afzettingen zijn direct onderlegen door een glijvlak met een weerstand van 100 dagen. Uit een vergelijking tussen Figuur 9-5 en Figuur 9-9 blijkt dat de gestuwde afzettingen aanwezig zijn tot NAP 0 à -10 m, terwijl het glijvlak gemapt is naar SDL8 (NAP -20 à -40 m). Ook hebben in MIPWA alleen WVP 2 tot en met
WVP 5 (tot circa 0 à -10 m) ter hoogte van de gestuwde afzettingen de vaste doorlatendheid van 15 m/d voor gestuwde afzettingen toegekend gekregen. Tussen de onderzijde van de gestuwde afzettingen en het glijvlak bevinden zich nu niet-gestuwde afzettingen met hogere doorlatendheden. Dit is niet overeenkomstig het stuwwalconcept (zie Figuur 9-10).



Figuur 9-10 Concept westelijke stuwwallen WRD-model (Tauw, 2014)

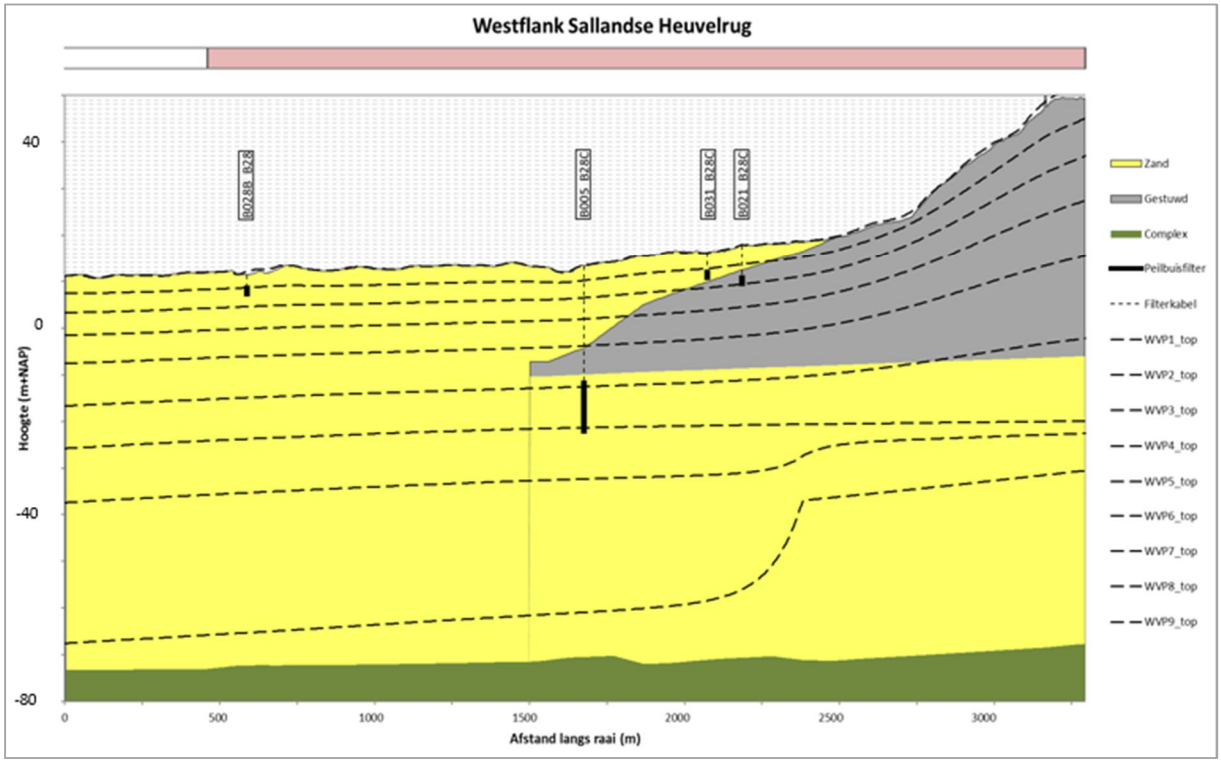
Na beoordeling van de beschikbare literatuur en afstemming met Tauw (de bouwer WRD-model) is besloten om het lagenmodel aan te passen op basis van de verbreiding van anisotrope gestuwde afzettingen in de nieuwste REGIS-versie II.2 (zie Figuur 9-11) en het oorspronkelijke stuwwalconcept (gestuwde afzettingen met anisotropie en vaste doorlatendheid direct onderlegen door glijvlak). Lokaal (zwart in onderstaande figuur) levert de uitgebreide anisotropie een conflict op met andere modellagen en zou resulteren in de bouw van een compleet nieuw lagenmodel. Om praktische redenen en omdat deze gebieden ver van ons interessegebied liggen, is besloten om hier de aanpassingen niet door te voeren.

Binnen de aan te passen gebieden zijn de volgende handelingen uitgevoerd:
- verwijderen van glijvlak uit SDL8 (code 1);
- inbrengen van glijvlak (c=100 d) in SDL5 (code 1 & 2);
- verwijderen van anisotropie in WVP6 t/m WVP8 (code 1);
- invoeren aangepaste anisotropie in WVP2 t/m WVP5, zie ook volgende paragraaf (code 1 & 2);
- invoeren vaste doorlatendheid van 15 m/d en verticale anisotropiefactor van 0,2 voor gestuwde afzettingen, zoals beschreven in MIPWA-rapportage (code 1 & 2).



Figuur 9-11 Aangepaste verbreiding gestuwde afzettingen REGIS II.2.

Doordat het lagenmodel in MIPWA niet naar geogenese is ingedeeld en bijvoorbeeld de gestuwde afzettingen niet consequent in bepaalde lagen zijn gemapt, ontstaan op de flanken van de stuwwal inconsistenties (zie Figuur 9-12). Op de uiterste grens van de verbreiding van de gestuwde afzettingen zouden deze alleen nog in WVP5 aanwezig moeten zijn, terwijl deze in WVP2, WVP3 en WVP4 ook doorgevoerd zijn.



Figuur 9-12: Lagenmodel MIPWA vs. REGIS II.2

Anisotropie

De anisotropie wordt gesimuleerd met een anisotropiefactor en -hoek. In de richting van de anisotropiehoek geldt de maximale KD-waarde. Loodrecht op deze hoek wordt de KD-waarde vermenigvuldigd met de anisotropiefactor (<1).

De anisotropie in MIPWA 3.0 voor de Holterberg (onderdeel Sallandse Heuvelrug) en de noordelijk gelegen Lemelerberg is gebaseerd op het WRD-model[2]. In de bijbehorende rapportage[3] wordt vermeld dat voor het vaststellen van de anisotropiehoeken gebruik is gemaakt van expert judgement en geen automatische kalibratie. De anisotropiefactor komt voort uit lokale kalibratieruns.

De anisotropie is in modellagen 2 tot en met 8 geplaatst met het onderliggende glijvlak in SDL8. De verbreiding van de horizontale anisotropie loopt vanaf het natuurgebied Borkeld (ten zuid-oosten van de Sallandse Heuvelrug) over de Sallandse Heuvelrug in noordwestelijke richting (zie Figuur 9-11). Voor de anisotropiefactor van de Sallandse Heuvelrug wordt uitgegaan van een vaste waarde van 0,4 in modellagen 2 tot en met 8. De anisotropiehoek varieert in al deze lagen tussen 0 en 160 graden. Op de Westflank zelf is geen anisotropie geschematiseerd.

Ten zuiden van natuurgebied Borkeld en ten oosten van het Wierdense Veld komen nog enkele geïsoleerde anisotrope gebieden voor. De anisotropie voor deze gebieden is geschematiseerd in modellagen 4 tot en met 8. De anisotropiefactoren variëren tussen 0,1 en 1,0, met anisotropie-hoeken van 80 graden (ten zuiden van natuurgebied Borkeld) en 160 graden (ten oosten van Wierdense Veld).

[3] Aanpassing stationair WRD2012-grondwatermodel, Tauw, 2014.

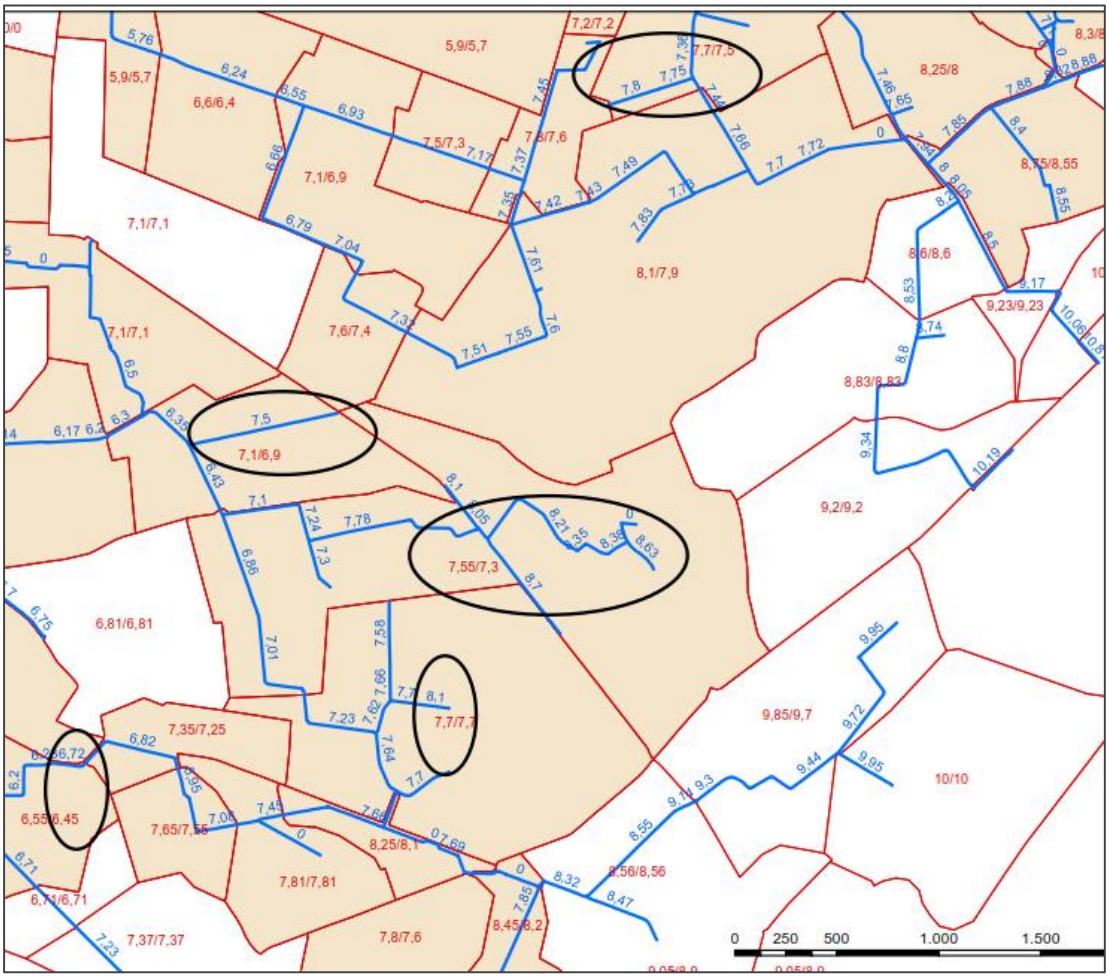
Buiten de in de vorige paragraaf genoemde aanpassingen aan de verbreiding en diepte van de anisotropie, zijn ook de anisotropiefactor en -hoek beschouwd. De factoren zijn bepaald middels kalibratie. Een nog kleinere anisotropiefactor (grotere opstuwing oost-west) is op basis van de geologie (Sallandse Heuvelrug bestaat voornamelijk uit zand en grind) niet te verwachten. De anisotropiehoek in het WRD-model was een mozaïek aan anisotropiehoeken van 0 tot 160 graden. Een eenduidige (geologische) onderbouwing hiervoor ontbreekt. De overwegende richting is zuid-zuidoos, wat, op basis van de ontstaanswijze van de stuwwal, ook te verwachten is. Besloten is daarom om in het basismodel voor de Westflank een eenduidige hoek van 160 graden aan te houden.

Oppervlaktewatersysteem

Waterschap WDOD

Op heel lokale schaal zijn inconsistenties aangetroffen in de schematisatie van de leggerwaterlopen. Deze bleken het gevolg van incomplete- en/of inconsistenties in de brondata van het waterschap.

Een voorbeeld hiervan zijn kleine stukjes waterloop binnen het 'wateraanvoergebied' waar volgens de legger de bodemhoogte hoger is dan het waterpeil (of een waarde 0 heeft), zie Figuur 9-13. De schaal waarop dit is aangetroffen, heeft geen invloed op de modelkalibratie. Op het moment dat lokale maatregelen in deze gebieden onderdeel uitmaken van een scenario's, is het voor een correcte effectberekening toch noodzakelijk om deze inconsistenties te herstellen. In dat geval is een inmeting van de bodemhoogte in het veld noodzakelijk om te bepalen hoe het hier precies zit. Voor wat meer regionale scenario's zijn deze lokale inconsistenties niet van belang.



Figuur 9-13 Waterlopen binnen wateraanvoergebied (oranje gekleurd) met een bodemhoogte (blauwe labels) hoger dan het peilvakpeil (rode labels)

Waterschap Vechtstromen

De waterlopen aan de oostzijde van de Sallandse Heuvelrug behoren tot Waterschap Vechtstromen. Voor dit gebied is echter geen legger beschikbaar. Voor de schematisatie van de waterlopen in het model is de volgende werkwijze gehanteerd:

- 'Leggerwaterlopen' zijn overgenomen uit het WRD-model 2014;
- Top10-vlakken zijn hieruit geknipt;
- Overige sloten zijn toegekend aan Top10-lijnen.

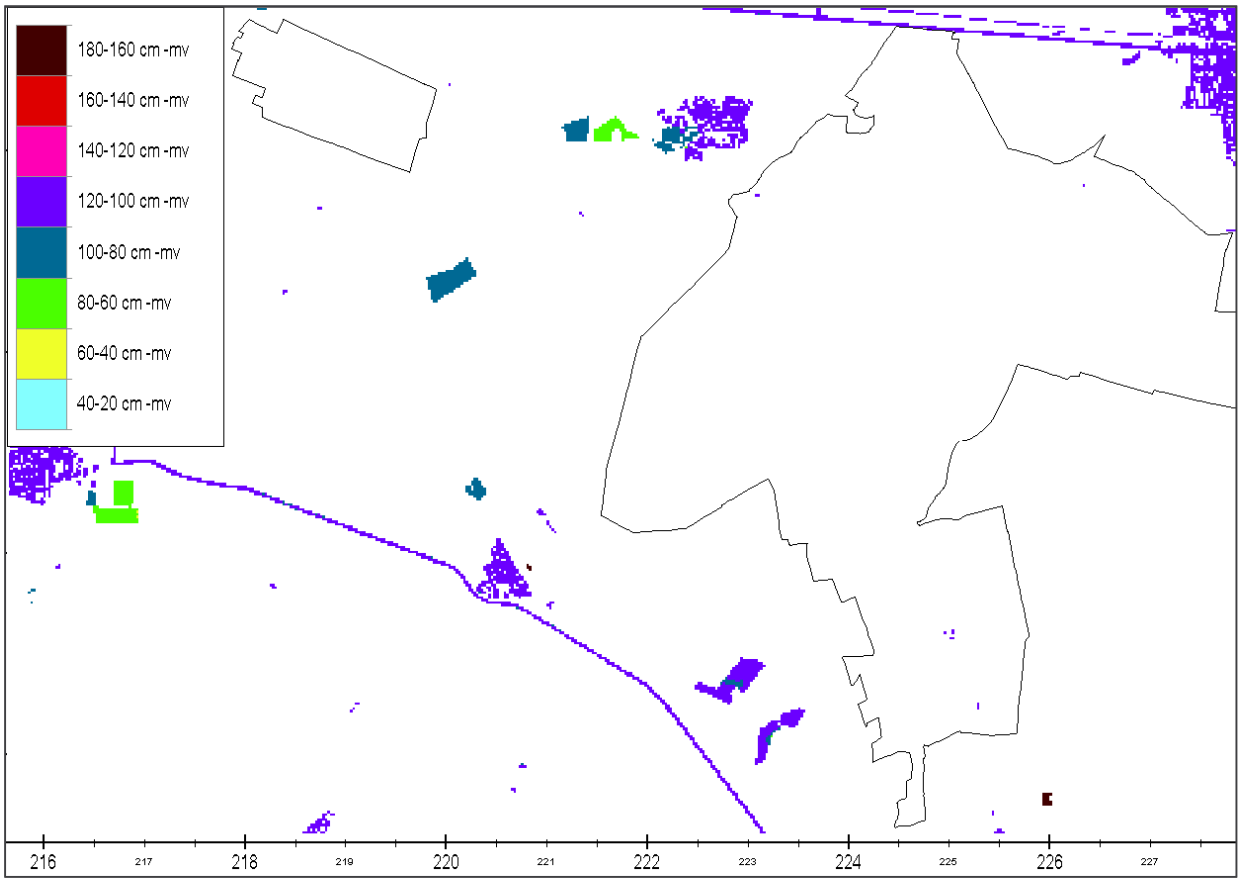
Het resultaat is een 'verknipt' oppervlaktewatersysteem in drie datasets. Lokaal is daarbij een overlap in waterlopen uit de verschillende datasets aangetroffen.

Vooralsnog is er geen aanleiding om het model hiervoor aan te passen. Mochten deze sloten onderdeel zijn van een scenario, dan is het wel relevant de sloten in de verschillende systemen aan te passen.

Top10-lijnen

Ook voor de Top10-lijnen waterlopen geldt dat het algemene beeld plausibel is. De drooglegging bevindt zich binnen de aannemelijke bandbreedte van 0- 2,5 m -mv. Bodemhoogten zijn standaard 0,5m beneden het ingevoerde peil. Er is geen wateraanvoer in dit gebied.

Drainage
Binnen de Sallandse Heuvelrug is, op enkele geïsoleerde plekken na, geen drainage opgenomen in het MIPWA v3.0 model. De drainage aan de westzijde van de Sallandse Heuvelrug is beperkt tot stedelijk gebied (Haarle, Nieuw Heeten), wegen (N332) en enkele grasland, akkerbouwpercelen en boomkwekerijen. De drainageweerstanden variëren tussen circa 30 en 100 dagen, afhankelijk van het landgebruik. De diepte van de buisdrainage ten opzichte van maaiveld is weergegeven in Figuur 9-14. Deze hangt sterk samen met het landgebruik. Voor stedelijk gebied is dit 120 cm -mv, voor akkerland 100 cm -mv en voor grasland 80 cm -mv.

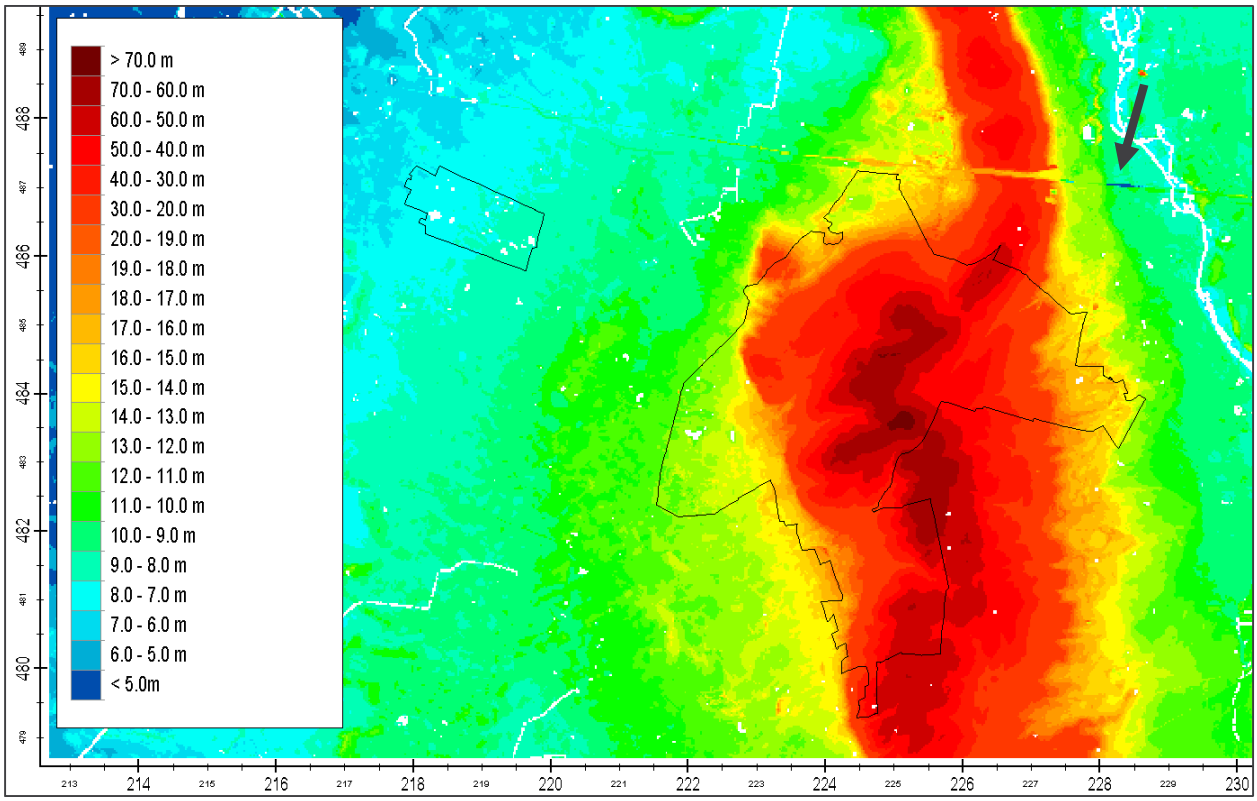


Figuur 9-14 Diepte buisdrainage ten opzichte van maaiveld in de omgeving van de Westflank

Overlandflow
In MIPWA v3.0 is een peil gedefinieerd waarboven oppervlakkige afstroming plaats kan vinden (Overland flow). Dit peil ligt in MIPWA 2 cm boven de voor depressies gecorrigeerde maaiveldhoogte waarmee een maaiveldberging van 2 cm wordt verondersteld. Pas wanneer deze bergingscapaciteit vol is, zal afvoer boven maaiveld optreden. De peilen waarboven oppervlakkige afvoer kan plaatsvinden, zijn weergegeven in onderstaande Figuur 9-15.

Ten noordwesten van de Sallandse Heuvelrug is een duidelijk afwijkende lijnvorm zichtbaar met een afvoerpeil van circa NAP +3,5 m. Dit lage afvoerpeil is gerelateerd aan een lokale lage maaiveldhoogte (ook circa NAP +3,5 m; cira 6 m lager dan omgeving) binnen het MIPWA 3.0 maaiveldbestand en het AHN2. Deze afwijkende waarden komen overeen met een ondergronds deel van het tracé van de N35 (Salland-Twentetunnel). In het model resulteert dit in een permanente bouwputbemaling.

Het afvoerpeil is op deze locatie verhoogd (op basis van omliggend maaiveld).



Figuur 9-15 Peil waarboven oppervlakkige afvoer via maaiveld kan plaatsvinden met aangegeven afwijking ter plaatse van N35

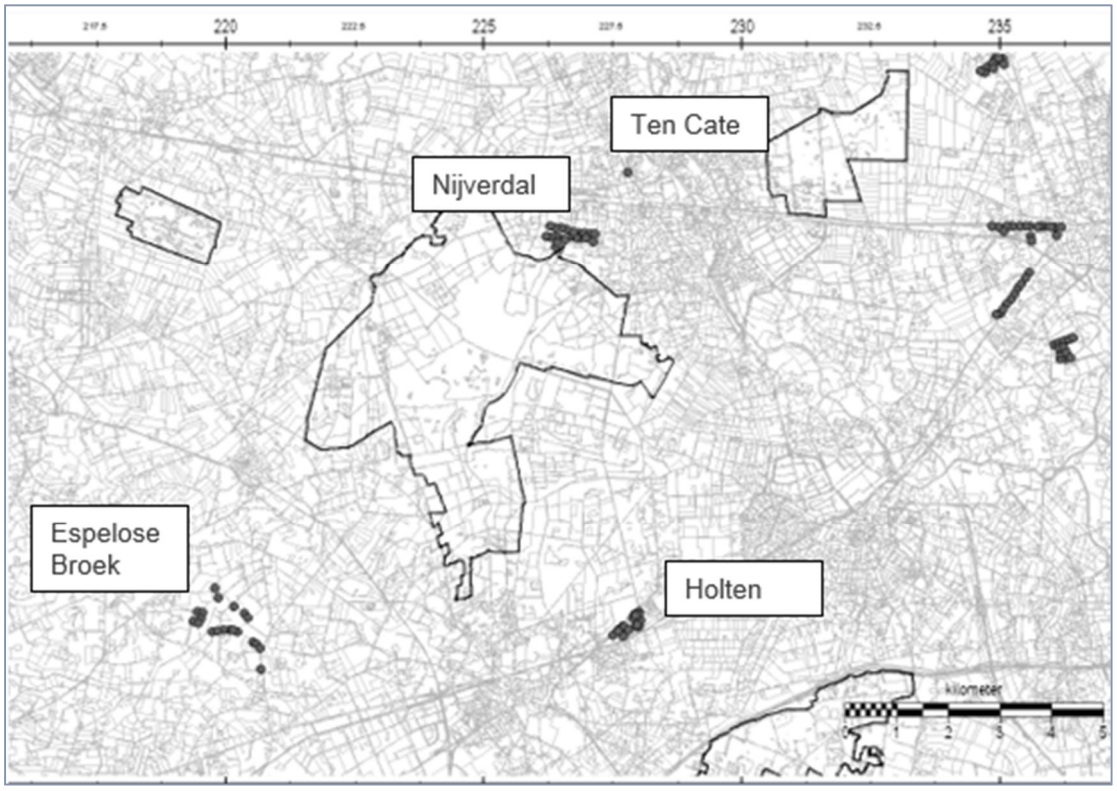
Onttrekkingen Vitens

Vitens heeft voor dit project een beter en actueler onttrekkingenbestand aangeleverd dan nu in MIPWA v3 zit. Ten opzichte van het basisbestand bestaan de volgende verschillen:

- De stationaire debieten zijn de gemiddelde debieten voor de periode 2010-2014 (ten opzichte van de periode 2000-2014 in de MIPWA-oplevering).
- Winning SHR (Schalkaar) is in de actuele bestanden als niet-actieve winning beschreven: het stationaire debiet van de 6 winputten met putcode 'SH' is 0 m^3/uur (ten opzichte van 85 m^3/dag in de MIPWA-oplevering) en de 2 winputten met putcode 'LT' maken geen onderdeel meer uit van het actuele bestand;.
- Winning Holten heeft in het actuele bestand 20 winputten (ten opzichte van 31 winputten in de MIPWA-oplevering), dit verschil in aantal winputten geldt in ieder geval ook voor de winning Wierden.
- Winning Herikerberg is in het actuele bestand een relatief ondiepe freatische winning (bovenkant onttrekkingsfilter doorgaans <10 m -mv), terwijl in de MIPWA-oplevering uit is gegaan van een diepe winning.
- De indeling naar de diverse watervoerende pakketten in de MIPWA-oplevering lijkt met een Python tool van Deltares uitgevoerd te zijn, terwijl het actuele bestand (KD-gewogen) met de iMOD-tool MKWELL over de diverse lagen is verdeeld. Uit een steekproefsgewijze controle blijkt dat beide resulterende fracties van de debieten over de diverse lagen niet overeenkomen (met verschillen tot ruim 25%).

Hieronder is een overzicht weergegeven van de wijze waarop de winningen Nijverdal, Espelose Broek en Holten (dichtstbij het onderzoeksgebied) volgens het actuele bestand in het model zijn opgenomen:

- Nijverdal:
  - 21 winputten;
  - stationair debiet: 748,2 m^3/dag/put;
  - filters in WVP 5 t/m WVP 9 (tussen NAP +5,3 m en NAP -49,2 m);
- Espelose Broek:
  - 20 winputten;
  - stationair debiet: 590,8 m^3/dag/put;
  - filters in WVP 5 t/m WVP 9 (tussen NAP -21,2 m en NAP -63,2 m);
- Holten:
  - 20 winputten;
  - stationair debiet: 324,6 m^3/dag/put;
  - filters in WVP 5, WVP 6 en WVP 9 (tussen NAP +7,8 m en NAP -53,4 m).



Figuur 9-16 Onttrekkingen basismodel

Overige onttrekkingen

In 2015 is geconcludeerd dat de winningen van Ten Cate in Nijverdal niet goed in het WRD2014-model waren ingevoerd[1]. In de MIPWA 3.0 rapportage is aangegeven dat de gegevens uit het Landelijk Grondwaterregister (LGR) nog niet beschikbaar zijn en dat alleen voor Friesland en Drenthe gegevens met betrekking tot industriële onttrekkingen zijn aangeleverd[2]. De winningen van Ten Cate zitten dus niet in het MIPWA 3.0 model.

Uit een recent overzicht uit het LGR, aangeleverd door provincie Overijssel, blijkt dat Ten Cate twee bedrijfsonderdelen (Ten Cate Technical Fabrics B.V. en Ten Cate Advanced Textiles B.V.) en ook twee puttenvelden heeft. Het is onzeker of de verdeling in bedrijfstakken overeenkomt met de onderverdeling in puttenvelden. Het noordelijk puttenveld bestaat uit 7 actieve winputten, het zuidelijk puttenveld uit 3 actieve winputten. Uit de begeleidende memo blijkt dat er vooral met betrekking tot het noordelijk puttenveld onzekerheid bestaat over de coördinaten en filter-stellingen van de diverse winputten. Mogelijk is er sprake van een verdeling van het filter in twee delen met een 'blind' deel ertussen.

De meest recente onttrekkingsgegevens stammen uit 2005. Voor
Ten Cate Technical Fabrics B.V. is in dat jaar ruim 375.000 m^3 grondwater onttrokken, voor
Ten Cate Advanced Textiles B.V. was dit ruim 925.000 m^3.

Volgens het laatste inzicht van provincie Overijssel wordt op dit moment alleen onttrokken uit het noordelijke puttenveld. De huidige vergunde hoeveelheid is 1.000.000 m^3/jaar.

Vanwege de onzekerheid met betrekking tot de locatie van de winputten, de dieptes van de winfilters en de onderverdeling van de debieten over de winputten/winvelden, is besloten de winning van Ten Cate eenvoudig in het model te schematiseren (gebruik makend van de gegevens uit de begeleidende memo[4] en de informatie van provincie Overijssel):

- Op de locatie van de middelste put van puttenveld noord (N07) is één winput ingevoerd met een filter tussen NAP -4,0 en NAP -53,3 m (minimale diepte bovenkant filter en maximale diepte onderkant filter binnen puttenveld noord), zonder rekening te houden met een 'blind' filterdeel.
- De put heeft een stationair debiet van 2.740 m^3/dag (1.000.000 m^3/jaar) op basis van het maximaal vergunde debiet.

Deze winput is met behulp van de iMOD-batchfunctie MKWELLIPF KD-gewogen over de diverse watervoerende pakketten verdeeld (Noord: WVP4-WVP8).

[4] Technische gegevens onttrekking Ten Cate, Provincie Overijssel, 2014.

Bijlage 3. Validatie set

Binnen de MIPWA v3.0 oplevering zijn twee peilbuizensets aangeleverd: aangeleverde gevalideerde meetreeksen van provincies, drinkwaterbedrijven en waterschappen en overige niet gevalideerde meetreeksen uit DINOloket. Besloten is om uit te gaan van de eerste set. Geconstateerd is dat de reeksen van Vitens in Overijssel opvallend veel uitbijters bevat (sterk afwijkende waarden). Vitens heeft daarom een verbeterde dataset aangeleverd (3002 reeksen vanaf 1989).

Deze dataset is volgens onderstaande criteria verder verwerkt:
- Binnen MIPWA zijn alleen meetreeksen opgenomen, indien er in de kalibratie/validatie-periode (1 april 2000-31 maart 2015) minstens 5 jaar metingen zitten, reeksen die voor 1 april 2005 eindigen zijn voor deze studie ook uit de set gesorteerd en verwijderd.
- Vervolgens zijn de meetreeksen binnen en net buiten het modelgebied geselecteerd.
- Alleen de reeksen met metingen tot en met 2015 of later zijn behouden om zoveel mogelijk uit te gaan van de huidige situatie.

De resulterende 670 reeksen zijn vervolgens visueel gecontroleerd. Hierbij zijn de volgende reeksen verwijderd:
- Reeksen met ontbrekende metingen gedurende de meerderheid van de meetperiode;
- Reeksen met ontbrekende metingen in recente jaren;
- Reeksen met alleen de laatste jaren frequente metingen (< 5 jaar);
- Reeksen met droogvallende filters;
- Reeksen die naar verwachting schijngrondwaterspiegels betreffen.

Tot slot zijn in de resterende 624 reeksen duidelijk foutieve uitbijters verwijderd.

Vitens heeft ook een aparte dataset voor het gebied rondom winning Espelose Broek (192 metingen vanaf 1989) aangeleverd. De metingen die voor 2006 eindigen, zijn verwijderd (65 meetreeksen resterend).

Deze 689 verbeterde meetreeksen vervangen de MIPWA reeksen 'Vitens Overijssel' (727 reeksen binnen modelgebied). Voor deze meetreeksen zijn de statistieken bepaald over de periode 2007-2018.

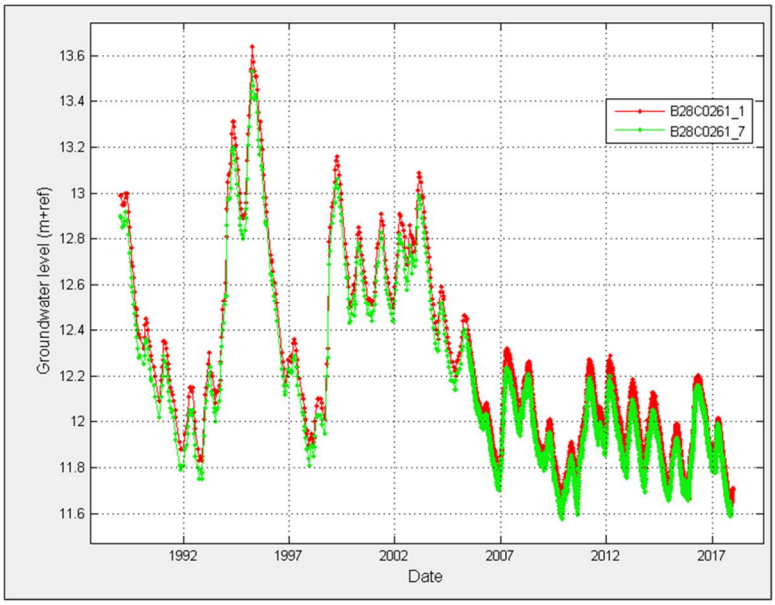
Ook de meetpunten van Natuurmonumenten zijn toegevoegd aan de validatieset. Hierbij zijn de peilschalen, incomplete meetreeksen en droogvallende filters verwijderd.
De resterende dataset bestaat uit lange en recente meetreeksen voor bepaling van het langjarige gemiddelde (11 meetreeksen) en kortere meetreeksen (nieuwe meetraai Westflank). Binnen de langjarige meetreeksen (voornamelijk bij Hellingveentje en Kleine Plas) zijn veel reeksen ongeschikt, omdat het schijngrondwaterspiegels betreffen (schijnspiegels worden met het model niet berekend). Hetzelfde geldt voor de te korte meetreeksen op de Westflank. Voor de 3 resterende meetreeksen zijn de statistieken bepaald over de periode 2007-2018.

De 157 meetreeksen binnen het modelgebied van provincie Overijssel, Waterschap Groot Salland en Waterschap Vechtstromen zijn gecontroleerd op voldoende metingen om statistiek te kunnen bepalen over de periode 2007-2018. Uiteindelijk bleken 108 meetreeksen hier geschikt voor.

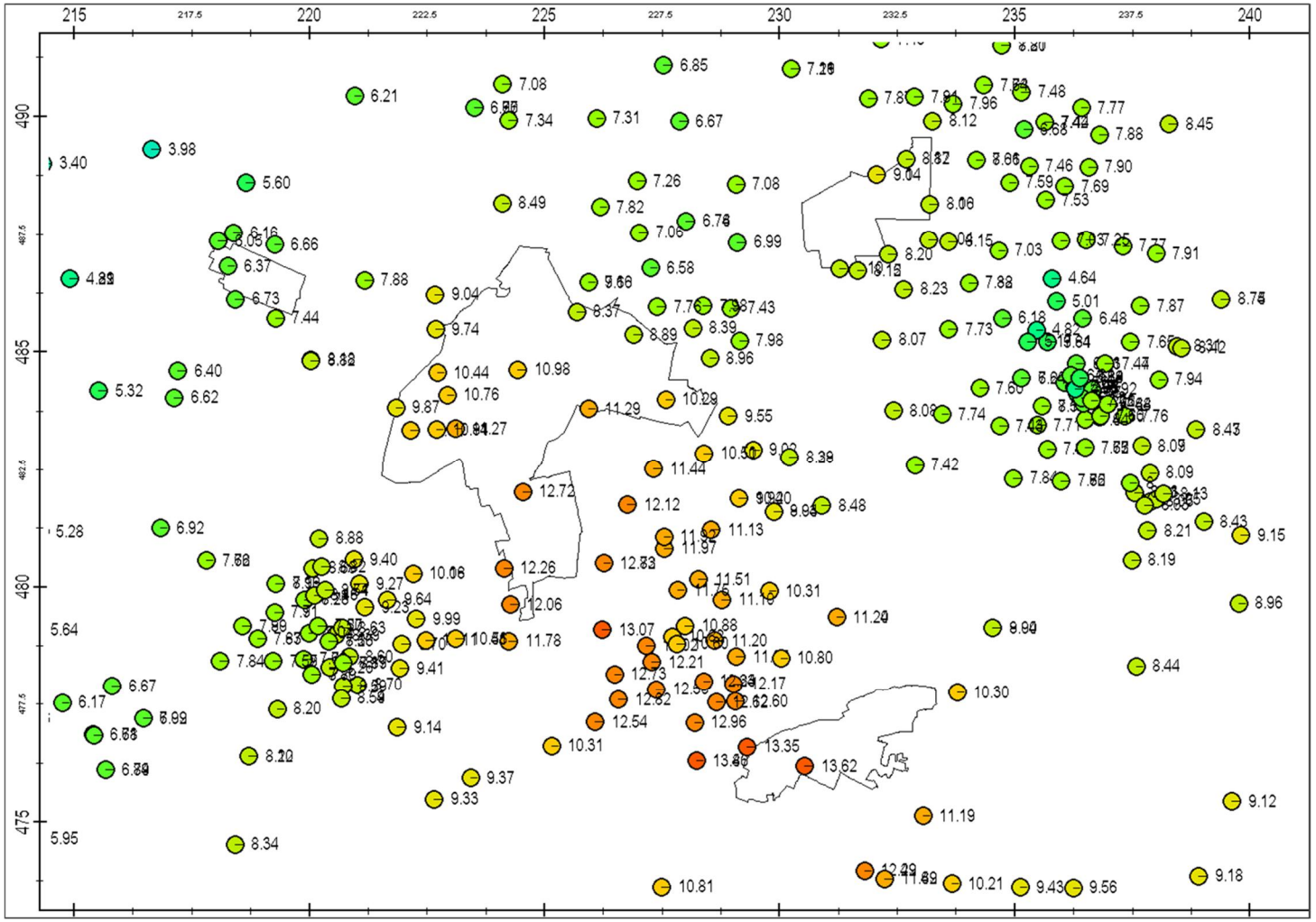
Uiteindelijk bestaat de validatieset uit:
- 77 meetreeksen van Provincie Overijssel;
- 689 meetreeksen van Vitens Overijssel;
- 27 meetreeksen van voormalig Waterschap Groot Salland;
- 4 meetreeksen van Waterschap Vechtstromen;
- 3 meetreeksen van Natuurmonumenten.

Op basis van de nieuwe verbreiding van de gestuwde afzettingen (REGIS II.2) is de validatieset opnieuw ingedeeld in peilbuizen in of binnen 1 km van het gestuwde gebied (109) en peilbuizen die daarbuiten liggen (691). Van deze 800 peilbuizen kunnen in MIPWA 558 peilbuizen ingedeeld worden in de diverse watervoerende pakketten binnen het modelgebied van het basismodel. De andere peilbuizen vallen buiten het door te rekenen gebied of hebben een filterstelling in een slechte doorlatende laag volgens het MIPWA-lagenmodel.

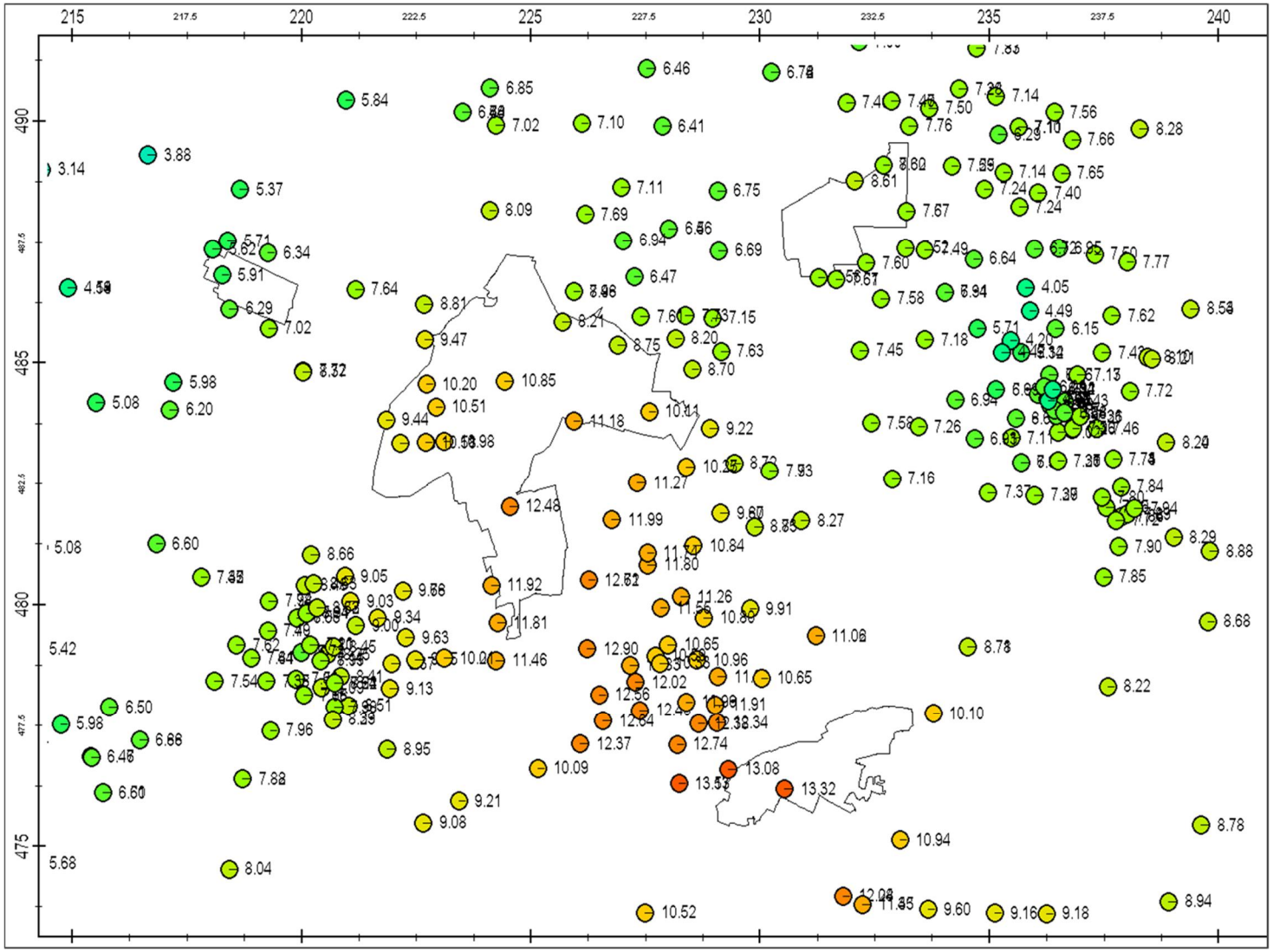
Er is gekozen om de statistiek (GxG's) te bepalen over de periode 2007-2018, omdat veel peilbuizen rondom de Sallandse Heuvelrug het tijdstijghoogteverloop laten zien, zoals weergegeven in Figuur 9-17. De stijghoogte in de jaren 90 is daarbij circa 0,6 m hoger dan de stijghoogten na 2006. Aangezien het model wordt opgezet voor de huidige situatie, zijn de meeste recente GxG's relevant. Het berekenen van statistiek over de gehele meetperiode zou voor de peilbuizen in het gestuwde gebied resulteren in tot 0,5 m hogere GxG's. De GxG's zijn weergegeven in Figuur 9-18, Figuur 9-19 en Figuur 9-20.



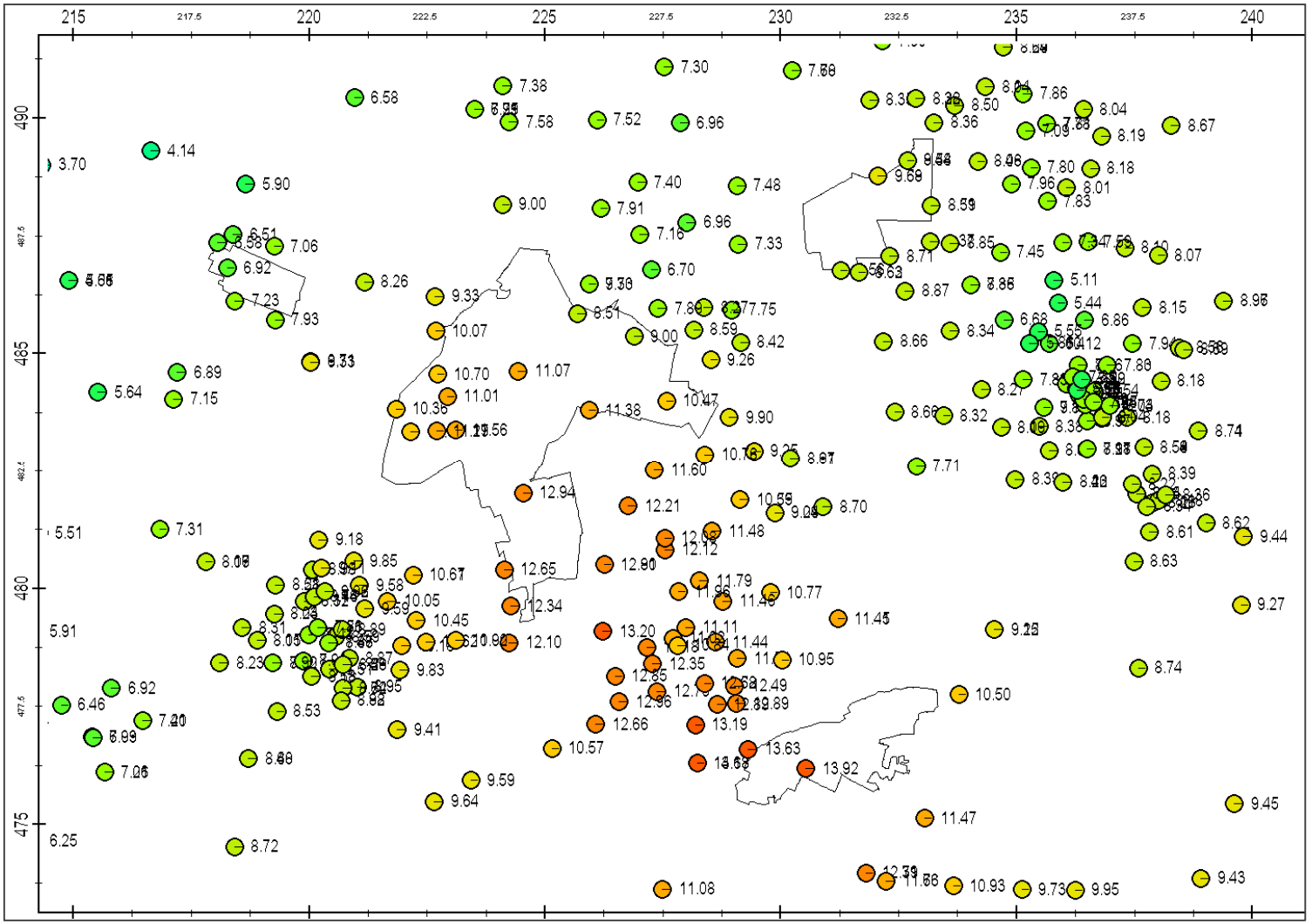
Figuur 9-17 Tijdstijghoogten periode 1989-2017 peilbuis B28C0261 (ondiep en diep)



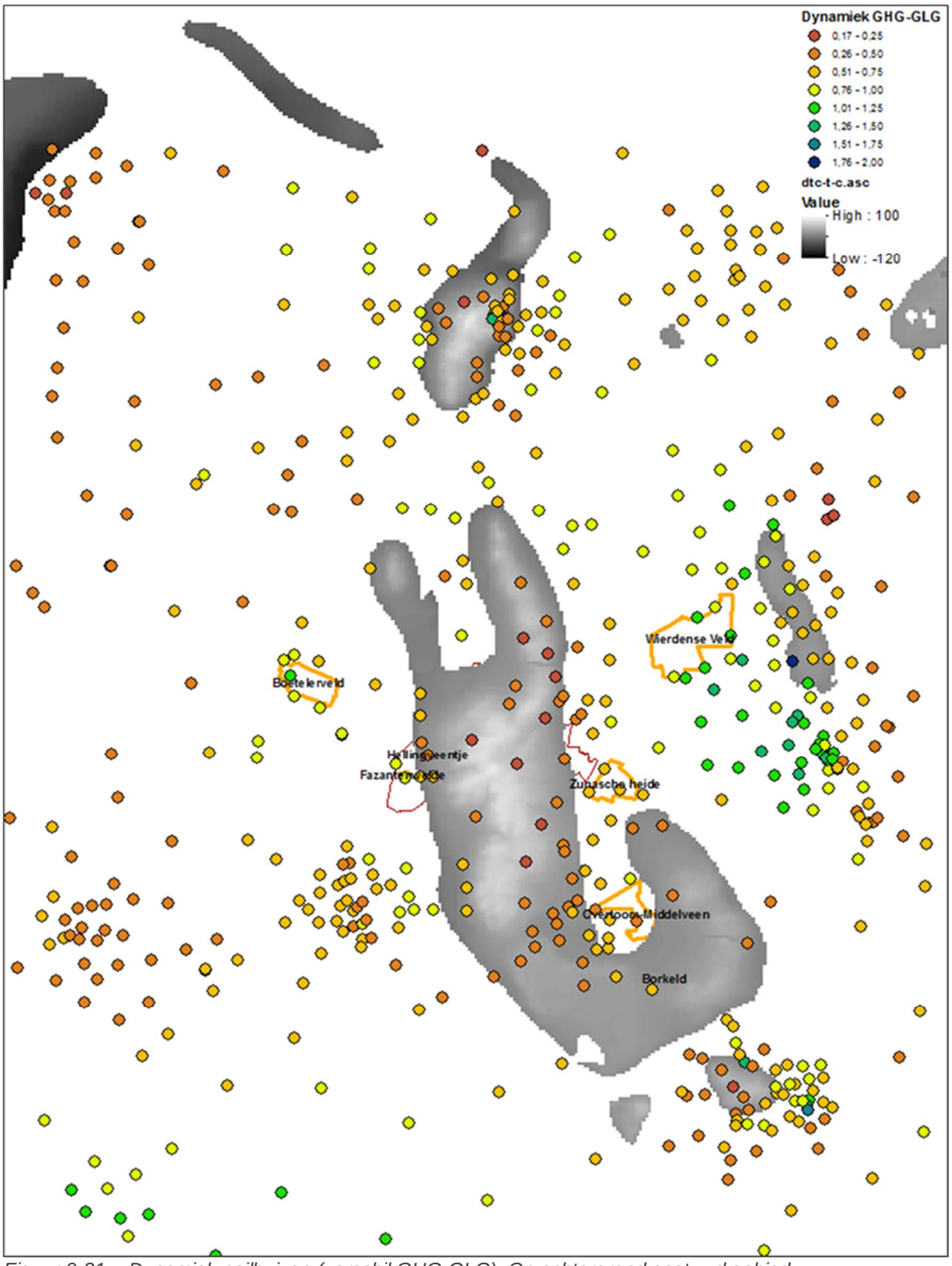
Figuur 9-18 Langjarig gemiddelde stijghoogte alle WVP in m +NAP, exclusief schijngrondwaterspiegels (2007-2018)



Figuur 9-19 GLG-situatie 2007-2018 alle WVP in m +NAP, exclusief schijngrondwaterspiegels (2007-2018)



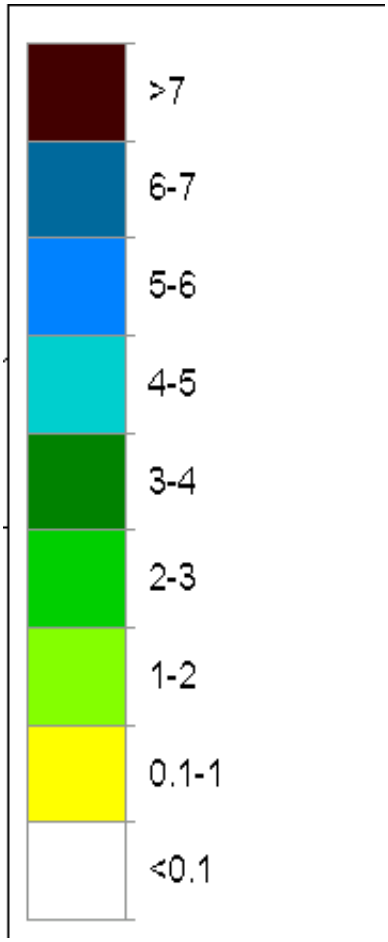
Figuur 9-20 GHG-situatie 2007-2018 alle WVP in m +NAP, exclusief schijngrondwaterspiegels (2007-2018)



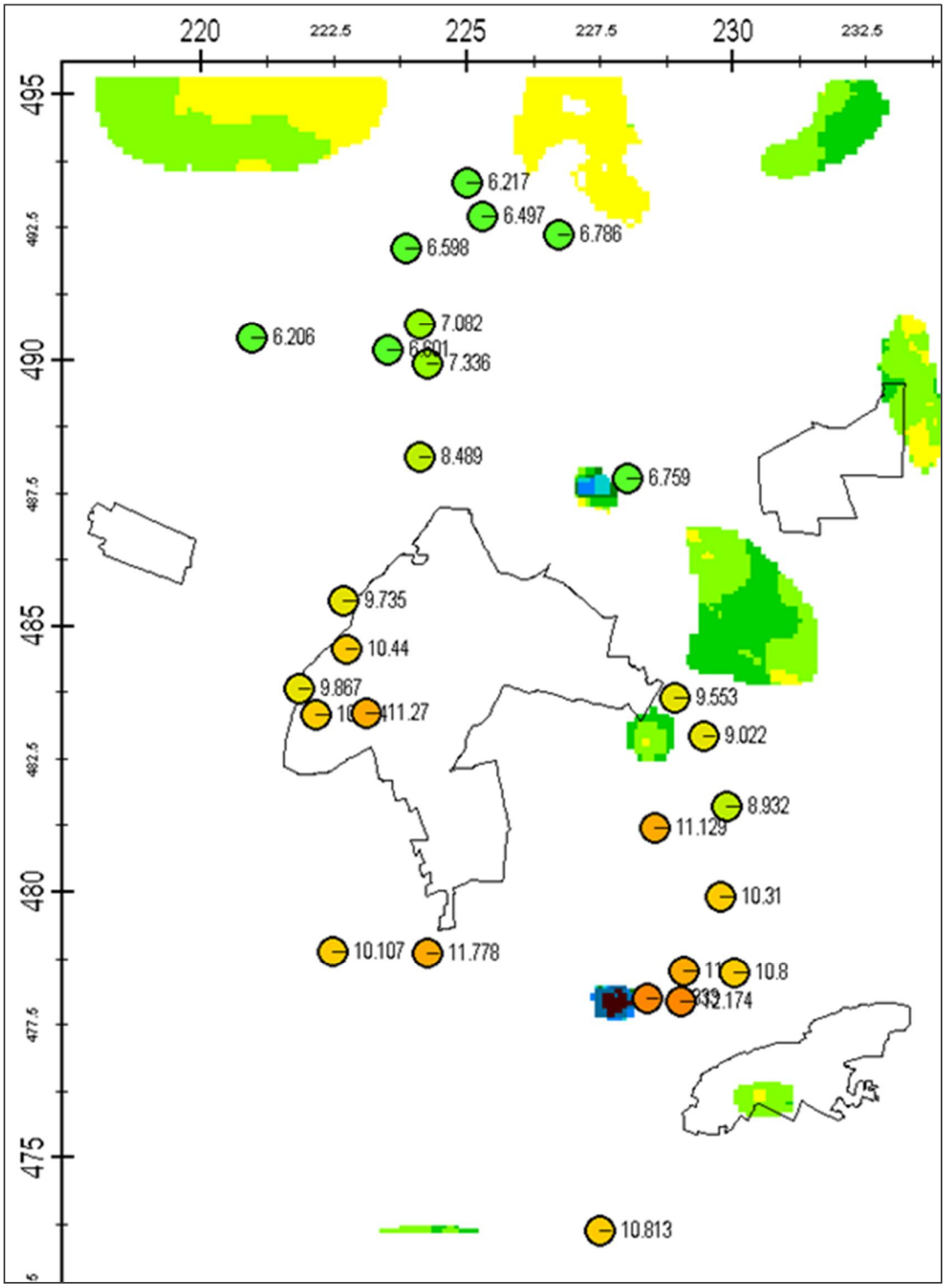
Figuur 9-21 Dynamiek peilbuizen (verschil GHG-GLG). Op achtergrond gestuwd gebied.

Deelsets peilbuizen gestuwd gebied per modellaag

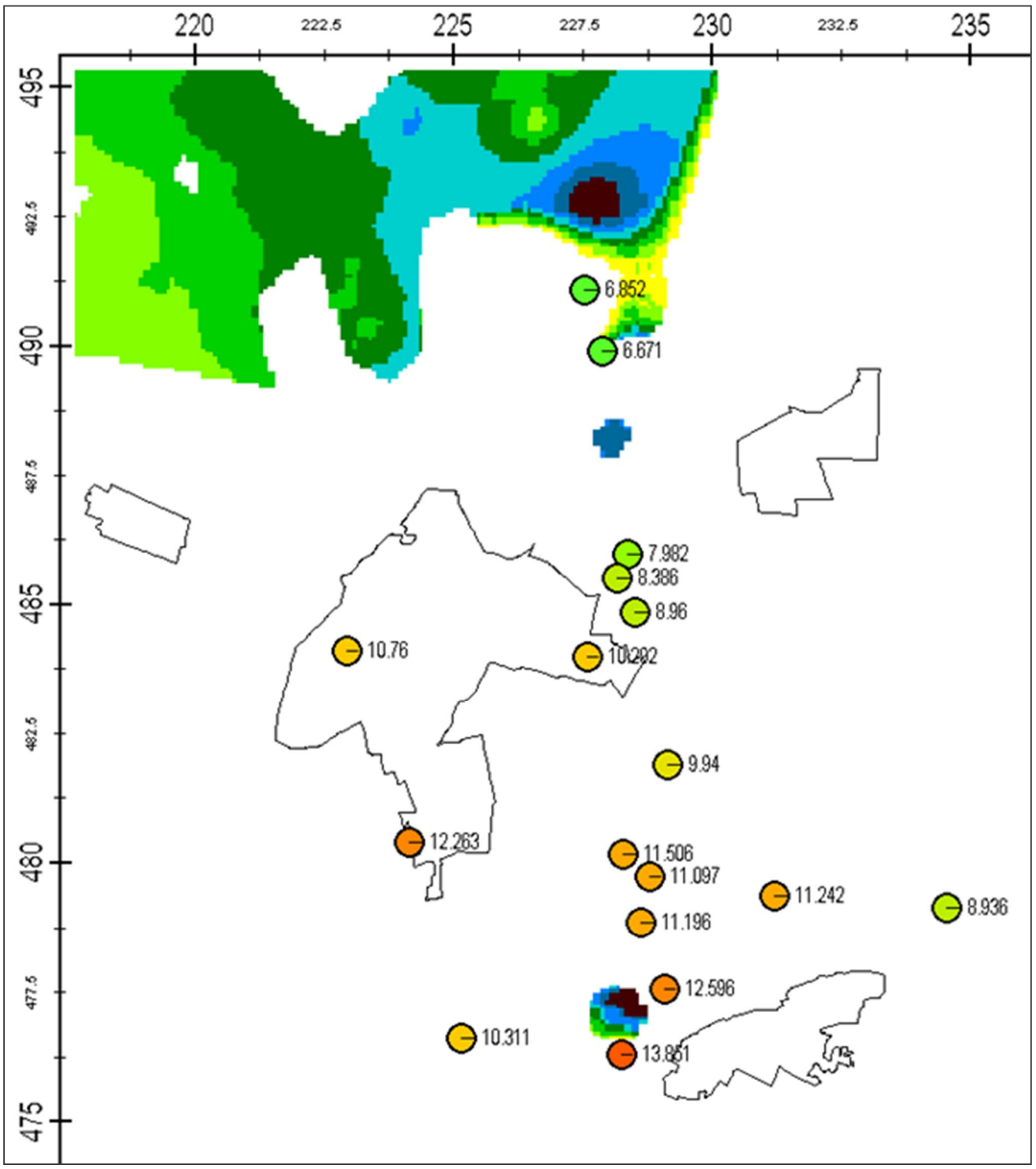
De kalibratieset is onderverdeeld in peilbuizen in en binnen circa 1 km van het gestuwde gebied van de Heuvelrug (verbreiding gestuwde afzettingen REGIS II.2) en peilbuizen die hierbuiten vallen. Hieronder volgen per aaneengesloten watervoerende pakketten de gemiddelde gemeten stijghoogten van de kalibratiebuizen binnen het gestuwde gebied (interessegebied). Op deze kaarten is aanvullend de dikte van onderliggende slecht doorlatende lagen gepresenteerd.



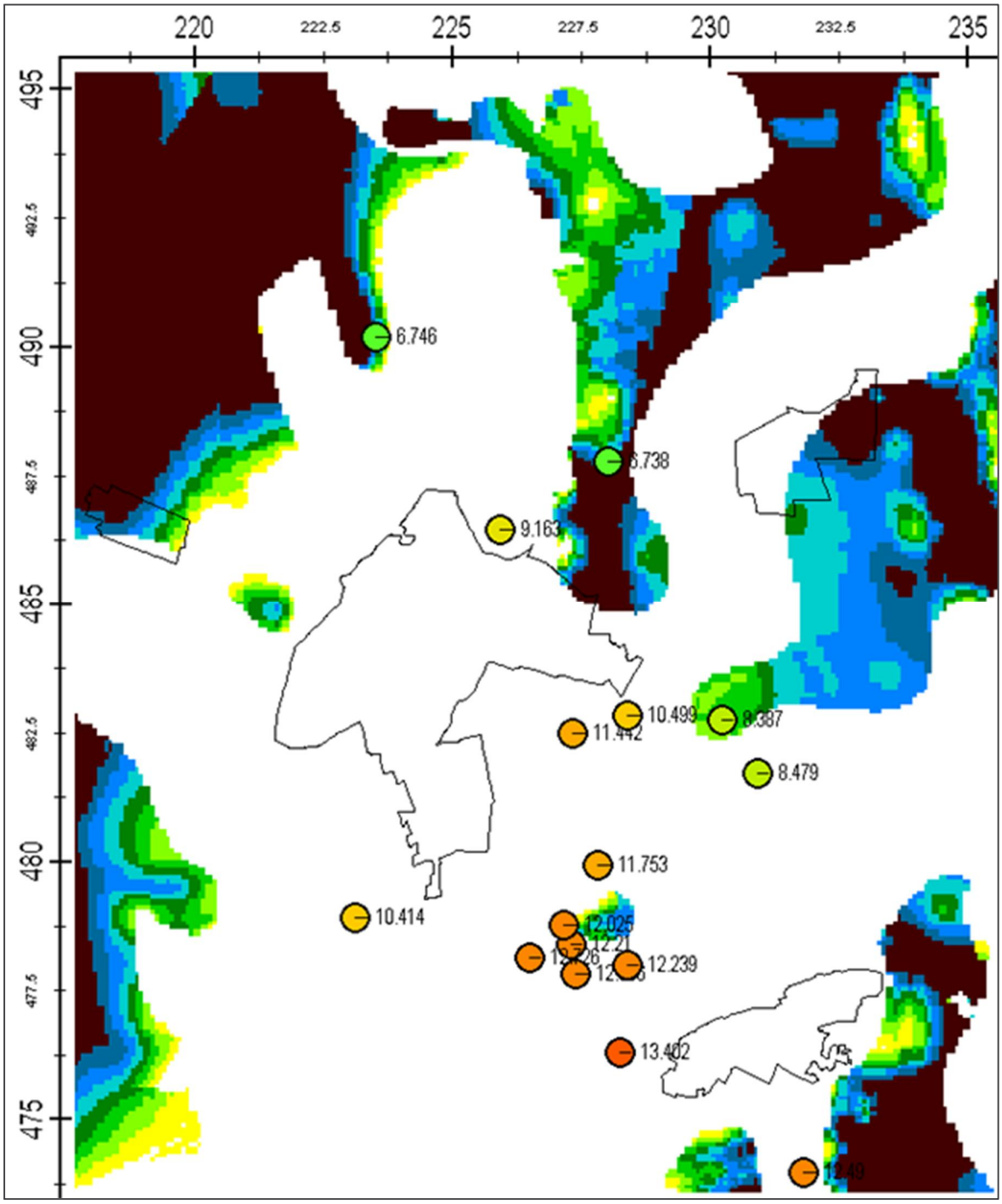
Legenda dikte slecht doorlatende lagen



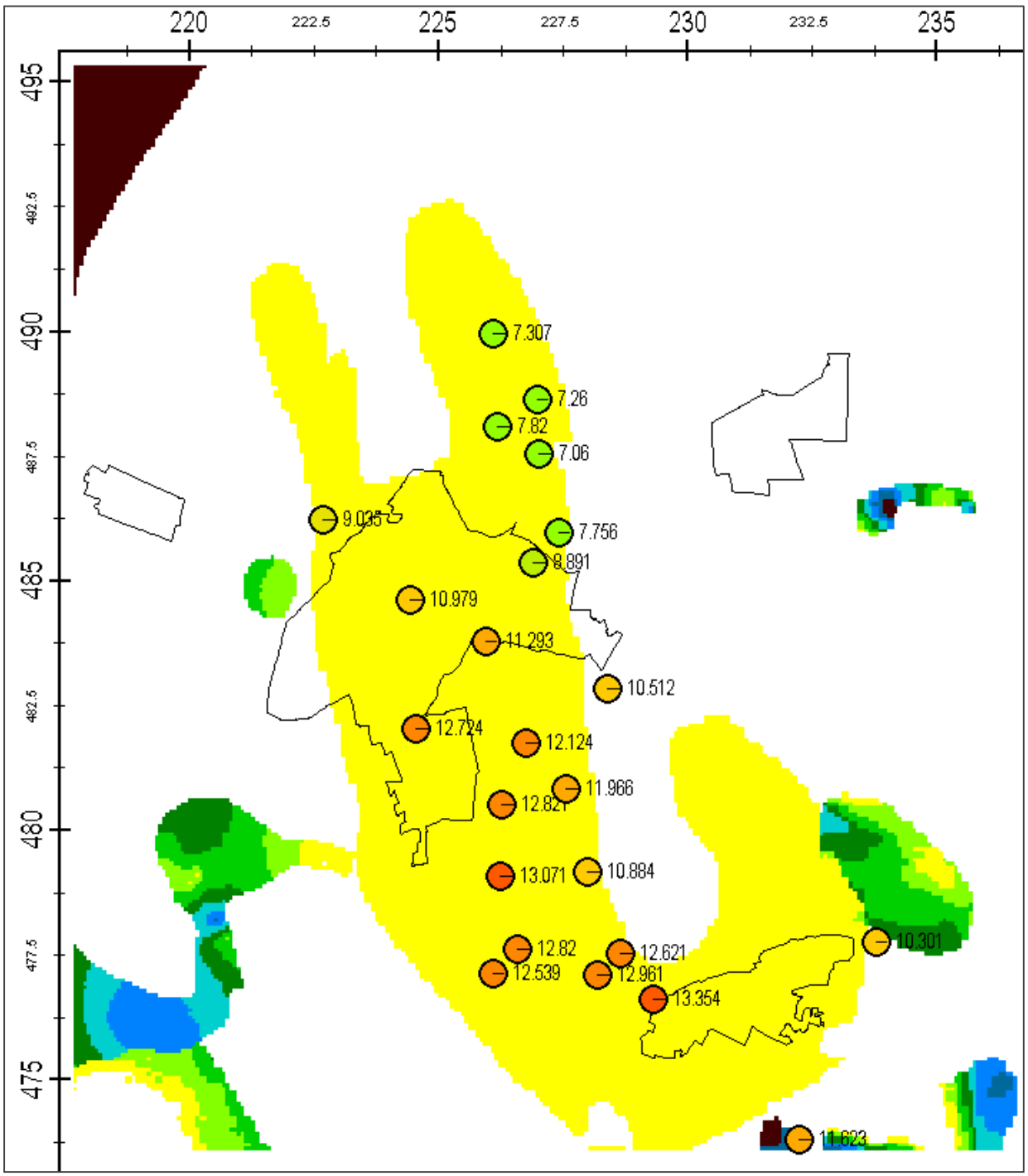
Figuur 9-22 Gemiddelde gemeten grondwaterstanden WVP1 & 2 en verbreiding SDL2.



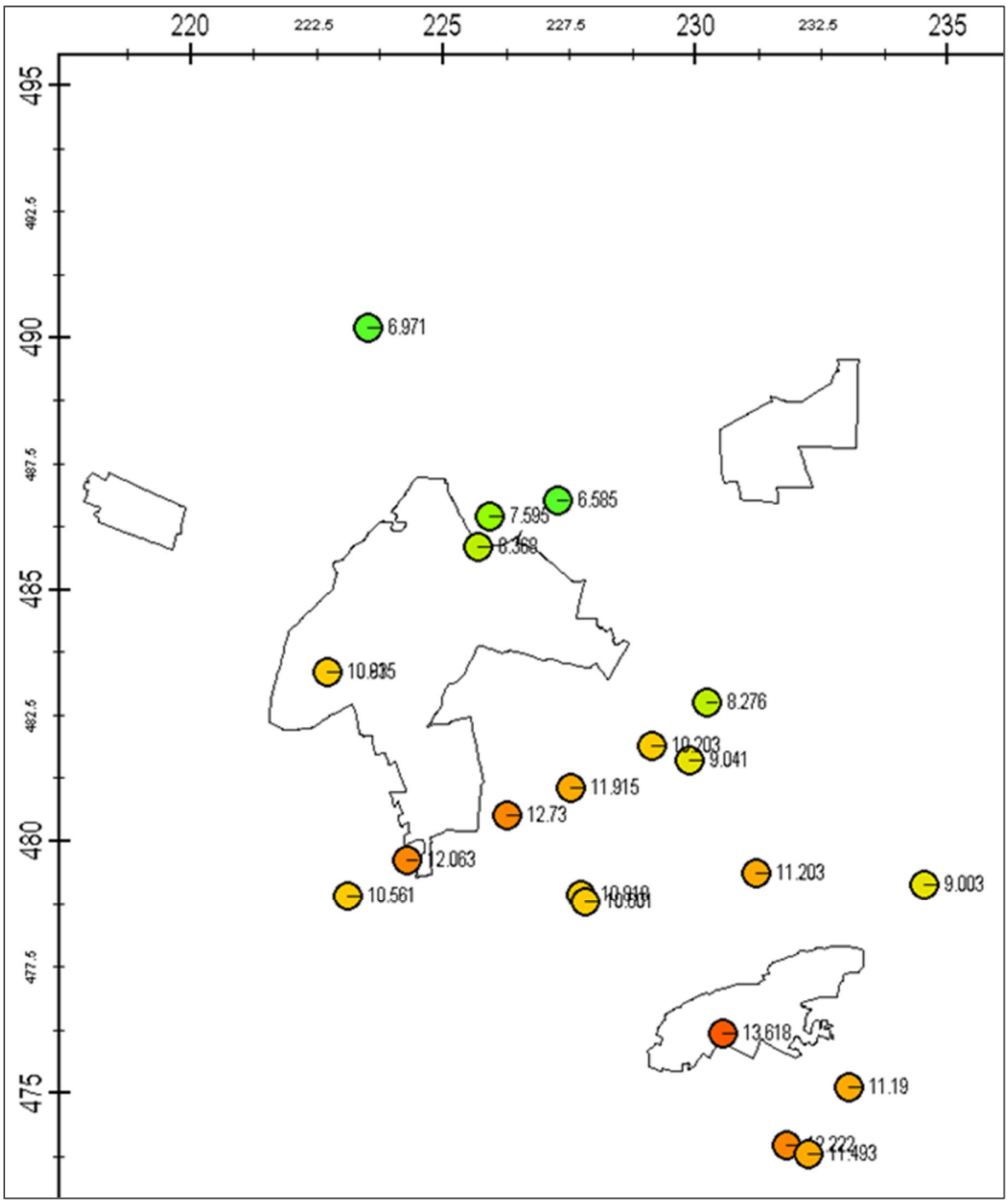
Figuur 9-23 Gemiddelde gemeten grondwaterstanden WVP3 en verbreiding SDL3.



Figuur 9-24 Gemiddelde gemeten grondwaterstanden WVP4 en verbreiding SDL4.



Figuur 9-25 Gemiddelde gemeten grondwaterstanden WVP5 en verbreiding SDL5, waaronder glijvlak stuwwal (geel).



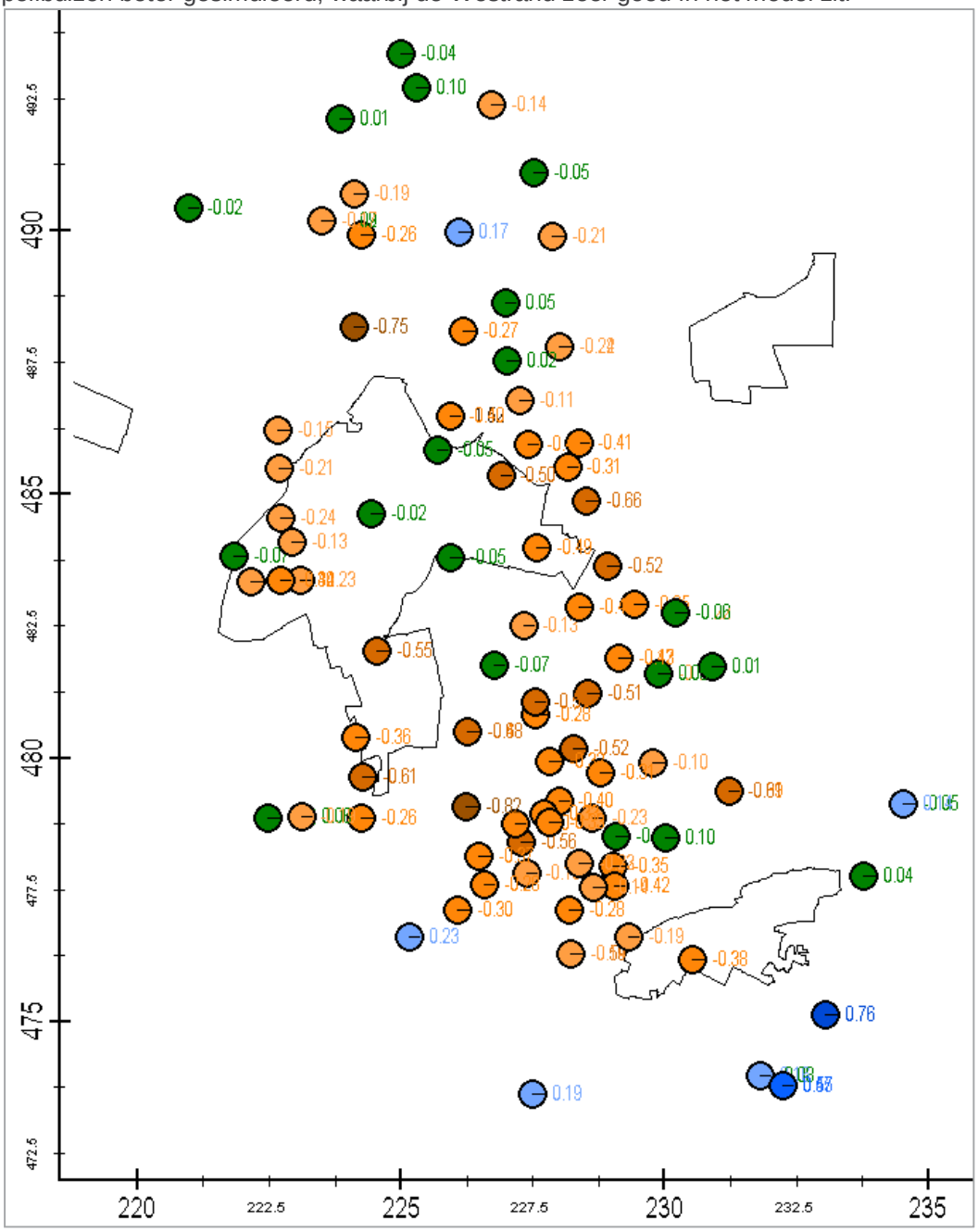
Figuur 9-26 Gemiddelde gemeten grondwaterstanden WVP6, 7, 8 & 9

Bijlage 4. Gevoeligheidsanalyses (Excel-tabel)

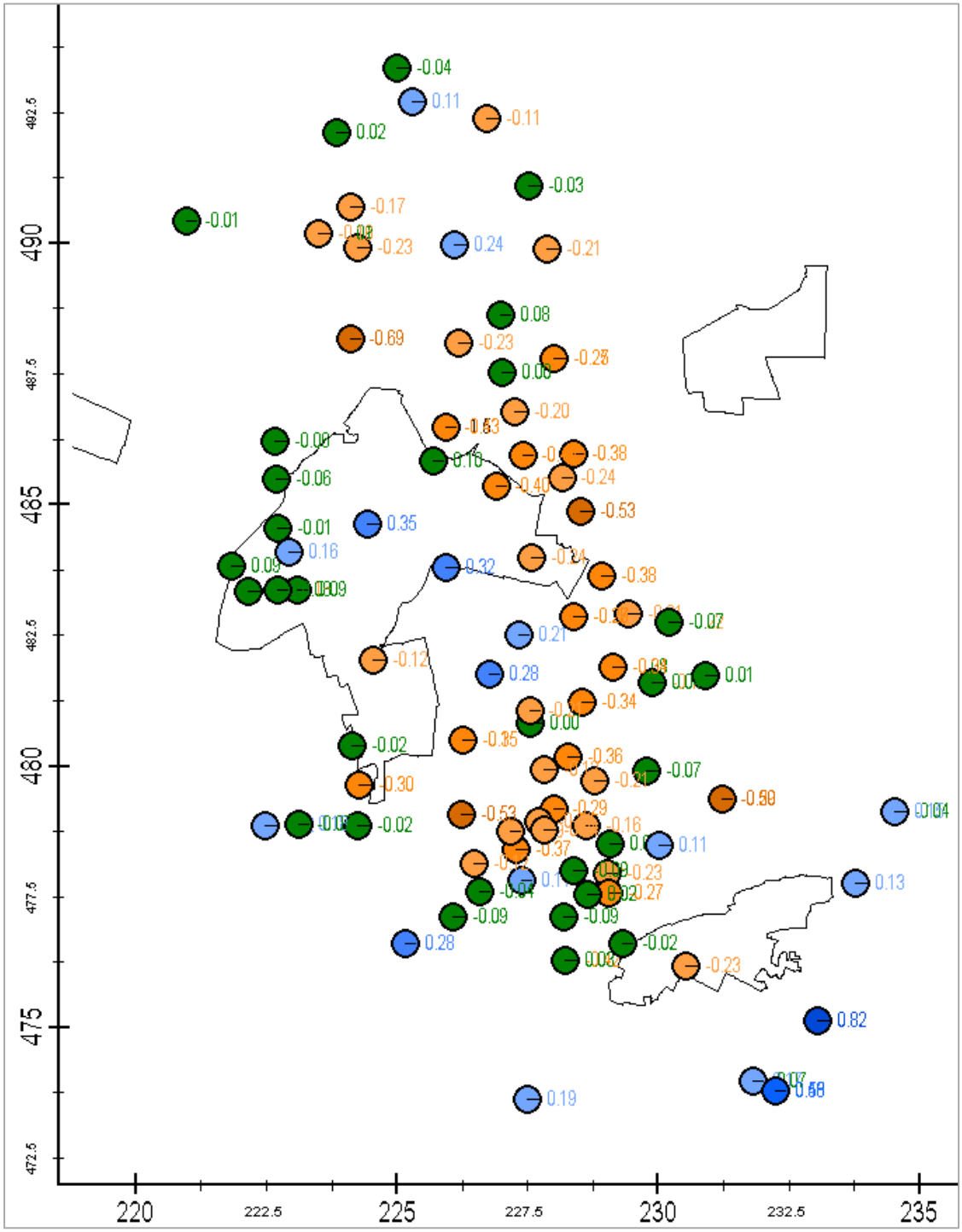
PM apart Excel bestand met statistieken

Bijlage 5. Modelresiduen definitief model Huidige situatie

Gestuwd gebied
In Figuur 9-27 en Figuur 9-28 zijn de residuen in het gestuwde gebied van beide modellen voor de huidige situatie ruimtelijk weergegeven ('HUIDIG' en 'HUIDIG_KD'). Zonder het aanpassen van het diepe doorlaatvermogen, worden de droogste peilbuizen iets beter en worden nabij het midden van het N200 gebied zelfs correcte stijghoogten gesimuleerd. Het overall beeld blijft echter te droog met name langs de oostrand, het gebied tussen de Sallandse Heuvelrug en Borkeld en de Westflank. Door het aanpassen van het diepe doorlaatvermogen worden deze peilbuizen beter gesimuleerd, waarbij de Westrand zeer goed in het model zit.



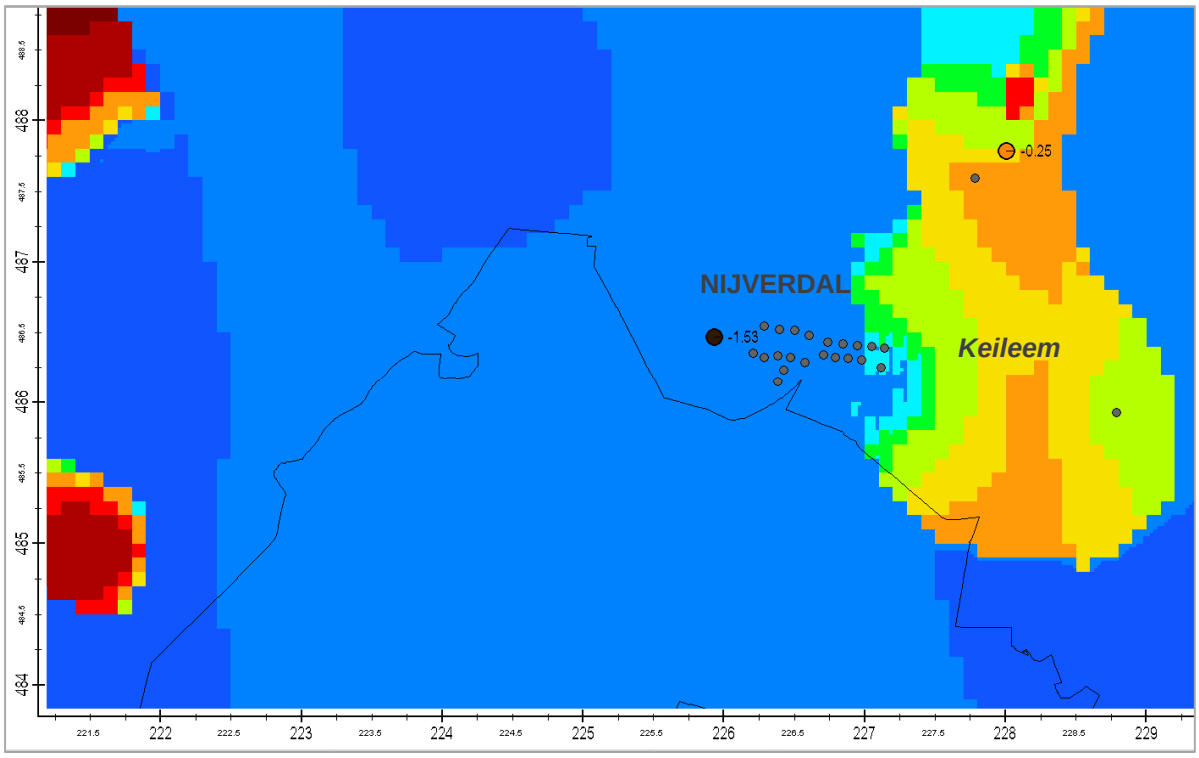
Figuur 9-27 Residuen gestuwd gebied model 'HUIDIG'



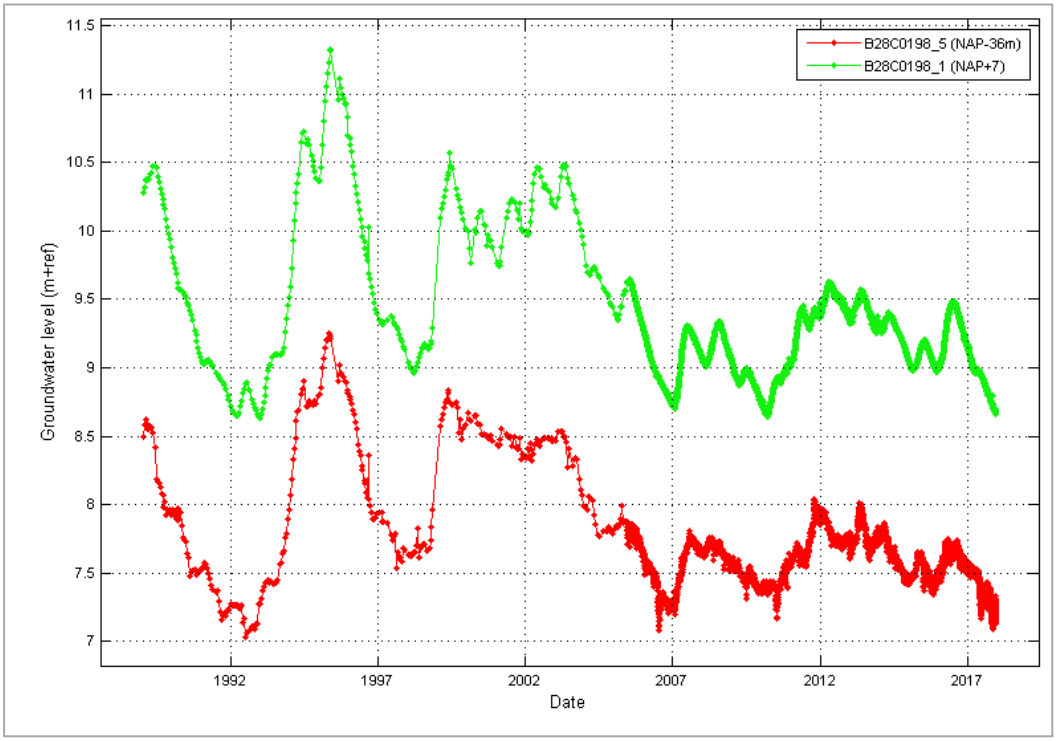
Figuur 9-28 Residuen gestuwd gebied model 'HUIDIG_KD'

Residuen overig modelgebied
Deze residuen zijn niet substantieel gewijzigd. Voor bollenkaarten zie model Basis4, in rapport.

Lokale afwijking bij Nijverdal
Ter hoogte van peilbuis B28C0198, iets ten westen van winning Nijverdal, is er sprake van een duidelijke uitschieter. Het ondiepe watervoerend pakket (WVP4) is hier circa 1,5 m te droog. Uit bestudering van de meetreeksen blijkt dat er een weerstand aanwezig moet zijn tussen het ondiepe en diepe filter. Deze is niet in het model opgenomen. Ten oosten van de peilbuis is wel keileem aanwezig (SDL4).



Figuur 9-29 Lokale afwijking model nabij winning Nijverdal.

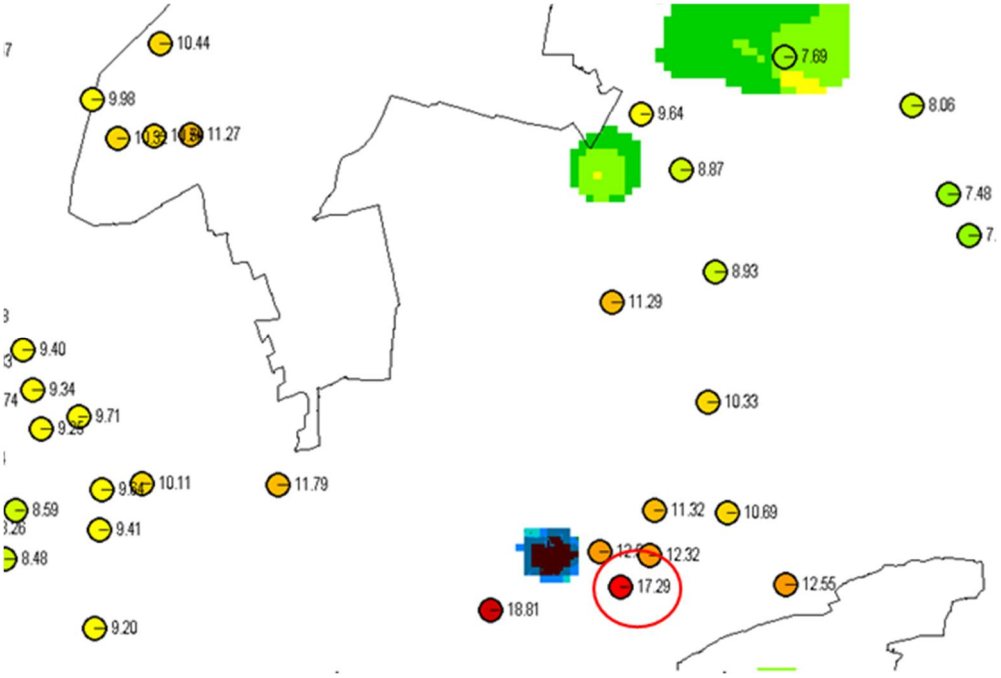


Figuur 9-30 Meetreeksen peilbuis B28C0198

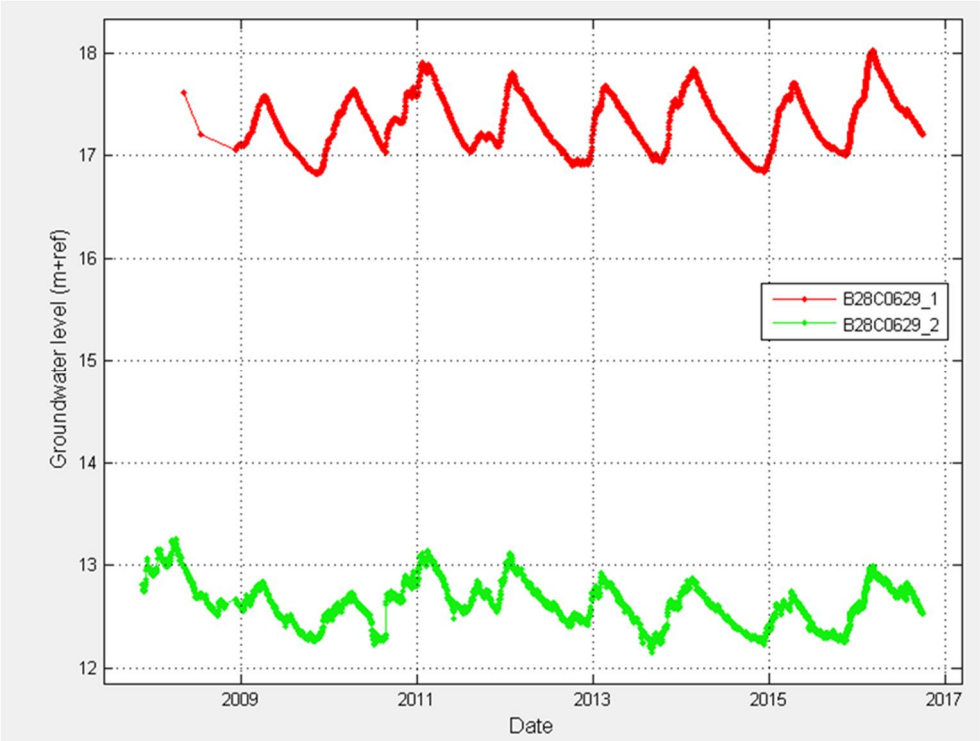
Lokale afwijkingen bij Borkeld

Een vergelijkbare situatie doet zich voor in een gebied ten zuidoosten van de Sallandse Heuvelrug, tussen Borkeld en Holten. De stijghoogten in de ondiepe modellagen vertonen hier een sprong van meerdere meters, duidend op een hoge verticale stromingsweerstand, zie Figuur 9-31 en Figuur 9-32.

In REGIS is in dit gebied heel lokaal ook een kleilaag geschematiseerd. Deze loopt echter niet door tot de locatie van de twee peilbuizen.



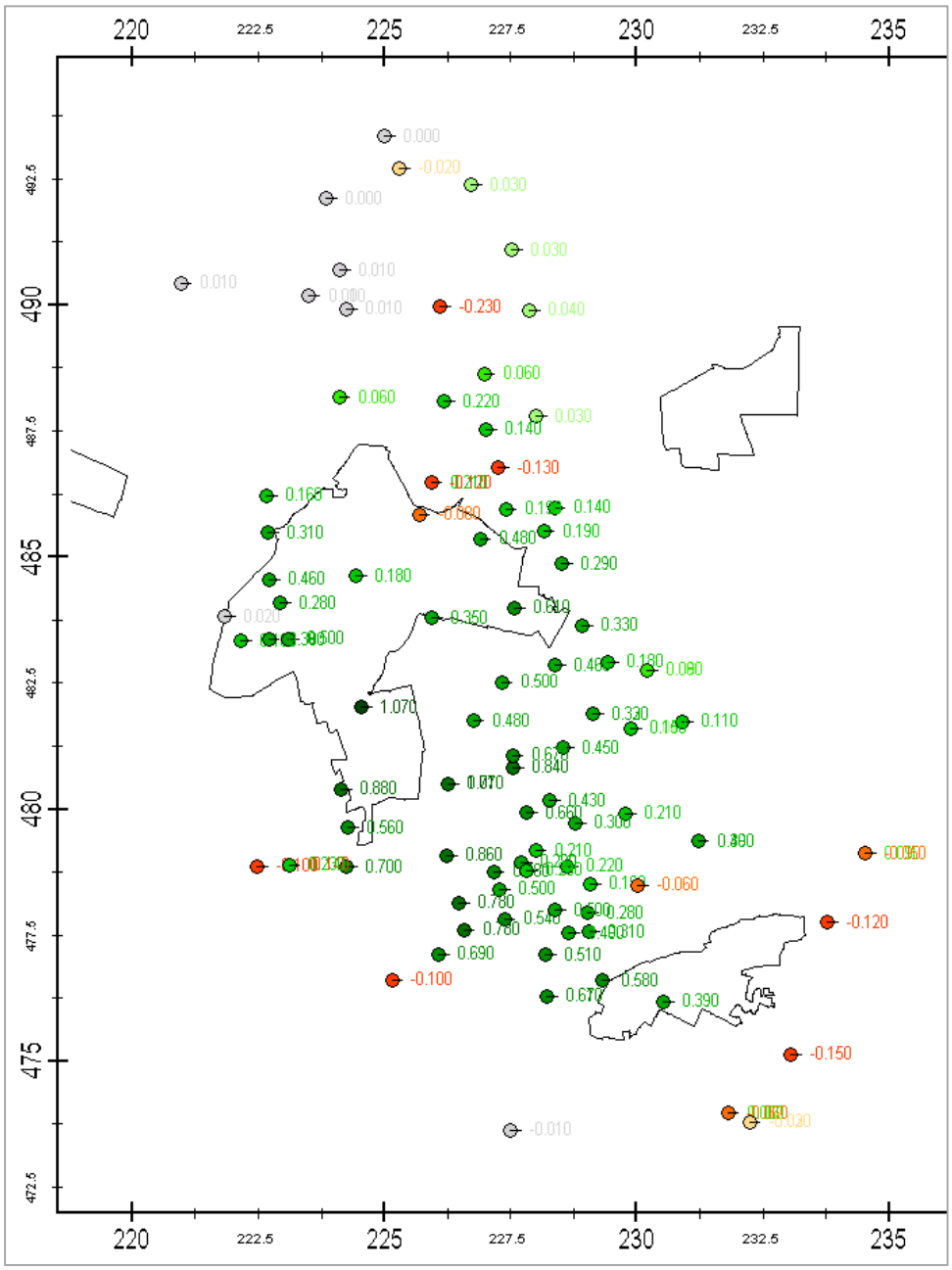
Figuur 9-31: Afwijkende stijghoogten ondiepe modellagen Borkeld



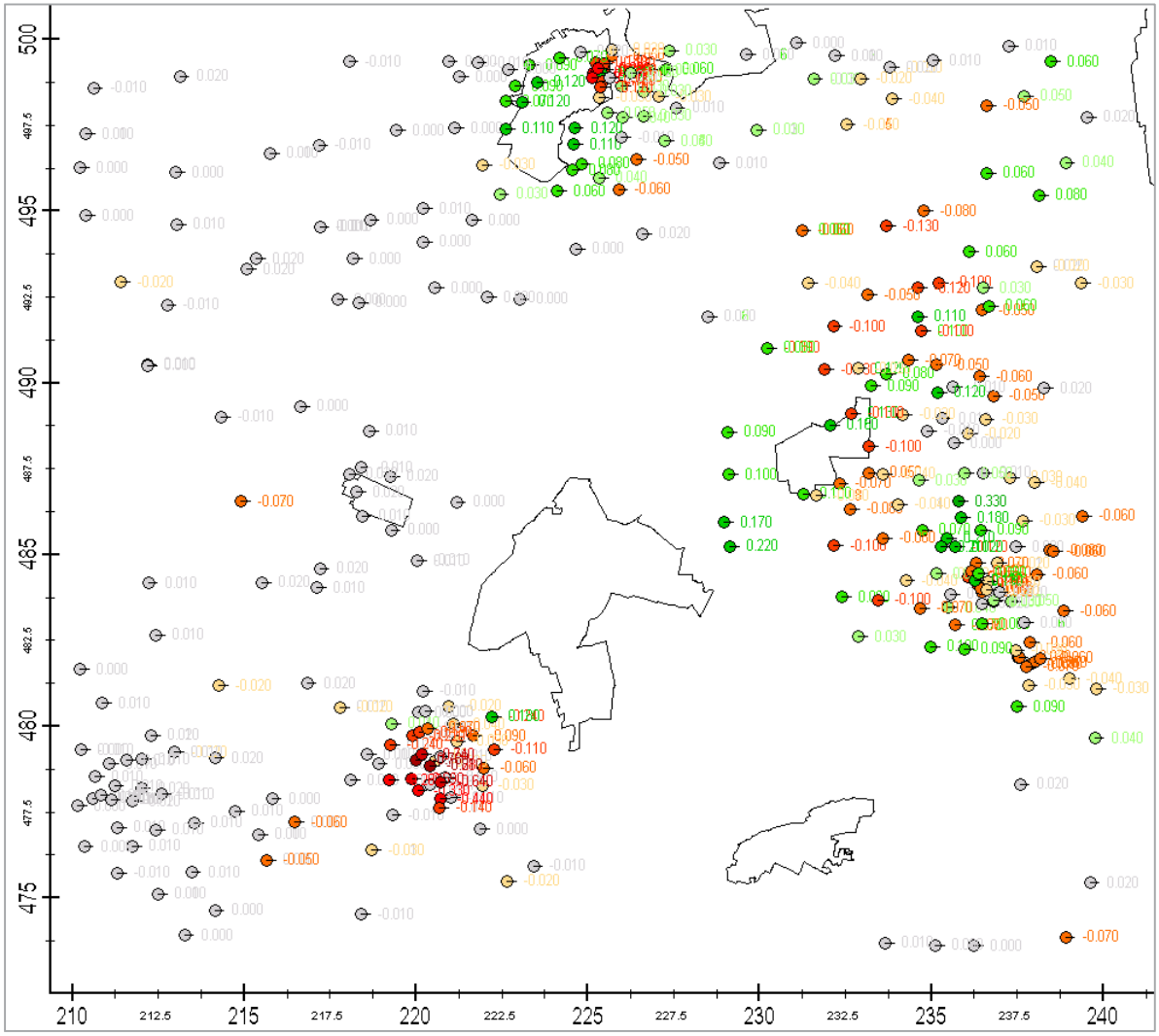
Figuur 9-32 Afwijkende stijghoogten ondiepe modellagen Borkeld. Filter 1 heeft een onderkant buis op NAP +15m; filter 2 bevindt zich op NAP -5m

Verschil in absolute residuen

Voor het best presterende model voor het interessegebied (model 'HUIDIG_KD') zijn de verschillen in absolute residuen ten opzichte van model HUIDIG weergegeven in Figuur 9-33 en Figuur 9-34. Hieruit blijkt nogmaals de gerealiseerde modelverbeteringen ter hoogte van het gestuwde gebied van de Sallandse Heuvelrug. Echter, vooral langs de zuidrand en rondom Espelose Broek bevinden zich een aantal peilbuizen waar het model het minder goed is gaan doen.



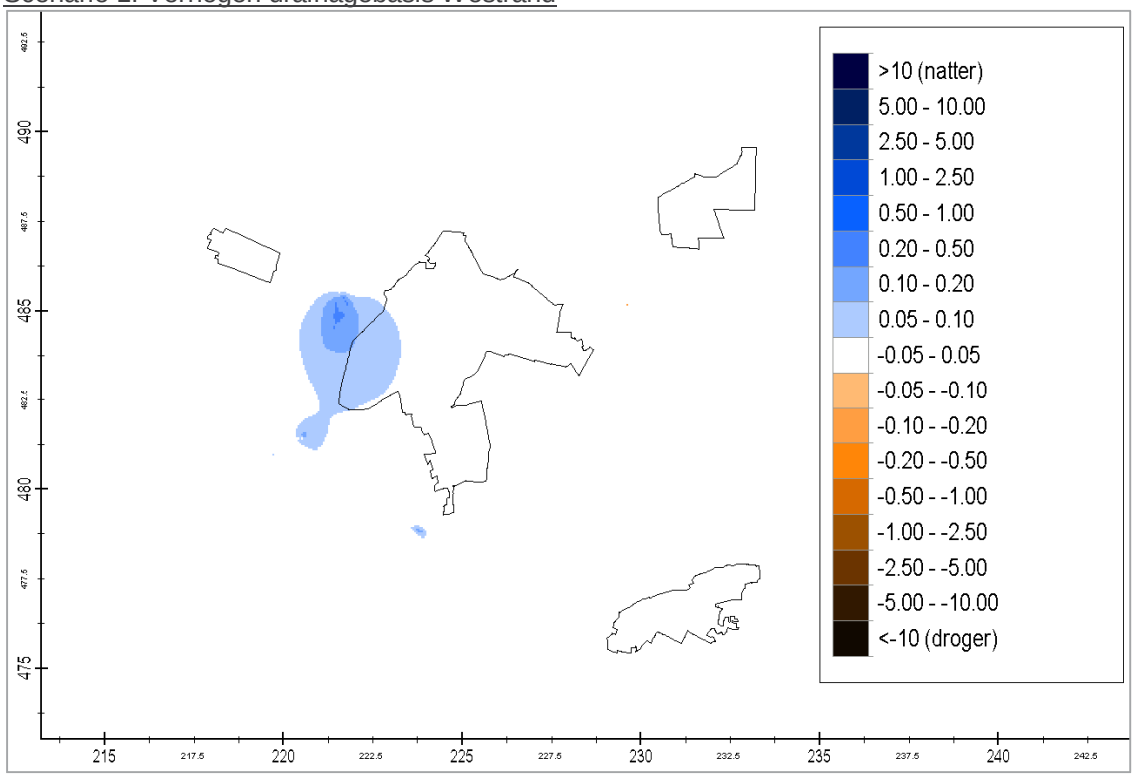
Figuur 9-33 Verschil in absolute residuen model 'HUIDIG_KD' ten opzichte van model HUIDIG gestuwd gebied. (Groen=residu model 'huidig Kd' is kleiner dan model 'huidig'/ Rood= residu wordt groter)



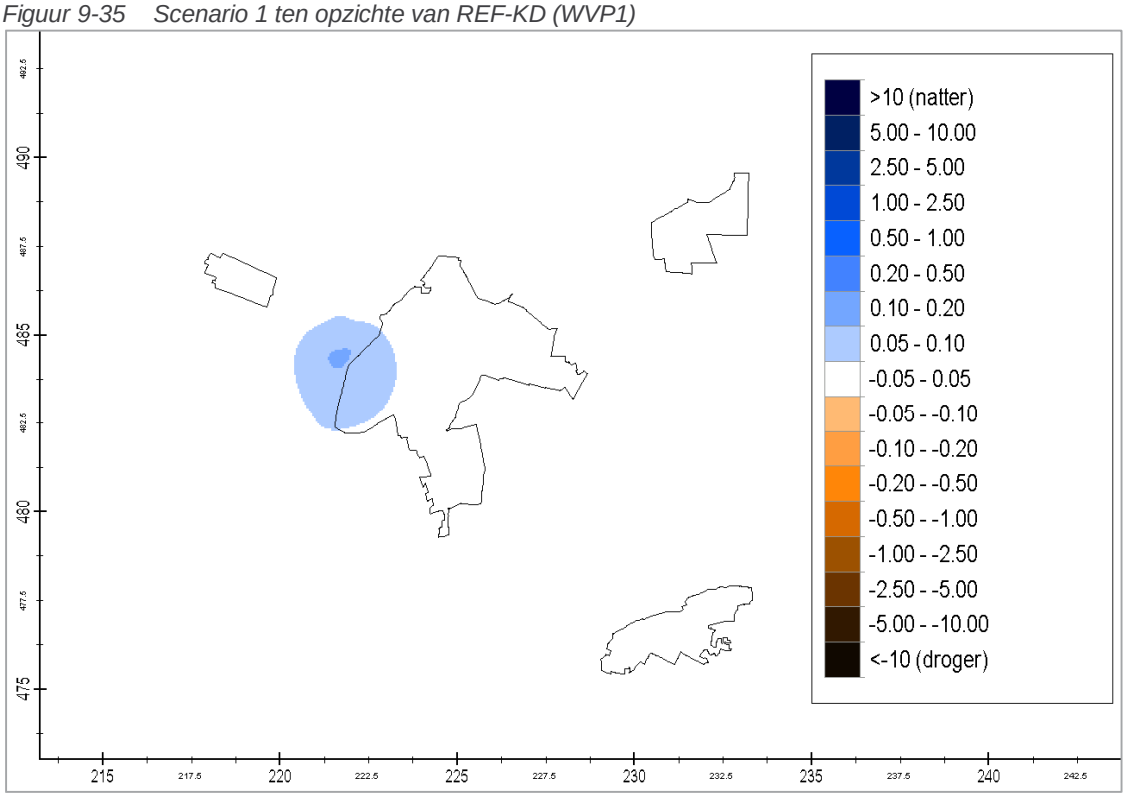
Figuur 9-34 Verschil in absolute residuen model 'HUIDIG_KD' ten opzichte van model HUIDIG buiten gestuwd gebied

Bijlage 6. Effecten verkennende scenario's

Scenario 1: Verhogen drainagebasis Westrand

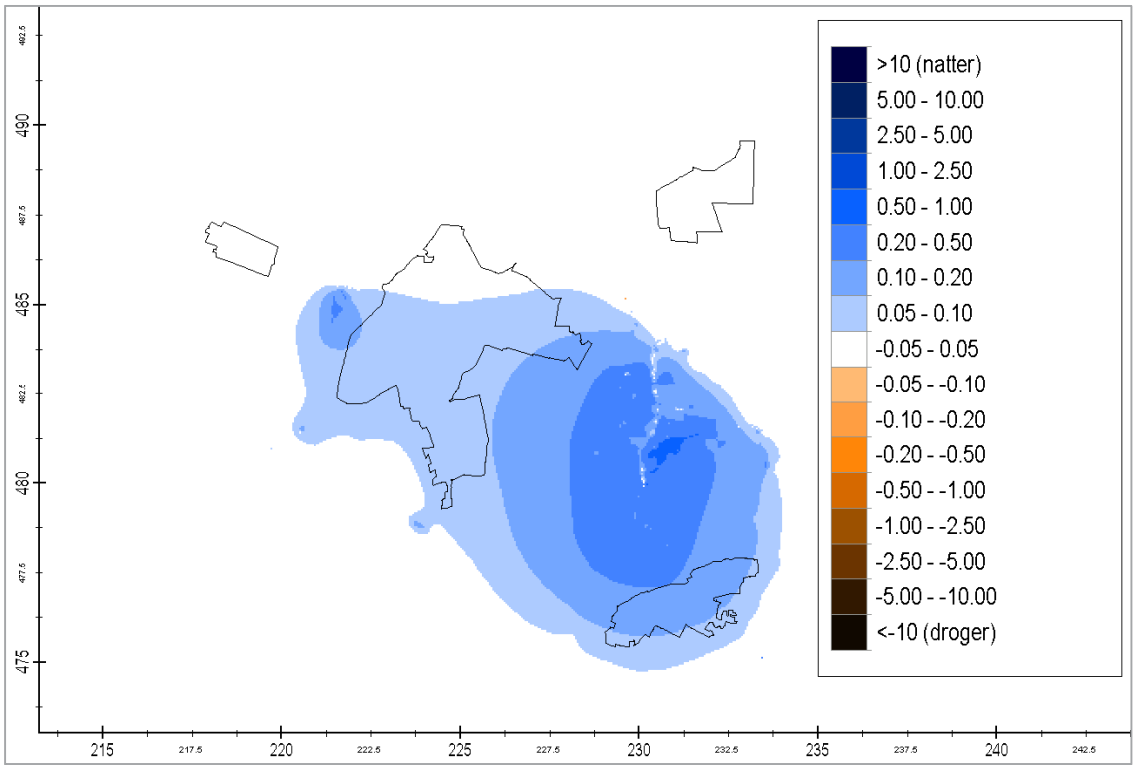


Figuur 9-35 Scenario 1 ten opzichte van REF-KD (WVP1)

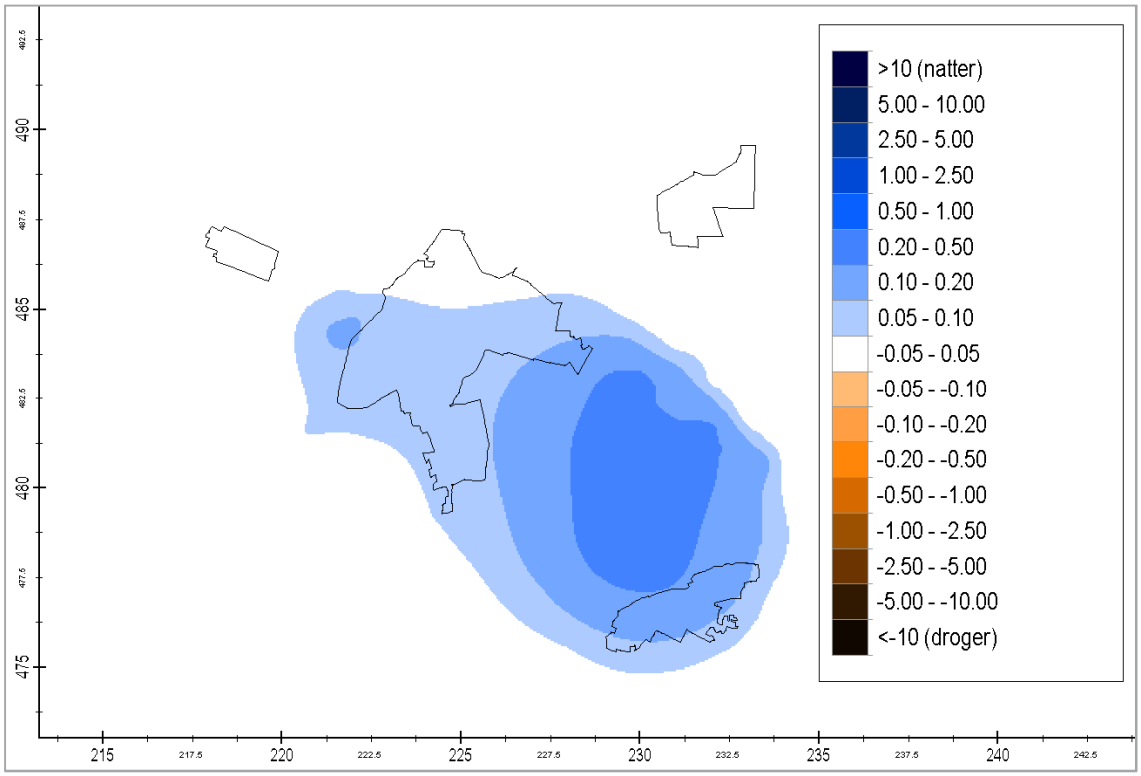


Figuur 9-36 Scenario 1 ten opzichte van REF-KD (WVP8)

Scenario 2: Verhogen drainagebasis oost en west

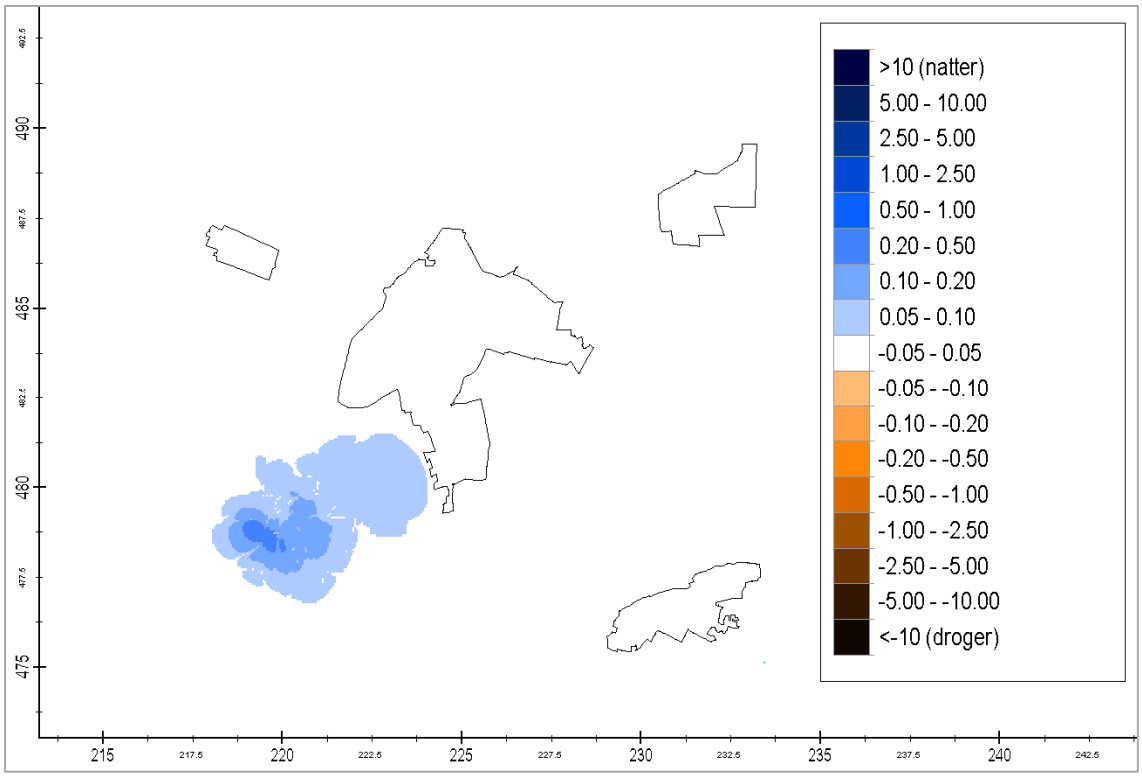


Figuur 9-37: Scenario 2 t.o.v. REF-KD (WVP1)

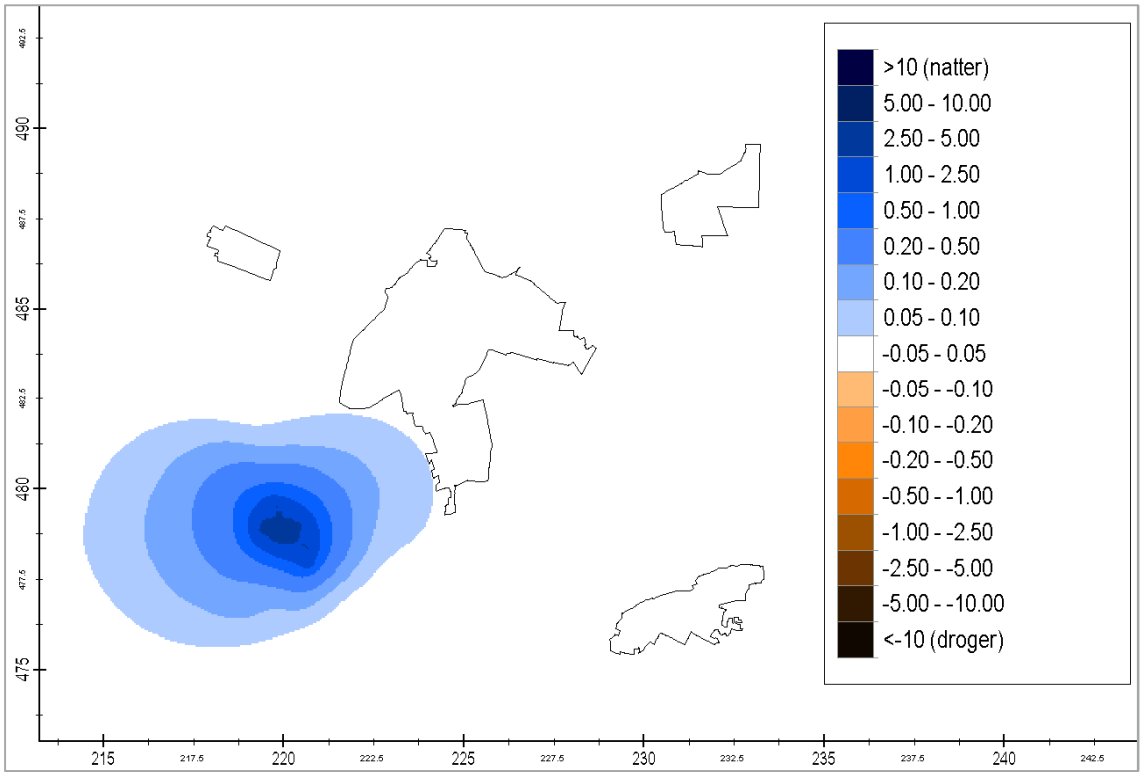


Figuur 9-38 Scenario 2 ten opzcichte van REF-KD (WVP8)

Scenario 3: Uitzetten winning Espelose Broek (4,3 Mm3/j)

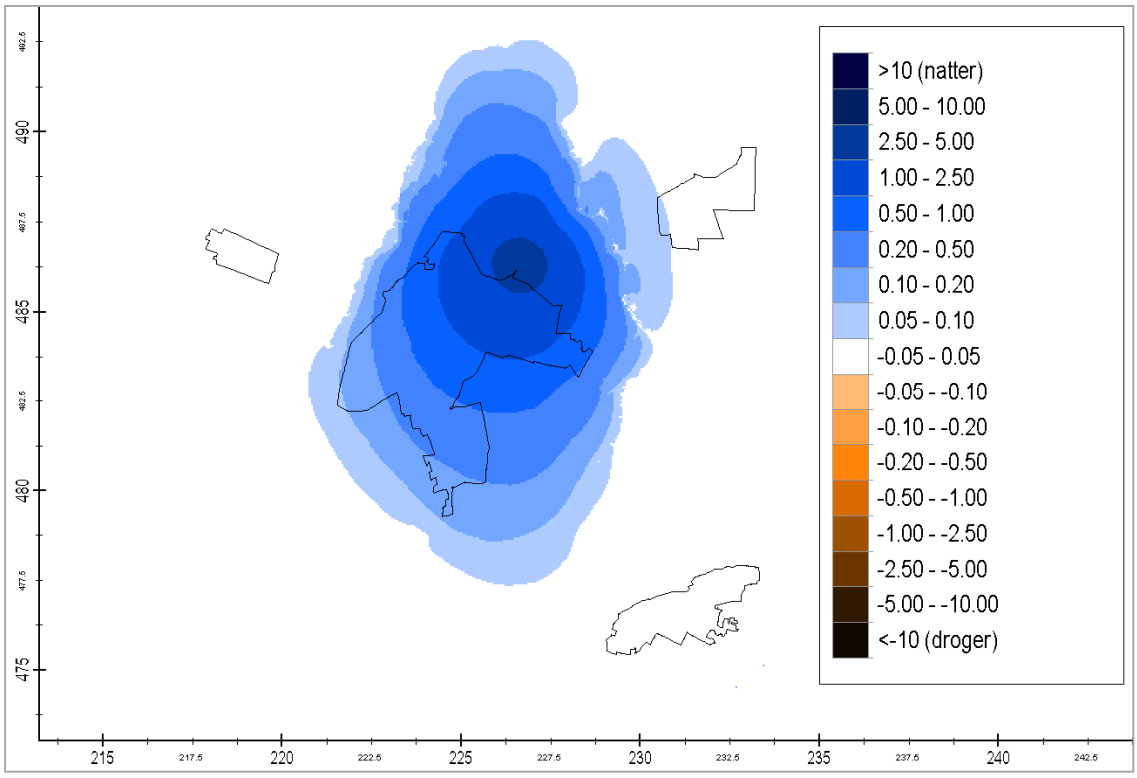


Figuur 9-39 Scenario 3 ten opzichte van REF-KD (WVP1)

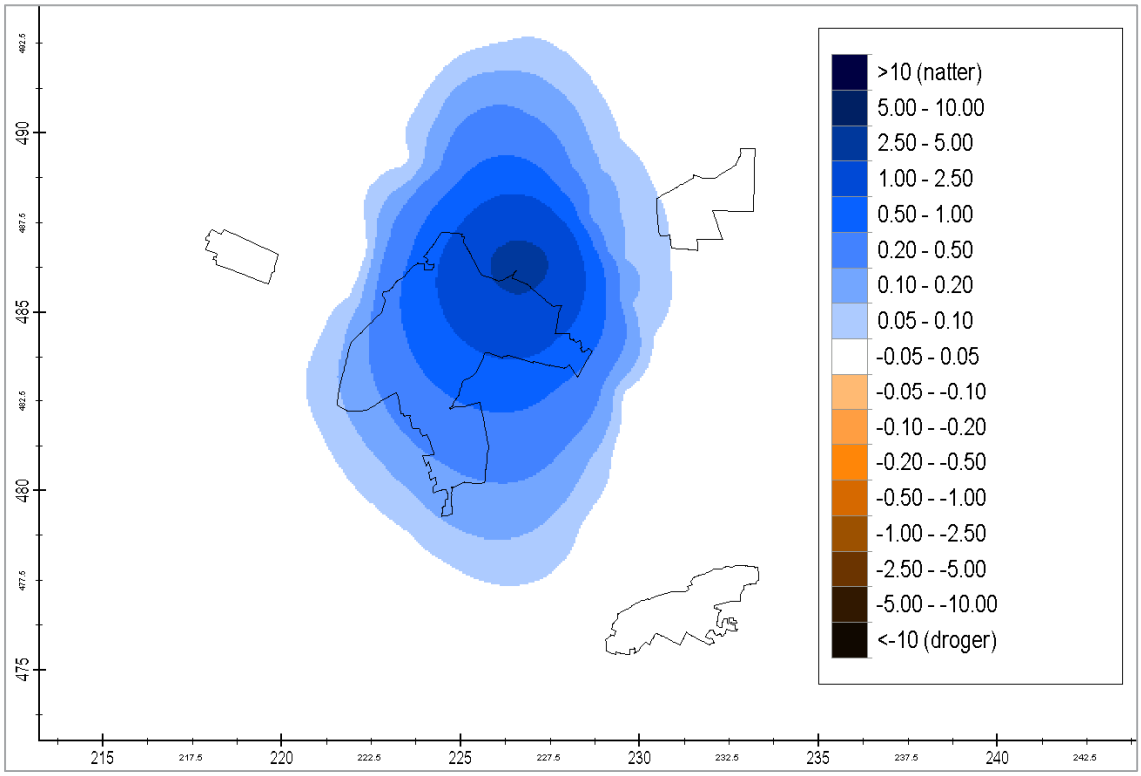


Figuur 9-40 Scenario 3 ten opzichte van REF-KD (WVP8)

Scenario 4: Uitzetten winning Nijverdal (5,7 Mm3/j)

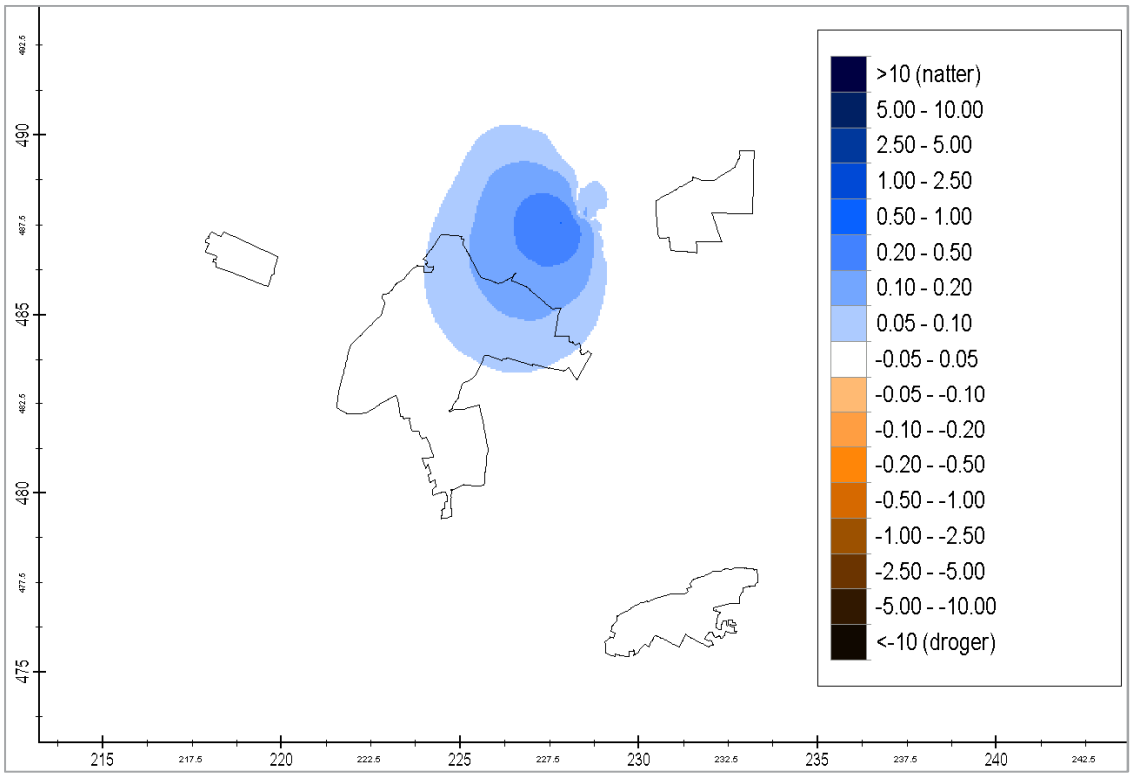


Figuur 9-41 Scenario 4 ten opzichte van REF-KD (WVP1)

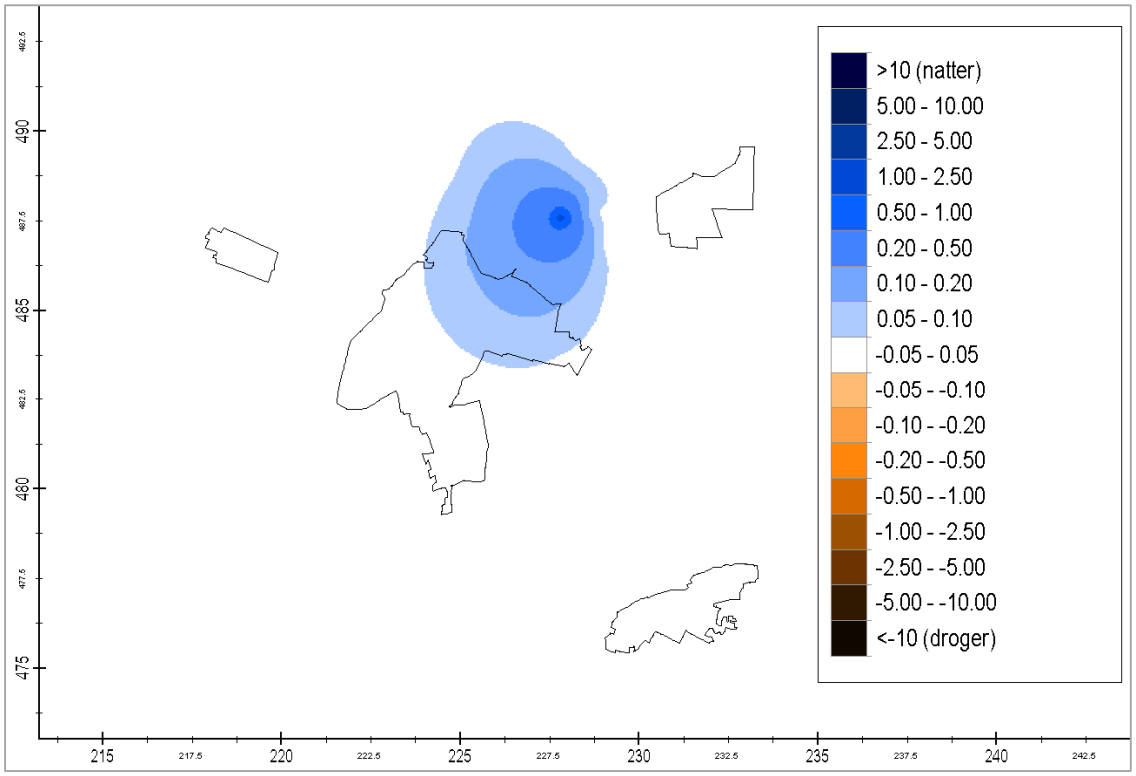


Figuur 9-42 Scenario 4 ten opzichte van REF-KD (WVP8)

Scenario 5: Uitzetten winning Ten Cate (1Mm3/j)

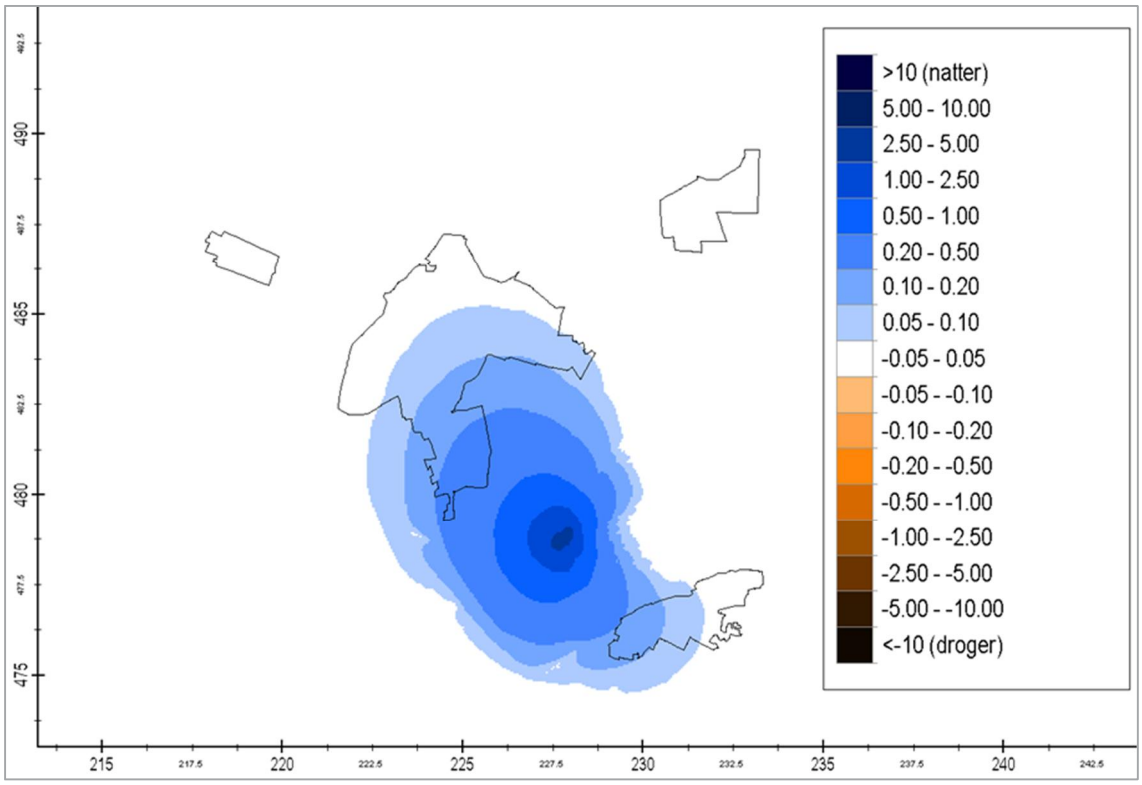


Figuur 9-43 Scenario 5 ten opzichte van REF-KD (WVP1)

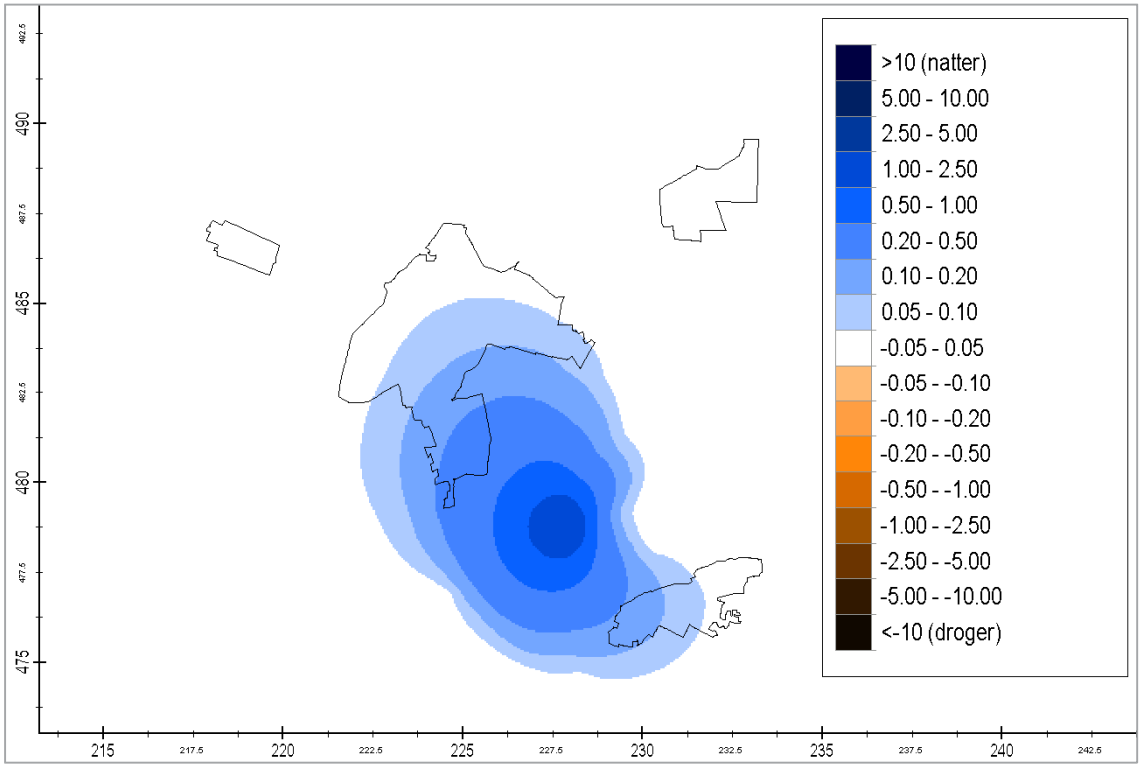


Figuur 9-44 Scenario 5 ten opzichte van REF-KD (WVP8)

Scenario 6: Uitzetten winning Holten (2,4 Mm3/j)

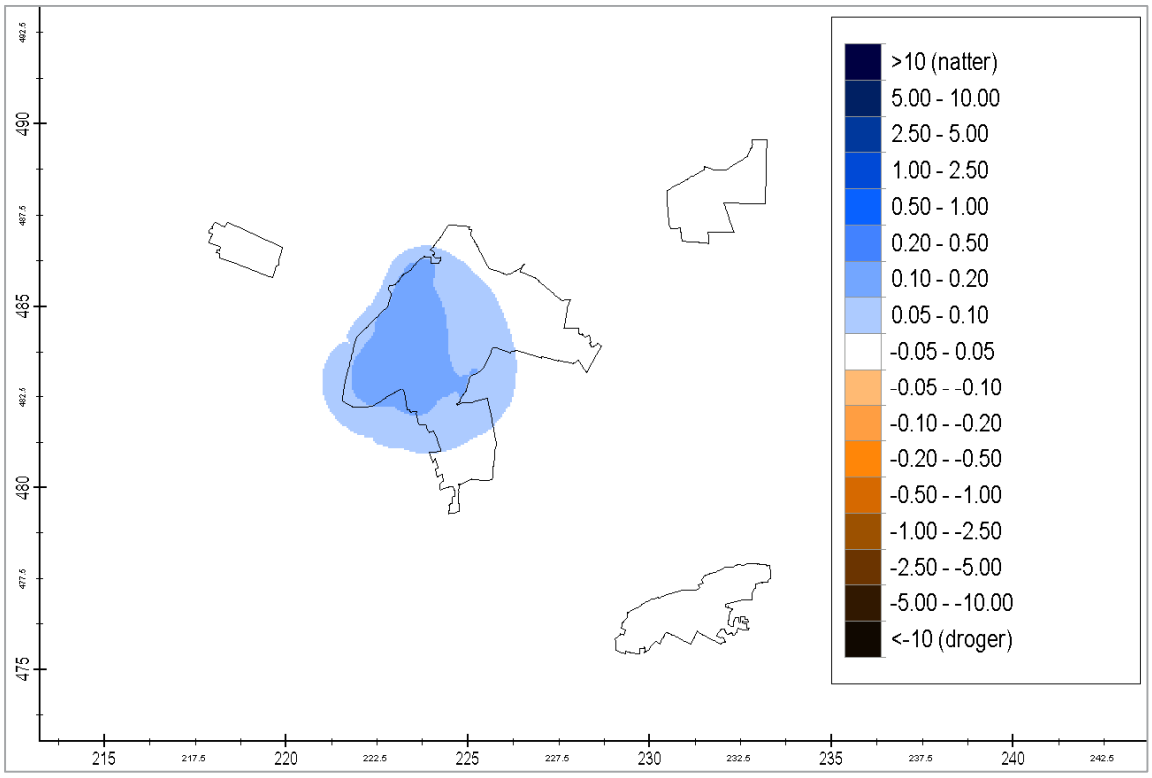


Figuur 9-45 Scenario 6 ten opzichte van REF-KD (WVP1)

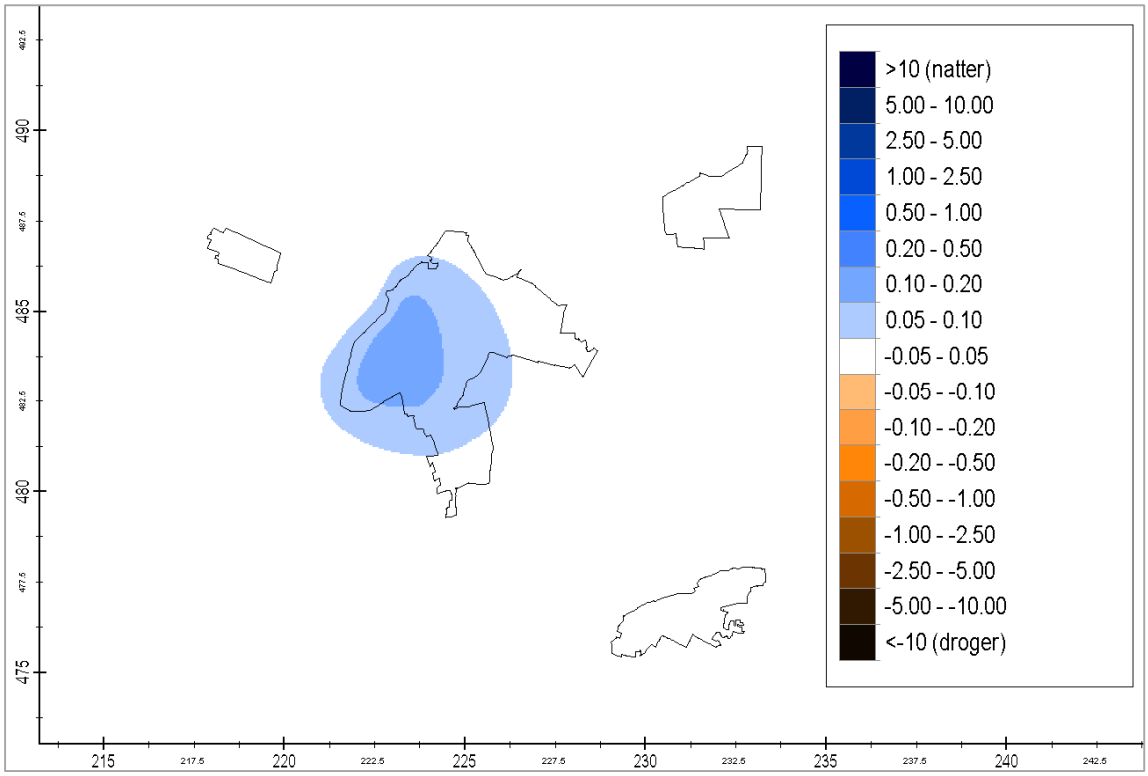


Figuur 9-46 Scenario 6 ten opzichte van REF-KD (WVP8)

Scenario 7: Omvormen bos (aanname +100 mm/j)

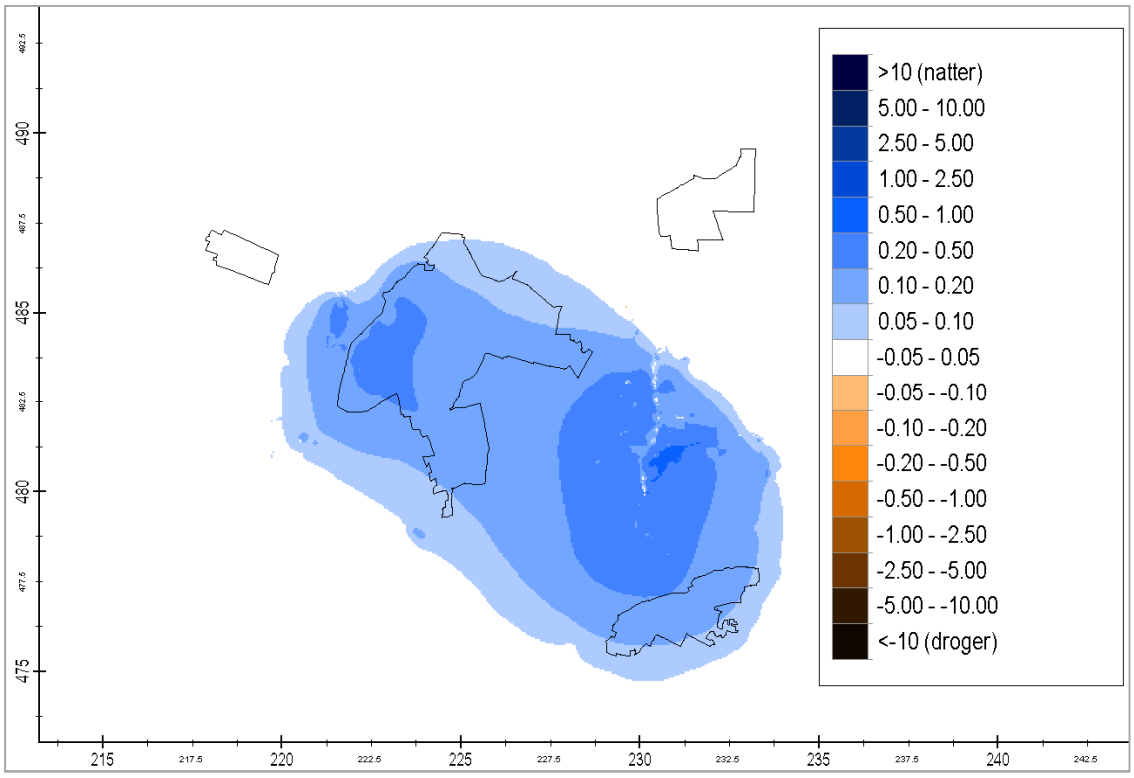


Figuur 9-47 Scenario 7 ten opzichte van REF-KD (WVP1)

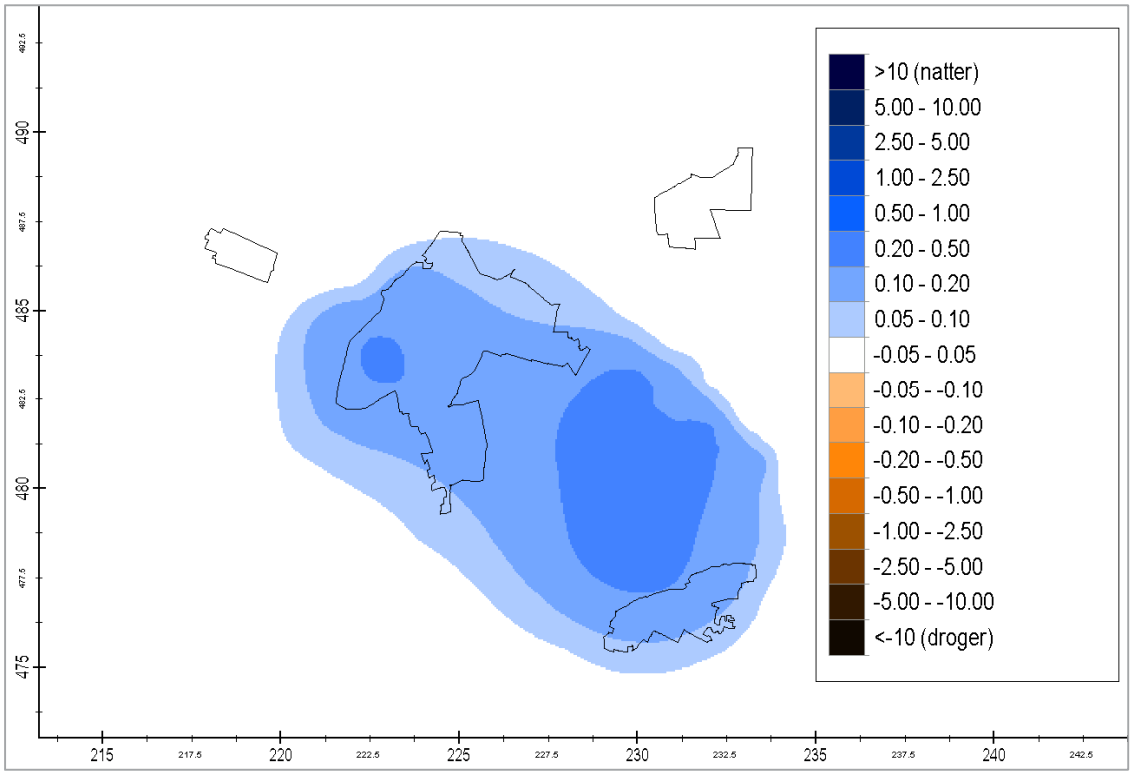


Figuur 9-48 Scenario 7 ten opzichte van REF-KD (WVP8)

Scenario 8: Maatregelen niet-winningen

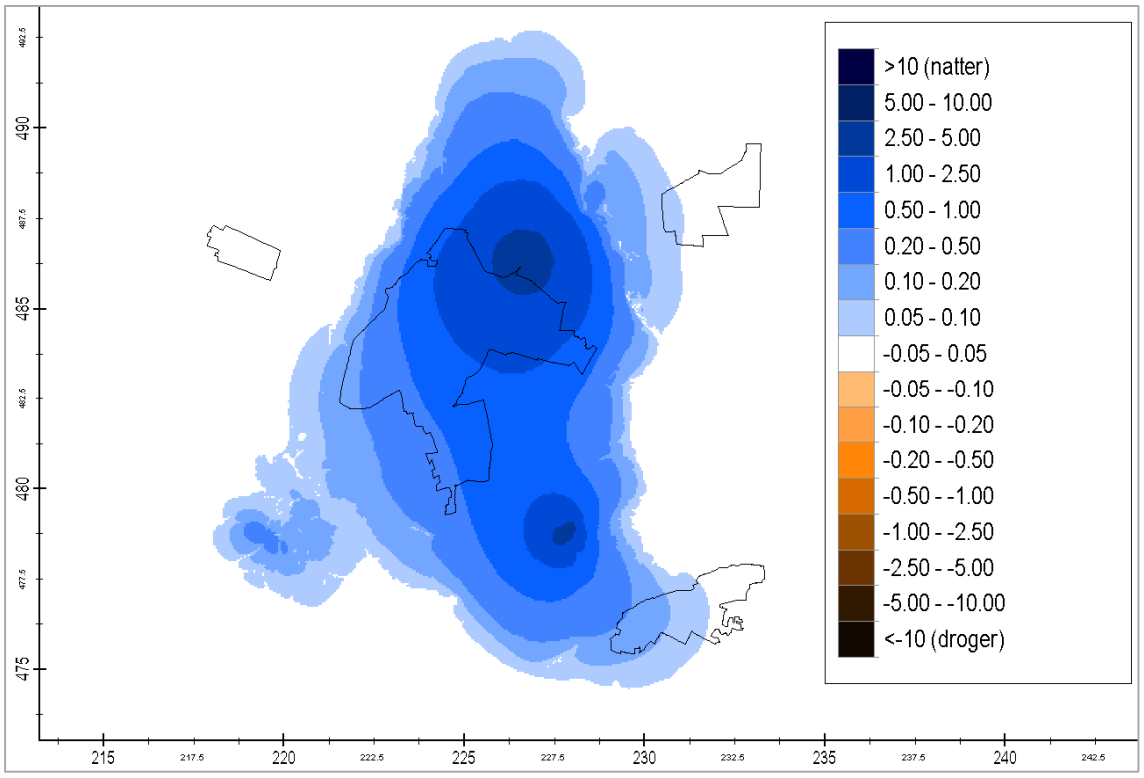


Figuur 9-49 Scenario 8 ten opzichte van REF-KD (WVP1)

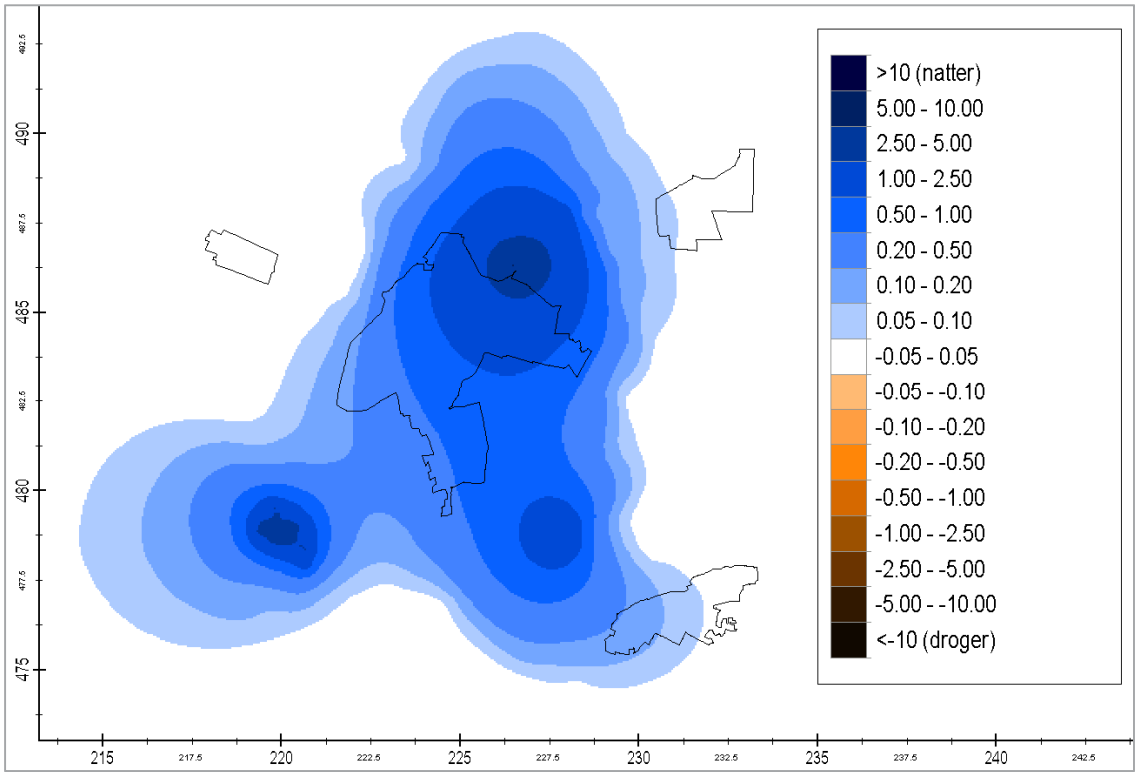


Figuur 9-50 Scenario 8 ten opzichte van REF-KD (WVP8)

Scenario 9: Maatregelen winningen

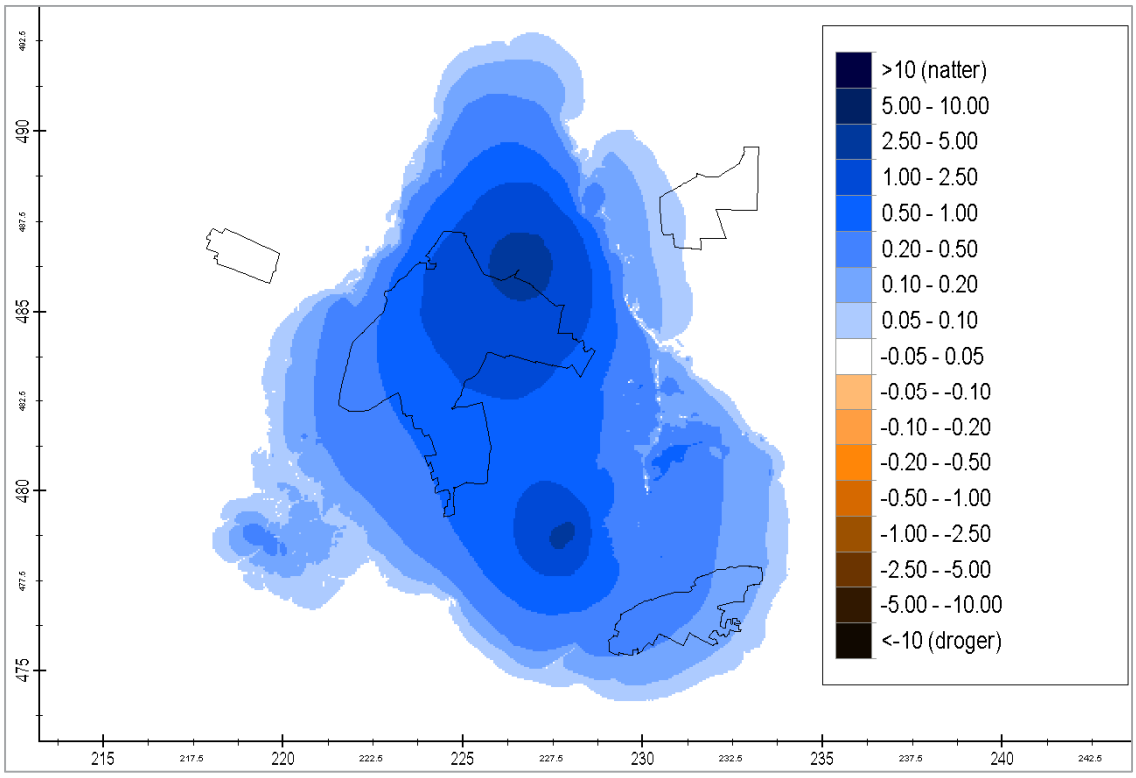


Figuur 9-51 Scenario 9 ten opzichte van REF-KD (WVP1)

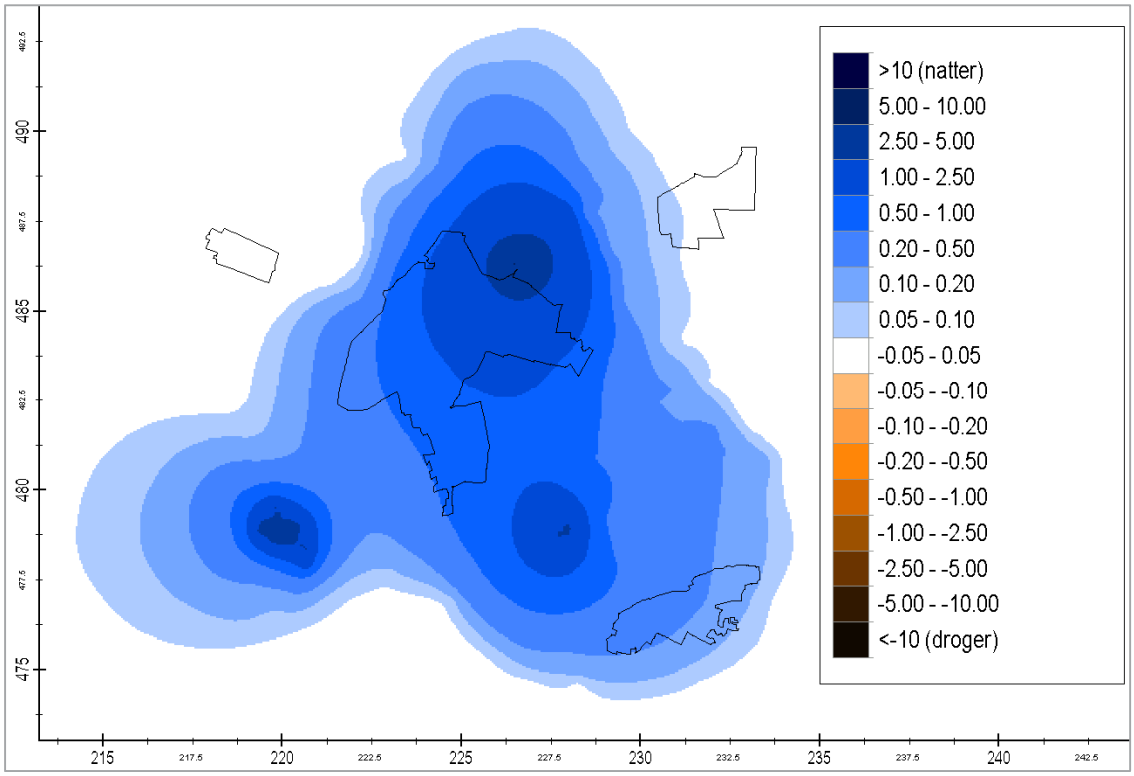


Figuur 9-52 Scenario 9 ten opzichte van REF-KD (WVP8)

Scenario 10: Maatregelen totaal

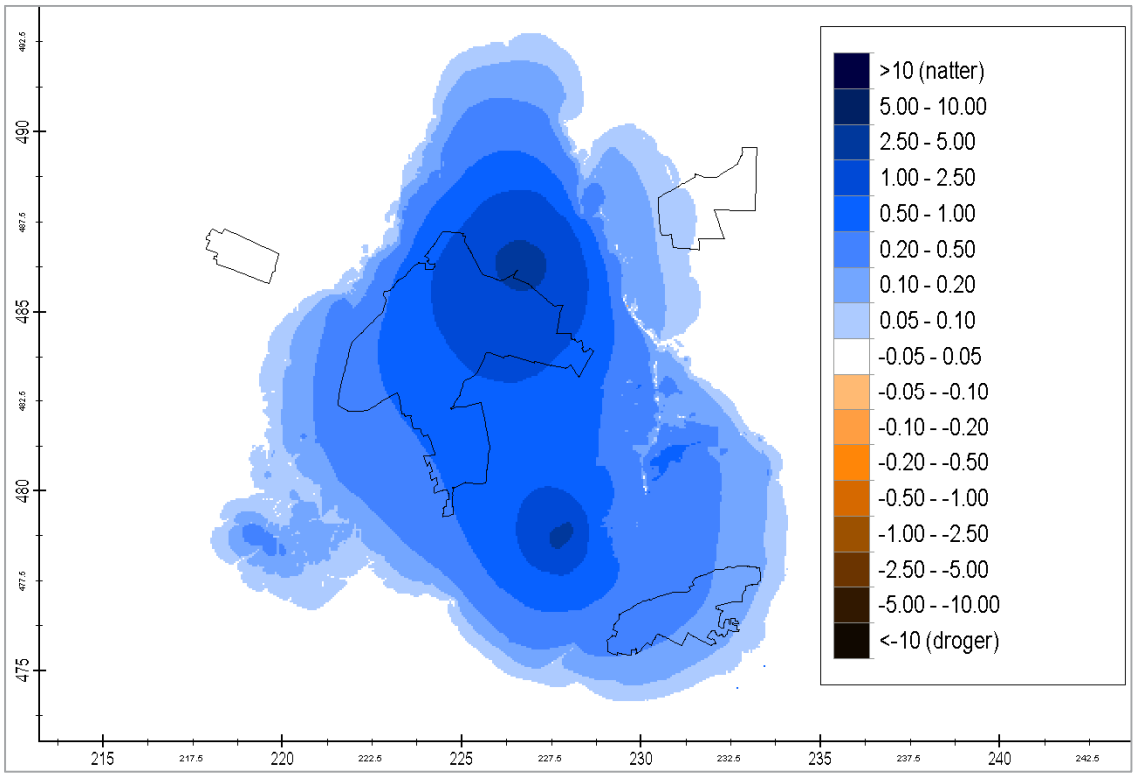


Figuur 9-53 Scenario 10 ten opzichte van REF-KD (WVP1)

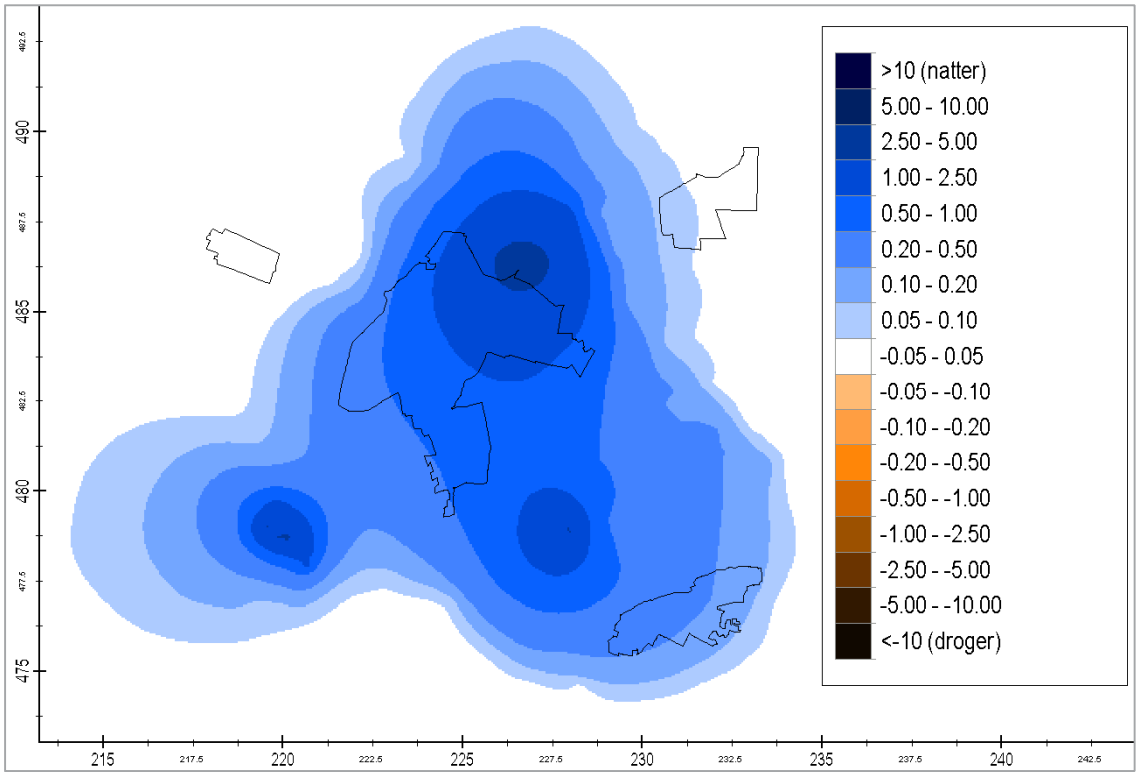


Figuur 9-54 Scenario 10 ten opzichte van REF-KD (WVP8)

Scenario 10b: Maatregelen totaal zonder aangepaste KD WVP 7 & 8



Figuur 9-55 Scenario 10b ten opzichte van REF (WVP1)



Figuur 9-56 Scenario 10b ten opzichte van REF (WVP8)

Bijlage 7. Verdampingswaarden gewassen (KWR, 2013)

In deze studie hebben we onderzocht of gewasfactoren (*K*-waarden), afgeleid voor de huidige en historische Nederlandse klimatologische condities, toepasbaar zijn onder andere klimatologische condities. Hiertoe hebben we een tweetal definities onderscheiden:

- K_{tot}: gewasfactoren zoals deze afgeleid worden uit metingen van de totale verdamping (equivalent aan de *K*-waarden volgens Feddes (1987)). Deze waarden corrigeren impliciet voor bodemverdamping E_{s_p}, transpiratie E_{t_p} en interceptieverdamping E_{i_p}, en worden dus gebruikt voor het vaststellen van de totale potentiële verdamping (E_{tot_p}).
- K_t: gewasfactoren volgens de internationale definitie van de FAO (Allen et al., 1998), welke alleen corrigeert voor E_t. Deze definitie vereist dat E_s en E_i expliciet worden gesimuleerd (wat onnauwkeurigheden kan introduceren).

Tabel 1: E_{i_p} als percentage van P voor een referentiegras en vijf vegetatietypen uit het NHI (NHI, 2008); meteorologie van De Bilt, huidige klimaat (1976-2005).

maand	referentie gras	natuurlijk grasland	struikheide	loofbos	licht naaldbos	donker naaldbos
1	12.37	8.66	5.96	10.13	27.05	52.11
2	12.10	8.46	5.82	10.14	26.73	52.09
3	11.88	8.31	5.72	10.15	26.39	51.10
4	13.72	9.60	6.62	15.27	29.44	55.82
5	11.65	8.15	5.61	18.76	26.07	50.56
6	10.21	7.15	4.90	21.85	23.69	46.34
7	9.08	7.90	6.00	22.67	21.67	42.31
8	10.22	12.06	10.15	25.04	23.99	44.82
9	10.08	12.13	10.24	24.31	23.29	45.44
10	10.12	9.43	7.36	23.72	23.48	44.83
11	11.11	7.79	5.36	18.88	25.07	47.81
12	11.00	7.69	5.30	11.36	24.78	47.56
gemiddeld	11.13	8.94	6.59	17.69	25.14	48.40

Tabel 2: K_{tot} voor een referentiegras en vijf vegetatietypen uit het NHI (NHI, 2008); meteorologie van De Bilt, huidige klimaat (1976-2005). De hoge waarden in de winter worden veroorzaakt door het aandeel van interceptieverdamping op de totale verdamping.

maand	referentie gras	natuurlijk grasland	struikheide	loofbos	licht naaldbos	donker naaldbos
1	1.50	1.60	1.37	1.74	2.84	4.55
2	1.18	1.30	1.18	1.22	1.73	2.56
3	1.09	1.17	1.10	0.96	1.26	1.73
4	1.03	1.09	1.05	0.83	0.93	1.12
5	1.02	1.06	1.04	0.82	0.86	0.99
6	1.02	1.05	1.03	0.85	0.86	1.00
7	1.01	1.06	1.03	0.88	0.88	1.01
8	1.02	1.07	1.05	0.94	0.93	1.06
9	1.04	1.12	1.08	1.10	1.09	1.38
10	1.10	1.24	1.15	1.53	1.53	2.13
11	1.41	1.52	1.31	2.33	2.75	4.35
12	1.68	1.76	1.47	2.25	3.50	5.71

Tabel 3: K_t voor een referentiegras en vijf vegetatietypen uit het NHI (NHI, 2008); meteorologie van De Bilt, huidige klimaat (1976-2005). K_t = 1 voor het referentiegras, wat volgens de definitie ook zo hoort. K_t corrigeert alleen voor de potentiële transpiratie van een gewas met een droog bladoppervlak. K_t corrigeert impliciet voor verschillen in LAI en bodembedekking tussen het referentiegewas en de werkelijke vegetatie, dat de lage waarden in de zomer verklaart. E_a neemt bij lagere bedekking wel toe, waardoor het van groter belang is E_a goed te berekenen.

maand	referentie gras	natuurlijk grasland	struikheide	loofbos	licht naaldbos	donker naaldbos
1	1.00	1.05	0.85	1.01	1.03	1.09
2	1.00	0.82	0.62	0.71	0.74	0.87
3	1.00	0.66	0.48	0.52	0.54	0.72
4	1.00	0.59	0.41	0.45	0.49	0.66
5	1.00	0.57	0.39	0.52	0.51	0.65
6	1.00	0.55	0.38	0.59	0.50	0.64
7	1.00	0.66	0.52	0.63	0.54	0.68
8	1.00	0.81	0.71	0.67	0.58	0.72
9	1.00	0.84	0.74	0.69	0.60	0.74
10	1.00	0.84	0.69	0.78	0.73	0.86
11	1.00	0.98	0.78	1.03	1.04	1.13
12	1.00	1.15	0.94	1.19	1.21	1.24

Beseft moet worden dat de gewasbestanden slechts een indicatie geven van de verschillen die tussen verschillende natuurlijke vegetaties kunnen optreden. Binnen een vegetatietype kan er in werkelijkheid nog veel variatie bestaan. Tabel 1 geeft per vegetatie het percentage van de neerslag dat via interceptie verdampt en hiermee niet de bodem indringt. De gesimuleerde waarden zijn aannemelijk. Zo kan in vochtige en gematigde klimaten E_i 10 tot 50% van de jaarlijkse neerslag bedragen (Gerrits et al., 2007; Gerrits, 2009), kan voor bossen de E_i bijna even groot zijn als de (werkelijke) transpiratie (Tiktak en Bouten, 1994) en is E_i van landbouwgewassen en gras gemiddeld ongeveer 100 mm per jaar (Massop et al., 2005). Wel lijkt de gesimuleerde E_i van een donker naaldbos aan de hoge kant (zie ook Dolman et al. (2000)). Ook lijkt voor het natuurlijk grasland de bodemverdamping te hoog en de interceptieverdamping te laag: bij deze resultaten stellen we ons een droogteminnende en zeer korte vegetatie voor met veel kale grond, zoals een schraal duingrasland. Bij een natuurlijk grasland in natte en voedselrijkere beekdalen en moerassen, ligt een interceptieverdamping voor de hand die hoger is dan die van het standaardgrasland. Ook de struikheidevegetatie moet veel kale grond bevatten, om zo'n hoge bodemverdamping en zo'n lage interceptieverdamping te kunnen verklaren, maar zulke uitgevreten heidevegetaties komen wel voor.

Tabel 2 geeft de verhouding tussen de totale verdamping E_{tot} en de referentieverdamping E_{ref}, ofwel K_{tot} (vergelijking [4]). De hoge waarden voor K_{tot} voor de wintermaanden, zeker voor bossen, zijn een gevolg van de hoge interceptieverdamping E_i. Doordat E_i onderdeel uitmaakt van de 'gemeten' verdamping E_{tot}, maar per definitie niet van de referentiegewasverdamping E_{ref}, geldt ook voor de afgeleide K_{tot} van het referentiegrasland dat deze afwijkt van 1.

Tabel 3 geeft de verhouding tussen de potentiële transpiratie van een droog bladoppervlak $E_{t_p,\ I=0}$ en de referentieverdamping E_{ref}. Zoals het hoort volgens de internationale definitie (Allen et al., 1998) geldt voor het referentiegrasland K_t = 1. K_t corrigeert impliciet voor verschillen in *LAI* en bodembedekking tussen het referentiegewas en de werkelijke vegetatie. Wat in de K_t-waarden duidelijk naar voren komt is het effect van de bodembekking, via *LAI*, op E_{t_p}. Door de volledige bodembedekking van het referentiegrasland is in de zomermaanden E_{t_p} van het referentiegrasland hoger dan van vegetaties met een lagere bedekking; een verschil dat in de wintermaanden nauwelijks van belang is door de lage verdampingsvraag. Hierdoor is in de wintermaanden $K_t \approx 1$ en in de zomermaanden $K_t < 1$. Hieruit blijkt tevens dat voor verschillen in bedekkingsgraad ook via K_t-waarden wordt gecorrigeerd.