

Effecten van onderwaterdrainage op de regionale watervraag

Berekeningen met het Landelijk Hydrologisch Model



Effecten van onderwaterdrainage op de regionale watervraag

Berekeningen met het Landelijk Hydrologisch Model

Joachim Rozemeijer
Huite Boomsma
Ab Veldhuizen (WUR-WEnR)
Janneke Pouwels
Jan van den Akker (WUR-WEnR)
Timo Kroon

Titel

Effecten van onderwaterdrainage op de regionale watervraag

Project

11202752-002

Kenmerk

11202752-002-BGS-0001

Pagina's

66

Trefwoorden

Onderwaterdrainage, veenweide, watervraag, dynamisch peilbeheer

Samenvatting

In het veenweidegebied is het verminderen van maaiveldddaling een belangrijk thema. Onderwaterdrainage wordt gezien als een mogelijkheid om de laagste grondwaterstanden te verhogen en is daarmee een van de mogelijkheden om maaiveldddaling te verminderen. Het doel van dit onderzoek was de verandering in de watervraag in droge perioden door onderwaterdrainage voor een deel van West-Nederland in beeld te brengen. Er is gebruik gemaakt van het Landelijk Hydrologisch Model (LHM-versie 3.4.0) voor het doorrekenen van scenario's (1) met en zonder onderwaterdrainage, (2) met huidig en toekomstig klimaat (GL en WH) en (3) met en zonder dynamisch peilbeheer. De in het model gebruikte drainage- en infiltratiedoorslatendheden zijn ingeschat op basis van meetresultaten uit lokale pilots.

Om de effecten van onderwaterdrainage duidelijk te maken focussen we op de verandering in de watervraag voor peilhandhaving in peilvakken die voor minimaal 10% geschikt zijn voor onderwaterdrainage. De resultaten laten zien dat deze watervraag in een droge periode toeneemt met ongeveer 0.09 mm/dag. De totale watervraag voor peilhandhaving voor deze gebieden is 1.16 mm/dag in de referentiesituatie, waarmee de relatieve toename uitkomt op ca. 8%. De watervraag voor het gehele beheergebied van de West-Nederlandse waterschappen is 0.66 mm/dag. De extra watervraag voor peilhandhaving door onderwaterdrainage voor het gehele gebied is dan ook ongeveer 0.03 mm/dag (ca. 4%).

Bij deze berekening is uitgegaan van een gemiddeld effect van 5-10 cm verhoging van de laagste grondwaterstanden die voorkomt uit praktijkpilots. Als de infiltratie-effectiviteit van onderwaterdrainage vergroot wordt, bijvoorbeeld door verbeterde aanleg of door pompgestuurde onderwaterdrainage (drukdrains), dan zal het effect op de laagste grondwaterstanden en de watervraag toenemen. Bij een gemiddelde verhoging van de laagste grondwaterstanden van 30-40 cm verwachten we een extra watervraag van ongeveer 0.4 mm/dag (ca. 36%). Voor de gehele West-Nederlandse waterschappen komt dit neer op een extra watervraag van ongeveer 0.11 mm/dag (ca. 18%).

De resultaten uit het model moeten gezien worden als een indicatieve kwantificering van de effecten van onderwaterdrainage. Er is behoefte aan meer meetinformatie over de effecten van onderwaterdrainage over langere perioden en in droge jaren en over de effecten op waterfluxen en waterkwaliteit. Deze meetinformatie kan gebruikt worden om ook de effecten op groter schaalniveau beter te kwantificeren.

Titel

Effecten van onderwaterdrainage op de regionale watervraag

Project




11202752-002

Kenmerk

11202752-002-BGS-0001

Pagina's

66

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.1	Mei 2019	Joachim Rozemeijer Huite Bootsma Ab Veldhuizen (WUR-WEnR) Janneke Pouwels Jan van den Akker (WUR-WEnR) Timo Kroon		Dimmie Hendriks		Timo Kroon	

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Onderwaterdrainage en dynamisch peilbeheer	1
1.2 Doel	2
1.3 Aanpak in het kort	2
1.4 Leeswijzer	3
2 Aanpak	4
2.1 Landelijk hydrologisch model	4
2.2 Praktijkonderzoek onderwaterdrainage	5
2.3 Modelimplementatie onderwaterdrainage	7
2.3.1 Selectie van geschikte onderwaterdrainagegebieden	7
2.3.2 Implementatie onderwaterdrainage in LHM	9
2.4 Modelimplementatie toekomstig klimaat	11
2.5 Modelimplementatie dynamisch peilbeheer	11
2.5.1 Definitie dynamisch peilbeheer	11
2.5.2 Beslisregels	11
3 Resultaten	13
3.1 Effecten onderwaterdrainage (resultaten scenario 4-actueel)	13
3.2 Effecten verbeterde onderwaterdrainage (resultaten scenario 4-verbeterde OWD)	16
3.3 Effecten onderwaterdrainage bij klimaatverandering (resultaten scenario 5 en 6)	18
3.4 Tijdreeksen effecten onderwaterdrainage Krimpenerwaard	19
3.5 Extra watervraag per waterschap	21
3.6 Onderwaterdrainage in combinatie met dynamisch peilbeheer (scenario 7, 8, 9)	23
4 Discussie	28
4.1 Antwoord op onderzoeksvragen	28
4.2 Uitgangspunten, aannamen en onzekerheden in de modellering	29
4.3 Effecten in relatie tot reductie maaiveldaling	31
4.4 Onzekerheden in verband met beschikbaarheid van meetgegevens	32
4.5 Aanbevelingen	33
5 Conclusies	34
Literatuur	35

Bijlage(n)

A Meetresultaten uit pilotonderzoek	A-1
B Kaarten relatieve effecten watervraag	B-1
C Effecten watervraag langjarig gemiddeld	C-1
D Effecten GHG en GLG onderwaterdrainage en klimaatverandering	D-1
E Tabellen verandering watervraag per waterschap	E-1

1 Inleiding

1.1 Onderwaterdrainage en dynamisch peilbeheer

In het veenweidegebied is het verminderen van maaiveldddaling een belangrijk thema. Maaiveldddaling veroorzaakt schade aan funderingen, complexer en duurder waterbeheer, verdroging in natuurgebieden, nutriëntenuitspoeling en uitstoot van broeikasgassen. Maaiveldddaling treedt vooral op als in droge perioden de grondwaterstanden te diep wegzakken door wegzijging en verdamping. Hierdoor kan zuurstof bij het diepere veen komen, waardoor het veen oxideert en afbreekt, met als gevolg maaiveldddaling en emissies van CO₂. Het oppervlaktewaterpeil wordt in veenweidegebieden in de zomer hoog gehouden door water in te laten vanuit de boezems en/of het hoofdwatersysteem. Het uitzakken van de grondwaterstanden wordt hier echter slechts ten dele mee voorkomen.

Onderwaterdrainage maakt het oppervlaktewaterpeilbeheer effectiever door de weerstand tussen het grond- en oppervlaktewater te verminderen. Zonder drains ontstaat in droge zomers een holle grondwaterspiegel en zakken de grondwaterstanden in het midden van de percelen uit, ondanks het relatief hoge oppervlaktewaterpeil. Onderwaterdrains worden op 15-20 cm onder het oppervlaktewaterpeil aangelegd met een drainafstand van 4-6 meter. Door onderwaterdrains heeft de sturing van het oppervlaktewaterpeil meer invloed op de grondwaterstanden in het perceel. Behalve dat dit maaiveldddaling vermindert, verbeteren onderwaterdrains onder natte omstandigheden de ontwatering, wat gunstig uitwerkt op de draagkracht. Er zijn ook nog andere manieren om de bodemdaling te beperken (bijvoorbeeld hogere oppervlaktewaterpeilen, natte teelten, drukdrainage), maar dit onderzoek richt zich alleen op onderwaterdrainage.

Onder droge omstandigheden is er in gebieden met onderwaterdrainage meer aanvoer van oppervlaktewater nodig om de grotere infiltratie naar de percelen en de extra gewasverdamping te compenseren. De grotere watervraag bij onderwaterdrainage kan in droge perioden voor problemen zorgen bij de waterverdeling. In het licht van de klimaatverandering (toenemende verdamping en vaker extreme droogte) is het echter juist wenselijk de watervraag te verminderen. Dynamisch peilbeheer wordt gezien als een mogelijkheid om de grotere watervraag door onderwaterdrainage te compenseren. Door voor een naderende droogte alvast de grond- en oppervlaktewaterpeilen te verhogen, is tijdens de droogte zelf de watervraag van de polder aan de boezem minder groot. Onderwaterdrainage maakt dynamisch peilbeheer effectiever, doordat het grondwater sneller reageert op het slootpeil.

In eerdere studies (Jansen et al., 2009; Van den Akker et al., 2011, Hoving et al., 2013, Hendriks et al., 2014) is al onderzoek gedaan naar de lokale hydrologische effecten van onderwaterdrainage. Eerdere modelinschattingen resulteerden in een toename van de watervraag van 7% voor het Groene Hart en van 10-15% voor polder Zegveld (Van den Akker et al., 2011). Voor een sloot in de Krimpenerwaard is een 28% (voor 1976) en 32% (voor 2003) hogere inlaat berekend met een op metingen van 2011 en 2012 gekalibreerd model (Van den Akker et al., 2013). Voor individuele percelen loopt de extra infiltratie door onderwaterdrainage erg uiteen, bijvoorbeeld van 28 tot 110% voor de pilots Krimpenerwaard, Keulevaart en Demmerikskade (Hendriks et al., 2013).

Het Landelijk Hydrologisch Instrumentarium (LHM) biedt mogelijkheden om op de schaal van het veenweidegebied als geheel de effecten van onderwaterdrainage in combinatie met dynamisch peilbeheer en klimaatverandering op een eenduidige manier te kwantificeren.

1.2 Doel

Het primaire doel van dit onderzoek was de verandering in de watervraag door onderwaterdrainage in droge perioden in beeld te brengen voor West-Nederland (Utrecht, Zuid-Holland en Noord-Holland ten zuiden van het Noordzee Kanaal). We gaan in op een aantal onderzoeksvragen:

- Wat zijn de effecten van onderwaterdrainage op de regionale watervraag in perioden met watertekorten?
- Wat zijn de effecten van onderwaterdrainage op de regionale watervraag bij toekomstig klimaat (KNMI-scenario's G_L en W_H)?
- Is het mogelijk de grotere watervraag door onderwaterdrainage voor een deel te compenseren met dynamisch peilbeheer (met huidig en toekomstig klimaat)?

1.3 Aanpak in het kort

We maken gebruik van het Landelijk Hydrologisch Model (LHM versie 3.4.0) voor het doorrekenen van scenario's (1) met en zonder onderwaterdrainage, (2) met huidig en toekomstig klimaat (G_L en W_H) en (3) met en zonder dynamisch peilbeheer (zie tabel 1). Het LHM is een landelijk model voor grondwater (ondiep en diep), onverzadigde zone, regionaal oppervlaktewater en het landelijke waterverdelingsnetwerk. Het grondwater en onverzadigde zone deel van het model heeft een ruimtelijke resolutie van 250x250m. Onderwaterdrainage is aan het model toegevoegd als extra ontwateringsmiddel, waarvoor de drainage- en infiltratiedoorsneden zijn ingeschat op basis van meetresultaten uit lokale pilots. Voor het toekomstig klimaat zijn de KNMI'14 scenario's G_L en W_H gebruikt. Voor het dynamisch peilbeheer is uitgegaan van 10 cm extra peilopzet in perioden met dreigende watertekorten. De berekeningen zijn gedaan voor de periode 1998 - 2006.

Tabel 1.1: Scenario's van de berekeningen met het Landelijk Hydrologisch Model

Scenario	Onderwaterdrainage	Peilbeheer	Klimaat
1	nee	Huidig	huidig
2	nee	Huidig	G_L^*
3	nee	Huidig	W_H^*
4	Ja	Huidig	huidig
5	Ja	Huidig	G_L^*
6	Ja	Huidig	W_H^*
7	Ja	Dynamisch	huidig
8	Ja	Dynamisch	G_L^*
9	Ja	Dynamisch	W_H^*

De resultaten van de berekeningen worden in deze rapportage beknopt beschreven aan de hand van voorbeeldgebieden en totalen per regio.

1.4 Leeswijzer

In deze rapportage beschrijven we de uitgangspunten en methoden van de berekeningen in hoofdstuk 2. De beknopte beschrijving van de resultaten is opgenomen in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 volgt een discussie en in hoofdstuk 5 staan de belangrijkste conclusies en aanbevelingen.

2 Aanpak

2.1 Landelijk hydrologisch model

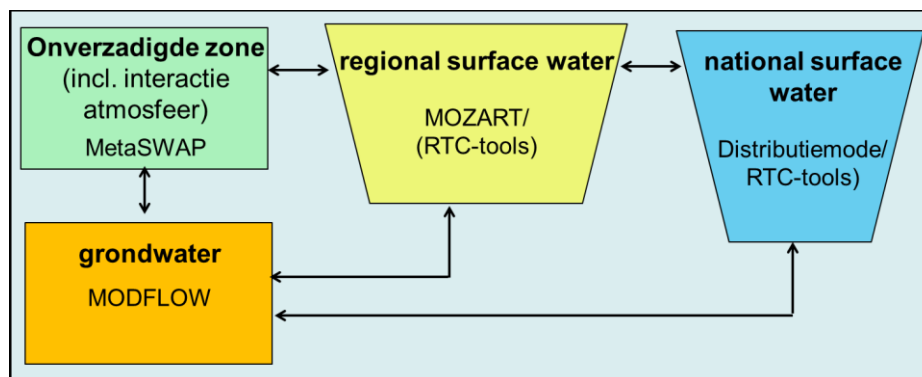
Voor de berekeningen in deze studie is gebruik gemaakt van het Landelijk Hydrologisch Model (LHM). Het LHM is het geïntegreerde, landsdekkende grond- en oppervlaktewater model van Nederland. Het instrumentarium is vanaf 2006 ontwikkeld voor de ondersteuning van het landelijk beleid. Het LHM maakt deel uit van het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium (NHI), waar ook andere modellen en databases deel van uitmaken (zie ook: <http://www.nhi.nu/nl/>).

Het LHM berekent het regionale grondwaterstromingspatroon van Nederland voor het huidige klimaat en voor klimaatscenario's. Het instrumentarium is gericht op de simulatie van gemiddelde en droge situaties. Met het instrumentarium kunnen bijvoorbeeld grondwaterstanden, stijghoogten in diepere watervoerende pakketten, kwel- en wegzijgingsfluxen en de uitwisseling tussen het grond- en oppervlaktewater worden berekend. Daarnaast wordt de verdeling van oppervlaktewater berekend over het landelijke waterverdelingsnetwerk en over de verschillende regionale oppervlaktewateren in Nederland, zodat op regionaal en landelijk niveau de beschikbaarheid van oppervlaktewater in beeld kan worden gebracht.

Het LHM is opgebouwd uit diverse gekoppelde modellen (zie ook Figuur 2.1):

- MODFLOW voor de verzadigde zone (grondwater) en lokaal oppervlaktewater (sloten, greppels);
- MetaSWAP voor de onverzadigde zone;
- MOZART voor het regionale oppervlaktewater;
- Distributiemodel (DM) voor het landelijke waterverdelingsnetwerk.

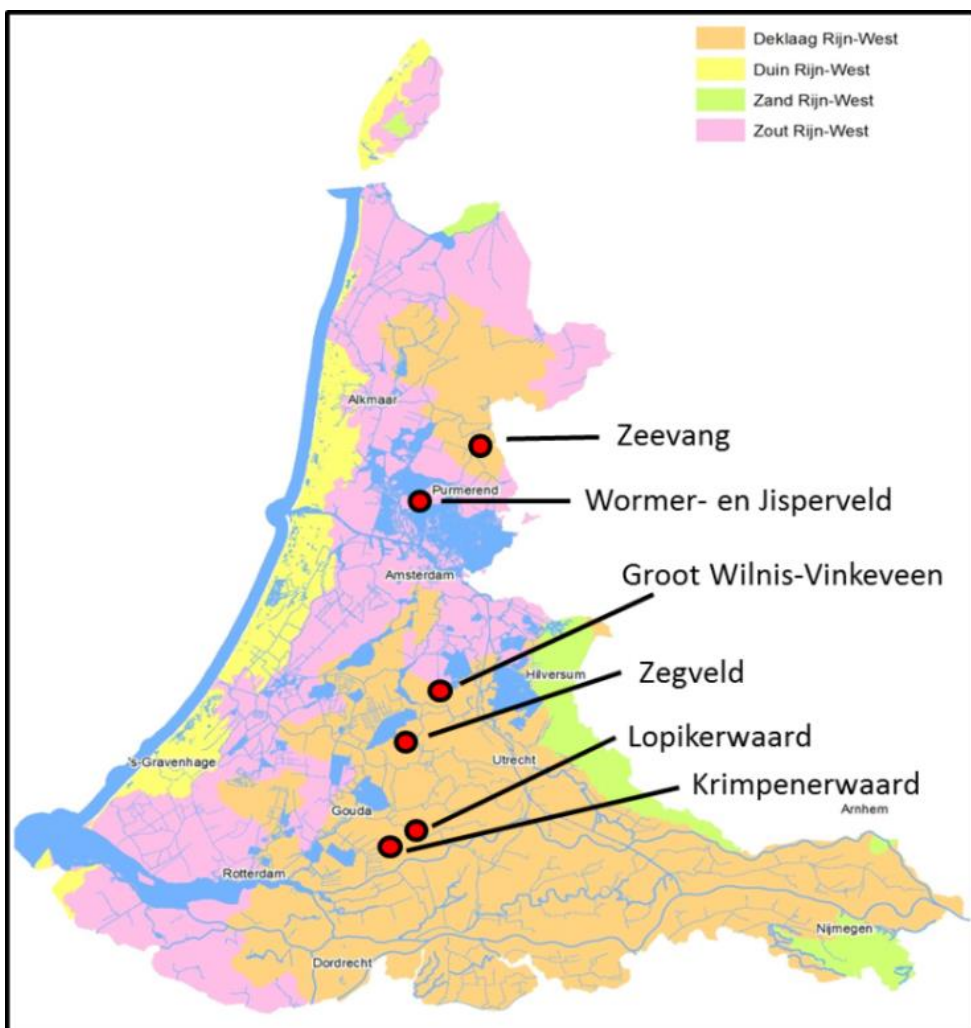
In het LHM is Nederland geschematiseerd in modelcellen van 250 x 250 meter en in 7 modellagen voor de ondergrond. Voor het oppervlaktewater worden circa 8500 afwateringseenheden (LSW's) onderscheiden in MOZART die in connectie staan met circa 250 grotere regionale eenheden (districten) die gekoppeld zijn aan het landelijke waterverdelingsnetwerk in DM.



Figuur 2.1 Deelmodellen in het Landelijk Hydrologisch Model (LHM).

2.2 Praktijkonderzoek onderwaterdrainage

Sinds de droge zomer van 2003 is door de WUR op diverse locaties praktijkonderzoek gedaan naar de effecten van onderwaterdrainage in veenweidegebieden. Een geografisch overzicht van de pilotlocaties is weergegeven in Figuur 2.2. De metingen van de pilotlocaties zijn in dit onderzoek gebruikt voor het controleren en verbeteren van de implementatie van onderwaterdrainage in het LHM. Gezien het detailniveau van de pilots (puntmetingen op proefpercelen) en van het LHM (250x250m modelcellen) zijn de pilotmetingen alleen bruikbaar voor een globale verificatie van de modelresultaten.



Figuur 2.2: Overzicht van gebieden waar onderzoek is gedaan naar de effecten van onderwaterdrainage (soms met meerdere proeflocaties per gebied).

De meetresultaten met betrekking tot de effecten van onderwaterdrainage op de grondwaterstanden onder natte condities (gemiddeld hoogste grondwaterstand, GHG) en droge condities (gemiddeld laagste grondwaterstand, GLG) zijn samengevat in Tabel 2.1. De inschatting van deze gemiddelde effecten zijn gebaseerd op grafieken met meetresultaten uit de in Tabel 2.1 geciteerde rapporten. Een groot deel van deze figuren is opgenomen in Bijlage A.

Uit de meetresultaten trekken we de volgende algemene conclusies over het effect van onderwaterdrainage op de grondwaterstanden:

- De effectiviteit van onderwaterdrainage verschilt sterk per pilot en binnen pilots ook per perceel. Vooral de infiltratie via de drains viel in enkele pilots tegen (percelen Bakker en Steenman in Zeevang, Wormer- en Jisperveld, noordelijk perceel Groot Wilnis-Vinkeveen).
- Bij de pilots met goed functionerende drains worden de hoogste grondwaterstanden 5-15 cm lager.
- Bij de pilots met goed functionerende drains worden de laagste grondwaterstanden 5-15 cm hoger.

De grondwaterstanden zijn hierbij halverwege tussen de drains en halverwege tussen de sloten gemeten. De laagste grondwaterstanden zullen bij de drains meer verhoogd worden dan tussen de drains. Dichtbij de sloten zullen de grondwaterstanden juist weer minder beïnvloed worden dan halverwege tussen de sloten. De metingen tussen de drains en midden op het perceel zullen netto ongeveer het perceelsgemiddelde effect geven, net als het model. Overigens komen de grondwaterstanden in het natte zomer niet of nauwelijks onder het slootpeil. In die situatie is er weinig of geen infiltratie en is het effect op de laagste grondwaterstanden beperkt.

De oorzaak van het wel of niet goed functioneren van onderwaterdrainage is niet altijd duidelijk. Voor een deel wordt in de pilotrapportages verwezen naar problemen met slootbagger bij de infiltratie via de drains. Ook bij de aanleg kunnen fouten in de hoogteligging en/of vlakligging van de drains grote gevolgen hebben op het functioneren van de drains (Van den Akker et al., 2013). Verkeerde zuinigheid kan er bijvoorbeeld toe leiden dat de drains zonder onderzoek vooraf om de 6 meter worden aangelegd, terwijl een kortere drainafstand noodzakelijk is. Ook zijn er positieve ontwikkelingen in de wijze van aanleg, zoals minder lange drains, verzamelputten om infiltratie van bagger te voorkomen en de kwetsbaarheid van de eindbuizen voor bijvoorbeeld slootonderhoud te minimaliseren. Over de verschillen in effectiviteit tussen deze aanlegvarianten is nog weinig bekend. Hiernaast hebben de bodemeigenschappen en hydrologie (infiltratie/kwel, drooglegging) invloed op het functioneren van drains.

In recente pilots met onderwaterdrainage wordt ook gewerkt met pompgestuurde drains ofwel drukdrains (Hoving et al., 2018). Bij deze variant van onderwaterdrainage kan de drainerende en infiltrerende werking verbeterd worden door in een controleput het waterniveau te verlagen (extra drainage) of te verhogen (extra infiltratie) ten opzicht van het slootpeil. Uit de eerste pilotresultaten blijkt dat de drukdrains sinds hun aanleg in 2016 de zomergrondwaterstand binnen de 40 – 50 cm wisten te houden, terwijl deze tot 80 – 100 cm diep uitzakte in de referentie. Het onderzoek wordt voortgezet om te onderzoeken of ook dit systeem ook zo goed blijft functioneren op lange termijn. In dit onderzoek richten we ons nog niet op deze nieuwe vorm van onderwaterdrainage gezien de nog beperkte kennis en ervaringen.

Tabel 2.1: Effecten van onderwaterdrainage op de grondwaterstanden (GWS) in verschillende pilots.

Locatie	Meetperiode	Gemeten effect op grondwaterstand
Zeevang (Hoving et al., 2011)	2006-2010	geen duidelijke verhoging laagste GWS, ca. 5 cm verlaging hoogste GWS
Zeevang (Hoving et al., 2015)	2012-2014	0-30 cm verhoging laagste GWS, 0-25 cm verlaging hoogste GWS
Wormer- en Jisperveld (Van den Akker et al., 2016)	2013-2015	5-10 cm verlaging hoogste en laagste GWS, tegenvallende infiltratie door bagger
Groot Wilnis-Vinkeveen (Hendriks et al., 2013)	2010-2012	Noordelijk perceel weinig effect, drains functioneren slecht. Zuidelijk perceel ca. 5 cm verhoging laagste GWS, ca. 15 cm verlaging hoogste GWS
Lopikerwaard (Hendriks et al., 2013)	2010-2012	5-15 cm verhoging laagste GWS, 5-15 cm verlaging hoogste GWS
Krimpenerwaard (Van den Akker et al., 2013)	2011	5-10 cm verhoging laagste GWS, 5-15 cm verlaging hoogste GWS
Zegveld (Hoving et al., 2013)	2011-2012	5-15 cm verhoging laagste GWS, ca. 5 cm verlaging hoogste GWS,
Zegveld (Hoving et al., 2018)	2016-2017	0-15 cm verhoging laagste GWS, 0-15 cm verlaging hoogste GWS Perceel 15 geen duidelijk effect

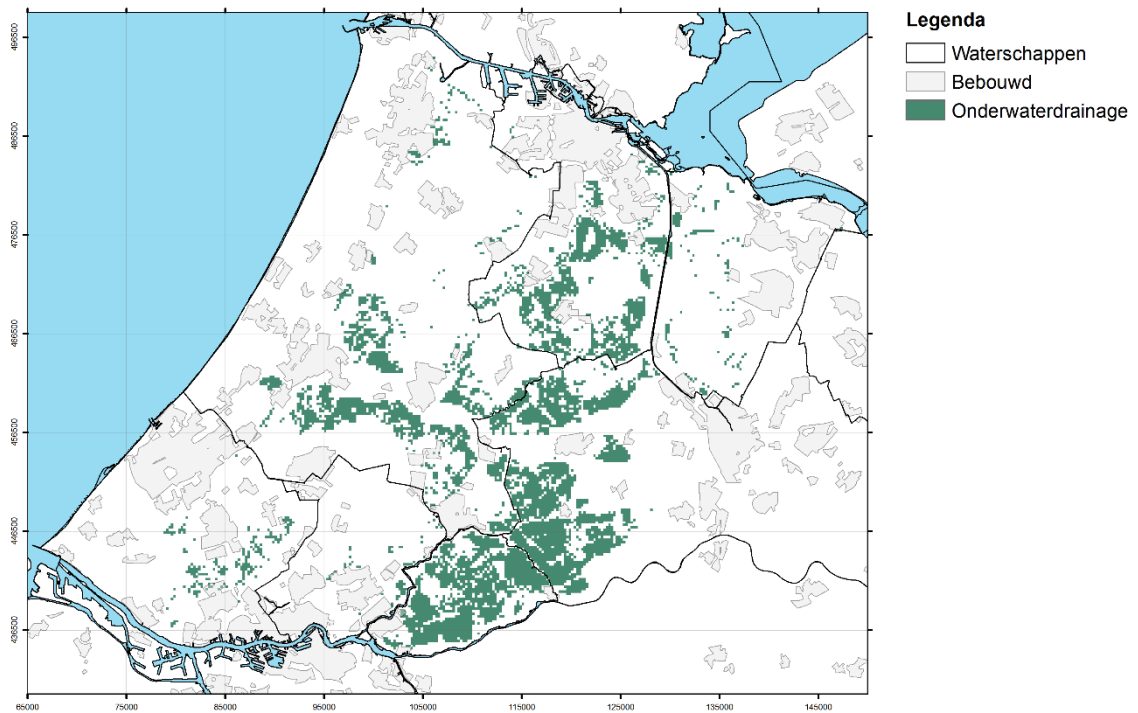
2.3 Modelimplementatie onderwaterdrainage

2.3.1 Selectie van geschikte onderwaterdrainagegebieden

Voor de implementatie van onderwaterdrainage in het model is eerst bepaald welke gebieden in West-Nederland geschikt zijn voor onderwaterdrainage. Hierbij zijn de volgende criteria gebruikt:

- Agrarisch landgebruik
- Veenbodem, minimale veendikte 120 cm
- Alleen infiltratiegebieden en gebieden met minder dan 100 mm per jaar kwel
- Minimale drooglegging 40 cm

De gebieden in West Nederland die voldoen aan deze criteria zijn weergegeven in Figuur 2.3. De oppervlaktes per waterschap zijn weergegeven in Tabel 2.2. In deze gebieden implementeren we onderwaterdrainage modelmatig op 100% van het areaal. Voor de veranderingen in de watervraag beschouwen we alleen de Local Surface Waters (LSW's, de afwateringsgebieden in het LHM) met minimaal 10% van het oppervlak potentieel geschikt voor onderwaterdrainage (zie oppervlaktes in Tabel 2.3). Onderwaterdrains moeten boven de slootbodem en in de zomer onder het oppervlaktewaterpeil liggen. Verder maakt de exacte diepte weinig uit voor de effecten; modelmatig zijn de onderwaterdrains op een diepte van 20 centimeter onder het zomerpeil aangelegd.



Figuur 2.3 Gebieden in West-Nederland die voldoen aan de criteria en potentieel geschikt zijn voor de aanleg van onderwaterdrainage. NB: met maatwerk zouden de criteria aangepast kunnen worden aan de specifieke situatie en zouden meer gebieden in aanmerking kunnen komen.

Tabel 2.2 Oppervlakte aan gebieden per waterschap die voldoen aan de criteria en potentieel geschikt zijn voor de aanleg van onderwaterdrainage. NB: met maatwerk zouden de criteria aangepast kunnen worden aan de specifieke situatie en zouden meer gebieden in aanmerking kunnen komen.

Waterschap	oppervlakte (ha)	potentieel OWD (ha)
HDSR	83.021	11.081 (13%)
AGV	70.142	7.650 (11%)
HHR	107.945	8.600 (8.0%)
HHD	40.540	1.206 (3.0%)
HHSK	35.105	7.719 (22%)

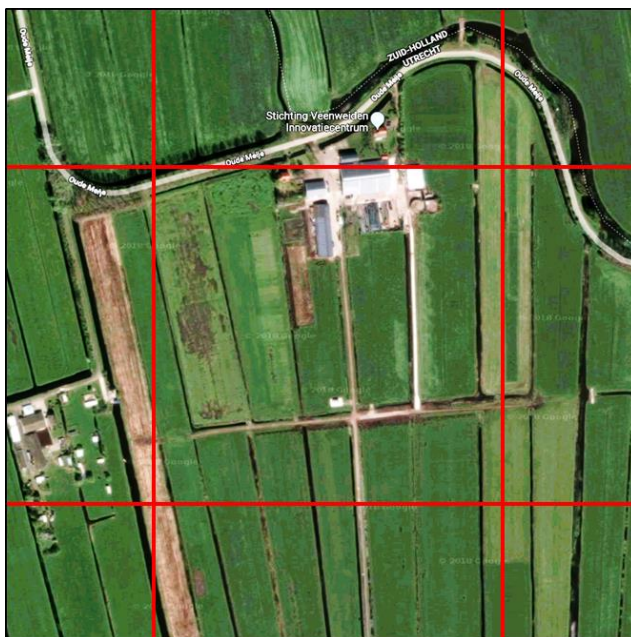
Tabel 2.3 Oppervlakte van LSW's per waterschap met minimaal 1 modelcel (250x250m) potentieel geschikt voor onderwaterdrainage en met minimaal 10% potentieel geschikt. Tussen haakjes is het percentage oppervlakte ten opzichte van het totaal oppervlak van het waterschap gegeven.

Waterschap	oppervlakte (ha)	LSW met >=1 cel OWD(ha)	LSW met >=10% OWD (ha)
HDSR	83.021	28148 (34%)	24326 (29%)
AGV	70.142	41546 (59%)	21773 (31%)
HHR	107.945	49495 (46%)	19855 (18%)
HHD	40.540	14498 (36%)	3415 (8.4%)
HHSK	35.105	18970 (54%)	13292 (38%)

2.3.2 Implementatie onderwaterdrainage in LHM

Voor de modelimplementatie in het LHM is het van belang te beseffen dat de modelcellen van 250x250m zich niet lenen voor het gedetailleerd modelleren van de ruimtelijke variatie in grondwaterstanden en waterfluxen binnen de relatief smalle percelen in het veenweidegebied (zie ook Figuur 2.4). Met het LHM zijn wel de ruimtelijk gemiddelde grondwaterstanden en de verandering daarin te berekenen. Ook de (veranderingen in de) waterfluxen tussen het grond- en oppervlaktewatersysteem en de omgeving (boezem, diepe kwel/infiltratie) worden met het LHM berekend. Waterbalansen zijn op te stellen per modelcel, maar zijn vooral informatief op het niveau van afwateringsgebieden (Local Surface Waters, LSW's) of grotere stroomgebieden.

Qua temporele resolutie rekent het LHM op dagbasis. Deze tijdstappen zorgen ervoor dat korte variaties binnen een dag in grondwaterstanden en waterfluxen tijdens piekbuien niet met de standaard LHM versie gemodelleerd worden. Het effect van deze buien op de grondwaterstanden en waterfluxen op de langere termijn en op grotere schaalniveaus wordt wel meegenomen (in de totaalneerslag). Een belangrijk aspect voor deze studie is het correct implementeren van onderwaterdrains in het LHM, zodat het grootschalige effect van onderwaterdrains op de grondwaterstanden en waterfluxen goed te berekenen is.



Figuur 2.4 Grootte van de LHM modelcellen geprojecteerd op enkele percelen van het Veenweide Innovatie Centrum (VIC) in Zegveld

Voor deze studie is het LHM versie 3.4.0 gebruikt (Bos-Burgering et al., 2018). Een voor deze studie belangrijke aanpassing binnen deze versie is de verbetering van de verdampingsberekening voor de veenweidegebieden (Bos-Burgering et al., 2018).

De onderwaterdrainage is in het LHM geïmplementeerd in het MODFLOW-gedeelte (zie ook Figuur 2.1), waarin de grondwaterhydrologie en de uitwisseling van water tussen grondwater en sloten wordt gesimuleerd. In het bestaande model zijn de sloten meegenomen in de zogenaamde 'River-package' van MODFLOW. De sloten worden daarin geschematiseerd als modelementen waarvoor de peilen worden opgelegd en die zowel water kunnen leveren (infiltratie) als afvoeren (drainage). De waterhoeveelheden die bij deze uitwisseling met het grondwatersysteem gepaard gaan zijn mede afhankelijk van de opgegeven infiltratie- en drainageweerstanden. Voor het opleggen van de peilen zijn de zomer- en winterpeilen per peilvak door de waterschappen aangeleverd.

De onderwaterdrainage is geïmplementeerd als een extra systeem in de river package. Deze aanpak maakt het mogelijk om de onderwaterdrainage (1) op hun eigen niveau ten opzichte van maaiveld te schematiseren, (2) de winter- en zomerpeilen van het oppervlaktewatersysteem ook aan de onderwaterdrainage op te leggen en (3) de onderwaterdrains een eigen drainage- en infiltratieweerstand te geven. Er zijn geen individuele drains geïmplementeerd, maar de river package berekent het totale effect van de onderwaterdrains per 250x250m modelcel. Daarbij is uitgegaan van een diepteligging van de drains van 20 cm onder het zomerpeil.

De drainage- en infiltratieweerstanden zijn afhankelijk van de doorlatendheid van de ondergrond, de onderhoud-status van de drains, de drainafstand en de lengte van de drains. Om de drainage- en infiltratieweerstanden te bepalen is toegerekend naar de op basis van de veldproeven verwachte effecten op de grondwaterstanden. We gaan er daarmee vanuit dat ruimtelijke verschillen in de doorlatendheid worden gecompenseerd met de drainagedichtheid. Ook gaan we uit van een constante drainage- en infiltratieweerstand in de tijd. Er is binnen scenario 4 (onderwaterdrainage huidig klimaat, zie ook Tabel 1.1) onderscheid gemaakt tussen scenario 4-actueel en scenario 4-verbeterde OWD:

Scenario 4-actueel is het scenario waarbij de effecten van onderwaterdrainage op de hoogste en laagste grondwaterstanden globaal overeenkomen met de gemiddelde effecten in de pilotonderzoeken. De laagste grondwaterstanden in het zomerseizoen worden gemiddeld rond de 5-10 centimeter hoger en de hoogste grondwaterstanden worden gemiddeld rond de 5 cm lager (Tabel 2.1). De infiltratie-weerstand van de drains kwam daarbij voor dit scenario uit op 500 dagen en de drainage-weerstand op 250 dagen.

Scenario 4-verbeterde OWD is het scenario waarbij de effecten van onderwaterdrainage globaal overeenkomen met het gewenste effect van 30-40 cm verhoging van de laagste grondwaterstanden. In dit scenario gaan we uit van een verbeterde aanleg en/of het gebruik van pompgestuurde drainage. De infiltratie-weerstand van de drains kwam daarbij voor dit scenario uit op 60 dagen en de drainage-weerstand op 50 dagen. Deze weerstanden zijn niet gemeten, maar zijn conform de drainage- en infiltratieweerstand die modelmatig zijn afgeleid voor de proefpercelen in de Krimpenerwaard (Van den Akker et al., 2013).

2.4 Modelimplementatie toekomstig klimaat

Voor de neerslag en verdamping worden grids gebruikt die zijn aangemaakt door het KNMI voor de modelperiode van 1996-2006 (Buishand et al., 2008). De scenario's G_L (Gematigd-Laag) en W_H (Warm-Hoog) zijn gebruikt om de bandbreedte van de mogelijke klimaateffecten weer te geven. De achtergronden van de KNMI'14 scenario's staan beschreven in KNMI (2014). Het toekomstige klimaat is toegepast op de huidige hydrologische situatie. De effecten van toekomstige bodemdaling en sociaal-economische scenario's op de hydrologie zijn niet meegenomen om de effecten van veranderd klimaat op zichzelf te kunnen beschouwen.

2.5 Modelimplementatie dynamisch peilbeheer

2.5.1 Definitie dynamisch peilbeheer

Er gaan meerdere definities van dynamisch peilbeheer rond en soms worden dynamisch peilbeheer en flexibel peilbeheer door elkaar gebruikt.

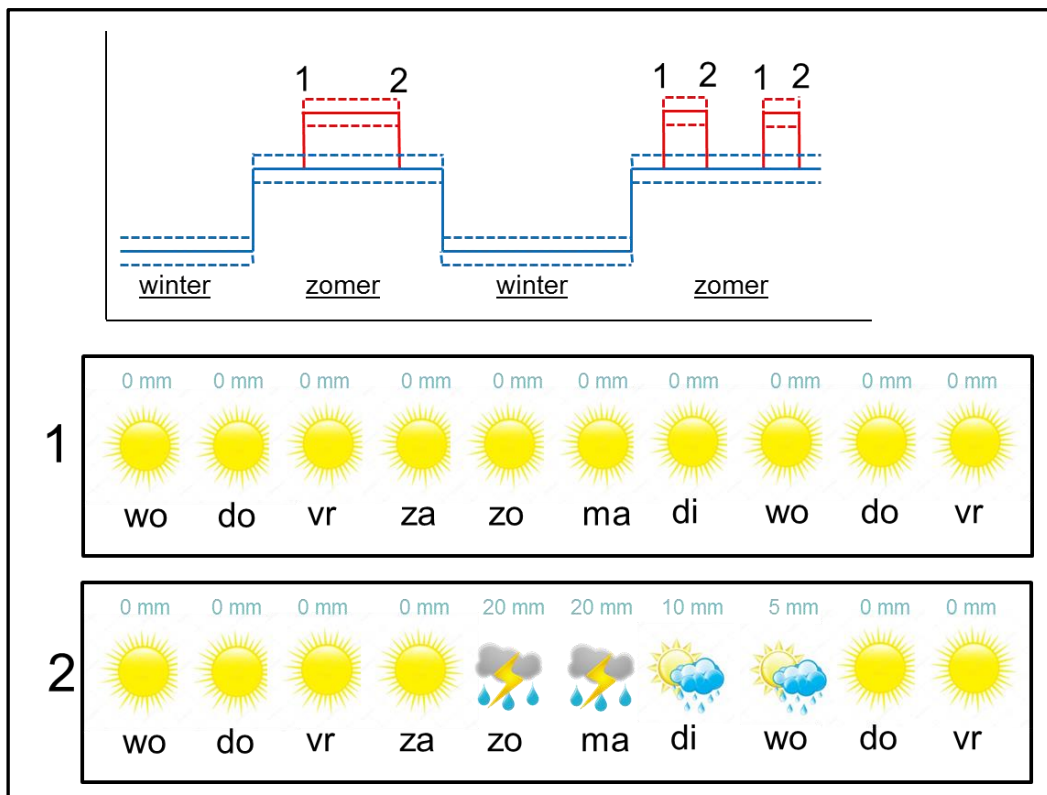
De definitie, die in de Stowa Deltafact over dynamisch peilbeheer (Borren et al., 2017) wordt gegeven, is:

Continue afstemming aan de hand van weersomstandigheden, gewasgroei-omstandigheden en de agrarische bedrijfsvoering. Het is een spel binnen de ruimte die een peilbesluit toestaat. Er wordt gestuurd op grondwaterstanden. Leidt in polders tot gemiddeld meer inlaat en uitslag (actief/ anticiperend/ intensief).

Deze Deltafact-definitie hanteren we niet voor deze studie, want hij sluit niet goed aan bij de doelstelling om de extra watervraag door onderwaterdrainage te compenseren. In tegendeel; het continue bijstellen van het oppervlaktewaterpeil zorgt voor een grotere behoefte aan inlaatwater. Voor deze studie zetten we dynamisch peilbeheer in om de extra watervraag door onderwaterdrainage in perioden van watertekort te compenseren. Dit kan door de oppervlaktewaterpeilen te verhogen voordat de watertekorten ontstaan. Hiermee heeft het gebied een extra buffer en kan bespaard worden op de watervraag vanuit het hoofdwatersysteem.

2.5.2 Beslisregels

Voor deze studie zijn eenvoudige en algemene beslisregels opgesteld voor het te simuleren dynamisch peilbeheer. In de periode met zomerpeil verhogen we dat peil met 10 cm zodra de Rijnaafvoer onder de 1500 m³/s ligt en er in de 10-daagse weersvoorspelling minder dan 5 mm regen wordt verwacht. Zodra de verwachte neerslag in de 10-daagse weersvoorspelling groter is dan 50 mm en/of de Rijnaafvoer weer boven de 1500 m³/s is, wordt het peil weer teruggezet op zomerpeil. De historische 10-daagse weersvoorspellingen waren voor deze studie niet beschikbaar en er is hiervoor uitgegaan van de werkelijke neerslaginvoer van het LHM. Op het moment dat er landelijk watertekorten ontstaan (als de Rijnaafvoer lager wordt dan 1200 m³/s) stoppen we de waterinlaat en laten we het opgezette peil terugzakken tot aan het zomerpeil. Gedurende het terugzakken is er voor de betreffende gebieden voor een periode variërend van enkele dagen tot enkele weken geen inlaatwater nodig voor peilbeheer. De beslisregels voor het dynamisch peilbeheer zijn gevisualiseerd in Figuur 2.5.



Figuur 2.5: Voor dit onderzoek gebruikte beslisseregels voor dynamisch peilbeheer voor een periode met een Rijnafvoer lager dan $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ (maar nog hoger dan $1200 \text{ m}^3/\text{s}$). Momenten 1: gedurende de zomer(peil)periode wordt het peil opgezet als er niet of nauwelijks neerslag wordt verwacht in de 10-daagse voorspelling. Momenten 2: als het peil opgezet is wordt het weer teruggezet als er een natte periode verwacht wordt.

Er zitten een aantal min of meer arbitraire keuzes in deze peilbeheerstrategie:

- Het peil wordt alleen verhoogd als de afvoeren van de Rijn laag zijn en er dus kans is op aanstaande watertekorten. De grenswaarde van $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ ligt net boven de grenswaarden van $1000\text{-}1400 \text{ m}^3/\text{s}$ (afhankelijk van de maand) die het LCW hanteert voor operationele opschaling naar niveau 1 (dreigende watertekorten) (De Vries et al., 2018).
- We gaan uit van de 10-daagse verwachtingen. Het anticiperen op droogte heeft baat bij een betrouwbare weersvoorspelling over een zo lang mogelijke periode. Voorspellingen langer dan 10 dagen zijn erg onzeker, vooral voor zomerse convectieve neerslag.
- Het zomerpeil wordt bij naderende droogte met 10 cm verhoogd. We hebben voor de toepassing van onderwaterdrainage gebieden met een drooglegging van minimaal 40 cm geselecteerd. Met 10 cm extra peilopzet wordt deze minimale drooglegging 30 cm.
- Voor het moment van peilopzet (1 in Figuur 2.5) stellen we voor dat er binnen de zomerpeilperiode een 10-daagse voorspelling met minder dan 5 mm neerslag moet zijn.
- Voor het moment van het terugzetten naar het zomerpeil (2 in Figuur 2.5) stellen we voor dat er een bui van minimaal 50 mm in de 10-daagse voorspelling komt.
- We beginnen met het aanspreken van de door de peilopzet gecreëerde berging als de Rijnafvoer onder de $1200 \text{ m}^3/\text{s}$ komt. Het peil kan dan weer terugzakken tot het zomerpeil en daardoor is er tijdelijk geen waterinlaat nodig, wat ten goede komt aan waterbehoeften op andere plaatsen.

3 Resultaten

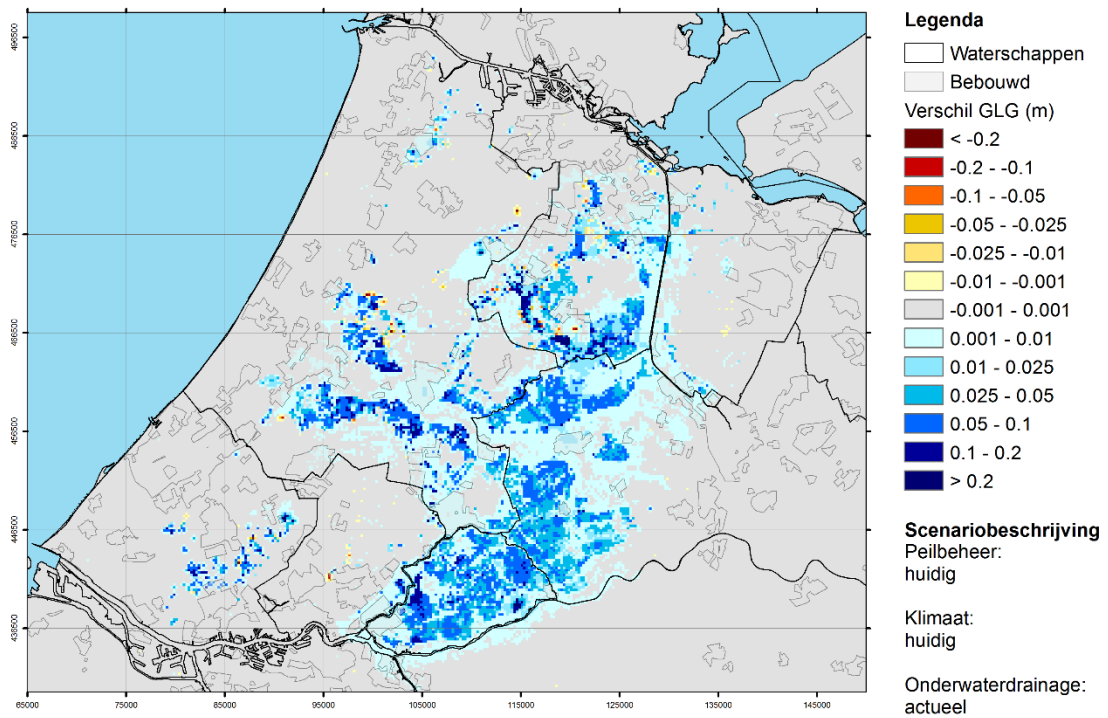
De doorgerekende scenario's zijn opgenomen in Tabel 1.1. In dit hoofdstuk presenteren we alleen een selectie van modelresultaten en verschilkaarten om de effecten van onderwaterdrainage, klimaatverandering en dynamisch peilbeheer inzichtelijk te maken. De gepresenteerde modelresultaten in dit hoofdstuk zijn geen harde werkelijkheid, maar geven eerder een indicatieve schatting van de effecten van onderwaterdrainage. Er zijn voor deze studie geen metingen beschikbaar voor echt droge jaren zoals 2003 en 2018. In zulke jaren kan de grondwaterstandsverhoging groter zijn. In hoofdstuk 4.2 gaan we in op de onzekerheden in de modelbenadering.

3.1 Effecten onderwaterdrainage (resultaten scenario 4-actueel)

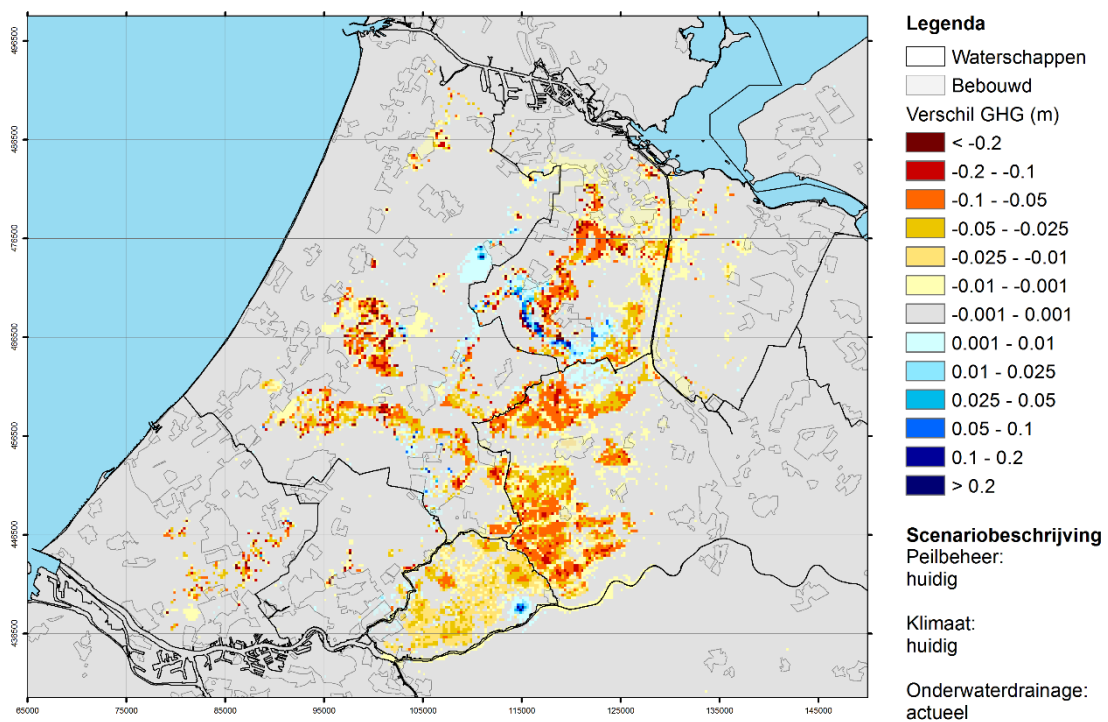
De verhoging van de GLG ligt in dit scenario rond de 5-10 cm (Figuur 3.1), conform de gemiddelde effecten in de pilotonderzoeken. De verhoging van de GLG in de onderwaterdrainage-gebieden straalt ook wat uit naar de omgeving. Veel onderwaterdrains in een gebied hebben derhalve meerwaarde ten opzichte van 'onderwaterdrain-postzegels'. De GHG gaat conform de pilotonderzoeken zo'n 5 cm omlaag (Figuur 3.2). In enkele gebieden gaan zowel de GLG als de GHG omhoog. Deze gebieden hebben door een grote wegzijging lage gemodelleerde grondwaterstanden ten opzichte van het slootpeil, waardoor de drains jaarrond infiltreren en de grondwaterstanden verhogen.

Bij de effecten op de watervraag focussen we op de watervraag voor peilhandhaving in de peilvakken (exclusief boezems). Daarnaast laten we verandering in de watervraag alleen zien voor LSW's met minimaal 10% onderwaterdrainage, zodat de effecten duidelijker zichtbaar zijn. In Figuur 3.3 is te zien dat in dit scenario met onderwaterdrainage de watervraag beperkt toeneemt; gemiddeld is de toename ca. 0.09 mm/dag maar in enkele gebieden ook meer dan 0.25 mm/dag. De relatieve toename in de watervraag is gemiddeld ongeveer 8% (Bijlage B).

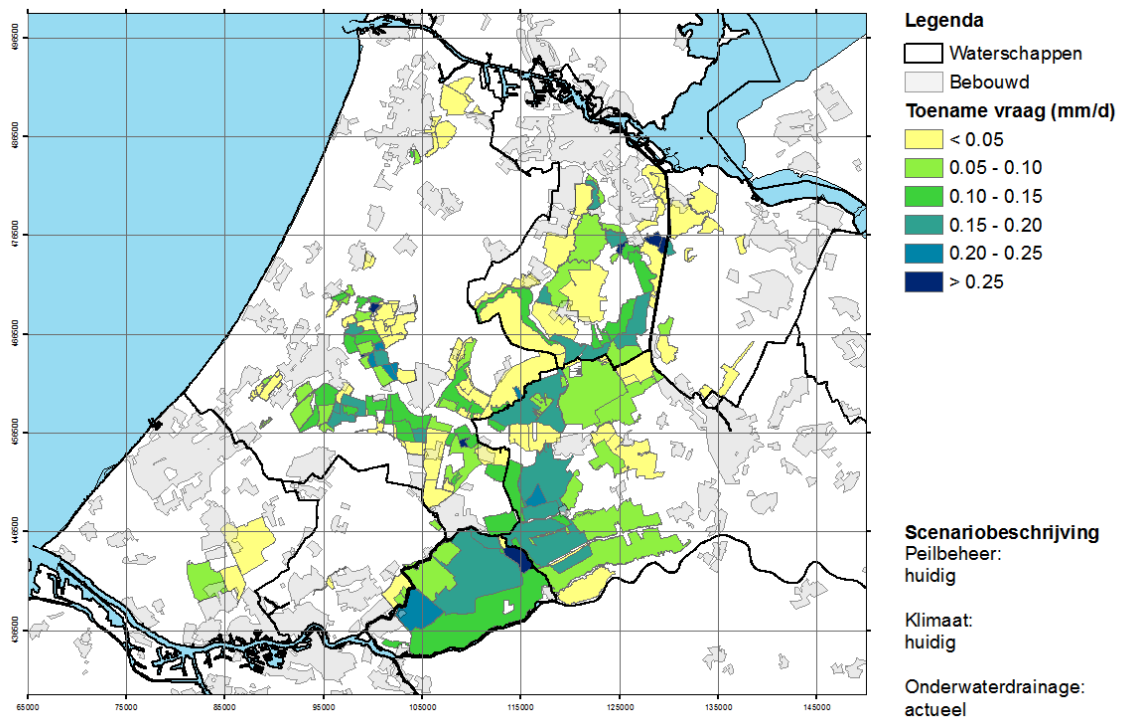
In enkele gebieden neemt de watervraag voor peilhandhaving met meer dan 20% toe. De meerjarig gemiddelde toename in de watervraag is procentueel gezien vergelijkbaar met de toename in de watervraag in een droge periode (zie bijlage C). In absolute hoeveelheden is de toename in een droge zomer wel groter.



Figuur 3.1 Vershil in gemodelleerde GLG tussen het scenario zonder en het scenario met onderwaterdrainage (scenario 4-actueel t.o.v. scenario 1). Een positieve waarde is een verhoging van de GLG.



Figuur 3.2 Vershil in gemodelleerde GHG tussen het scenario zonder en het scenario met onderwaterdrainage (scenario 4-actueel t.o.v. scenario 1). Een negatieve waarde is een verlaging van de GHG.

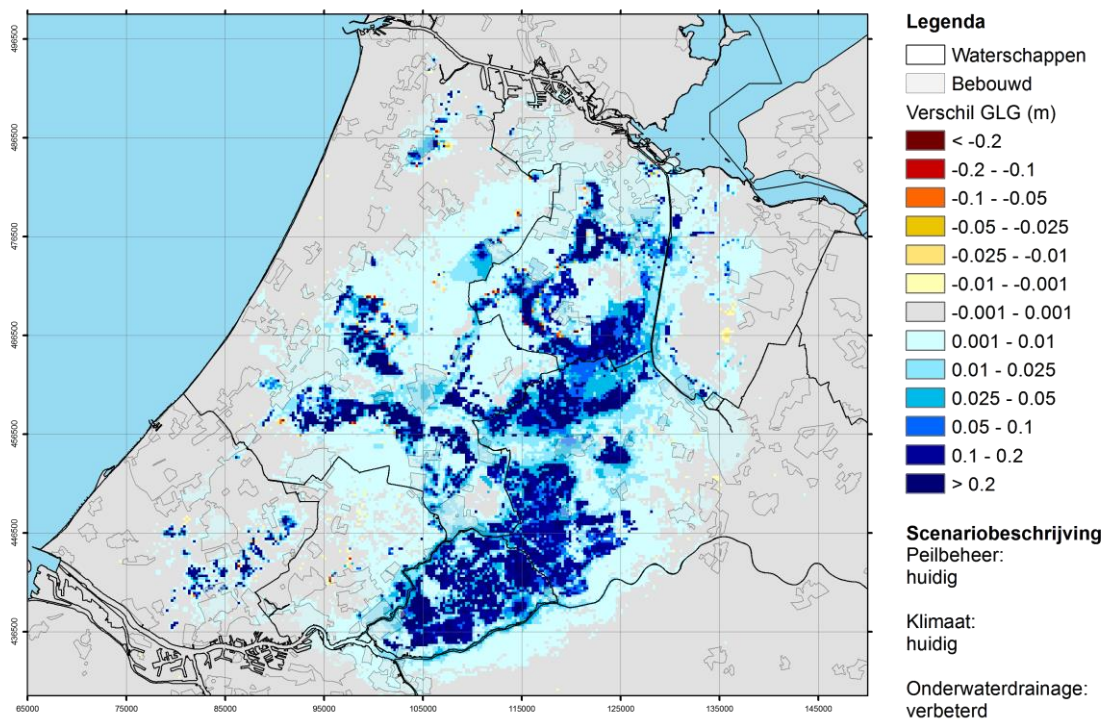


Figuur 3.3 Verskil in gemodelleerde watervraag voor peilhandhaving (exclusief boezem) in juli 2003 voor LSW's met minimaal 10% OWD tussen het scenario zonder en het scenario met onderwaterdrainage (scenario 4-actueel t.o.v. scenario 1). Een positieve waarde is een vergroting van de watervraag. Zie bijlage B voor toename in %.

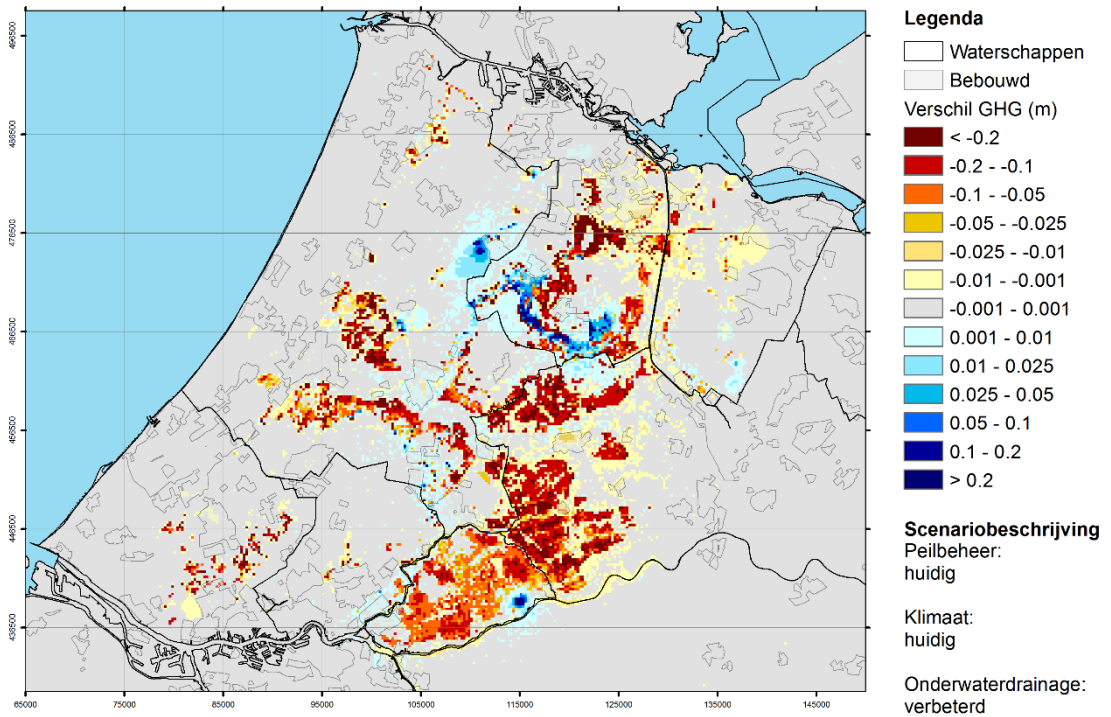
3.2 Effecten verbeterde onderwaterdrainage (resultaten scenario 4-verbeterde OWD)

In het scenario met verbeterde onderwaterdrainage neemt de GLG in de meeste gebieden toe met meer dan 20 cm (Figuur 3.4). De grotere verhoging van de GLG heeft ook meer uitstraling naar de omgeving dan in het scenario met de actuele onderwaterdrainage. De verlaging van de GHG is ook groter, zo'n 10-20 cm.

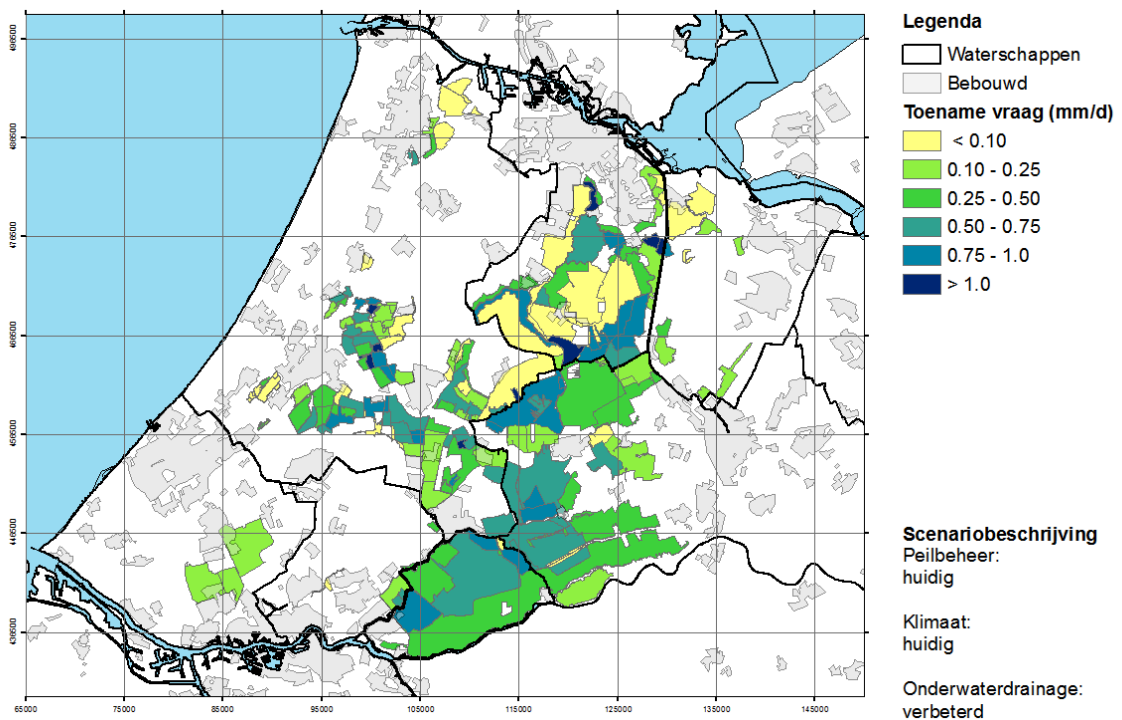
De watervraag in dit scenario neemt fors toe; gemiddeld is de toename ca. 0.4 mm/dag maar in enkele gebieden is de toename meer dan 1 mm/dag. De relatieve toename van de watervraag voor peilhandhaving is gemiddeld 36% en loopt in enkele gebieden op tot boven de 80% (zie Bijlage B). Ook hier geldt dat de meerjarig gemiddelde toename in de watervraag procentueel gezien vergelijkbaar is met de toename in de watervraag in een droge periode (zie bijlage C).



Figuur 3.4 Vershil in gemodelleerde GLG tussen het scenario zonder en het scenario met verbeterde onderwaterdrainage (scenario 4-verbeterde OWD t.o.v. scenario 1). Een positieve waarde is een verhoging van de GLG.



Figuur 3.5 Verschil in gemodelleerde GHG tussen het scenario zonder en het scenario met verbeterde onderwaterdrainage (scenario 4-verbeterde OWD t.o.v. scenario 1). Een negatieve waarde is een verlaging van de GHG.

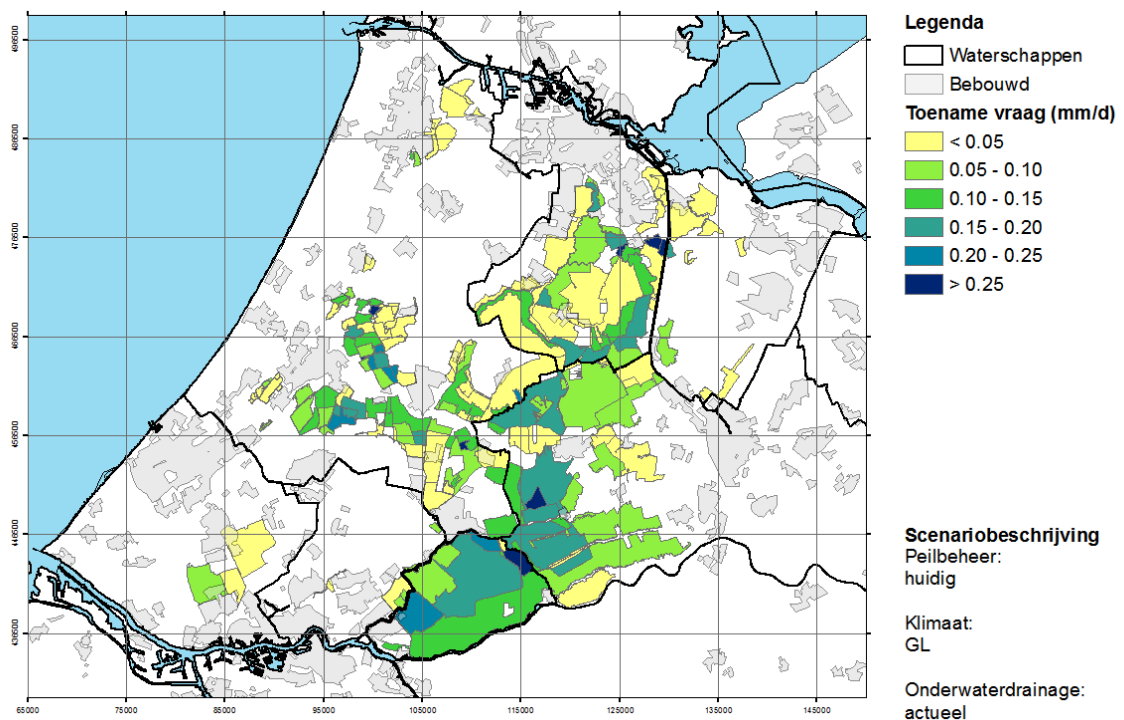


Figuur 3.6 Verschil in gemodelleerde watervraag voor peilhandhaving (exclusief boezem) in juli 2003 voor LSW's met minimaal 10% OWD tussen het scenario zonder en het scenario met verbeterde onderwaterdrainage (scenario 4-verbeterde OWD t.o.v. scenario 1). Een positieve waarde is een vergroting van de watervraag. Zie bijlage B voor toename in %.

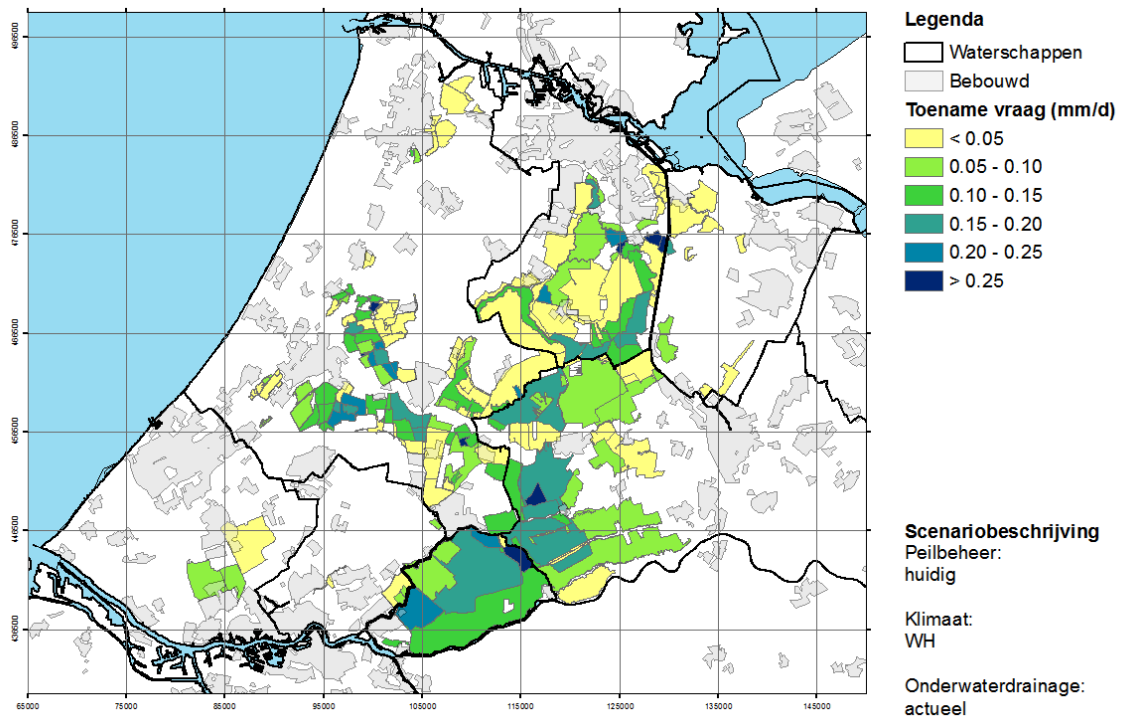
3.3 Effecten onderwaterdrainage bij klimaatverandering (resultaten scenario 5 en 6)

De verschillen in GLG en GHG voor de scenario's met onderwaterdrainage en klimaatverandering zijn weergegeven in Bijlage D. Voor klimaatscenario G_L zijn de effecten op de GLG en GHG vergelijkbaar met scenario 4-actueel met onderwaterdrainage, maar zonder klimaatverandering. In het klimaatscenario W_H is de afname van de GHG ook vergelijkbaar, maar de toename in de GLG is kleiner dan bij het scenario zonder klimaatverandering (scenario 4-actueel).

De watervraag voor een droge maand juli 2003 wordt in Figuur 3.7 en Figuur 3.8 vergeleken tussen de scenario's met klimaatverandering zonder onderwaterdrainage (scenario's 2 en 3) en de scenario's met klimaatverandering en onderwaterdrainage (scenario's 5 en 6). De toename in de watervraag door onderwaterdrainage is in beide gevallen in de meeste gebieden rond de 0.10 mm/dag. Het effect van onderwaterdrainage bij toekomstig klimaat (zowel G_L als W_H) is daarmee iets groter het effect van onderwaterdrainage bij het huidige klimaat (gemiddeld 0.09 mm/dag, Figuur 3.3).



Figuur 3.7 Verskil in gemodelleerde watervraag voor peilhandhaving (exclusief boezem) in juli 2003 voor LSW's met minimaal 10% OWD tussen het scenario met onderwaterdrainage en met huidig klimaat en het scenario met onderwaterdrainage en toekomstig klimaatscenario G_L (scenario 5 t.o.v. scenario 2). Een positieve waarde is een vergroting van de watervraag. Zie bijlage B voor toename in %.

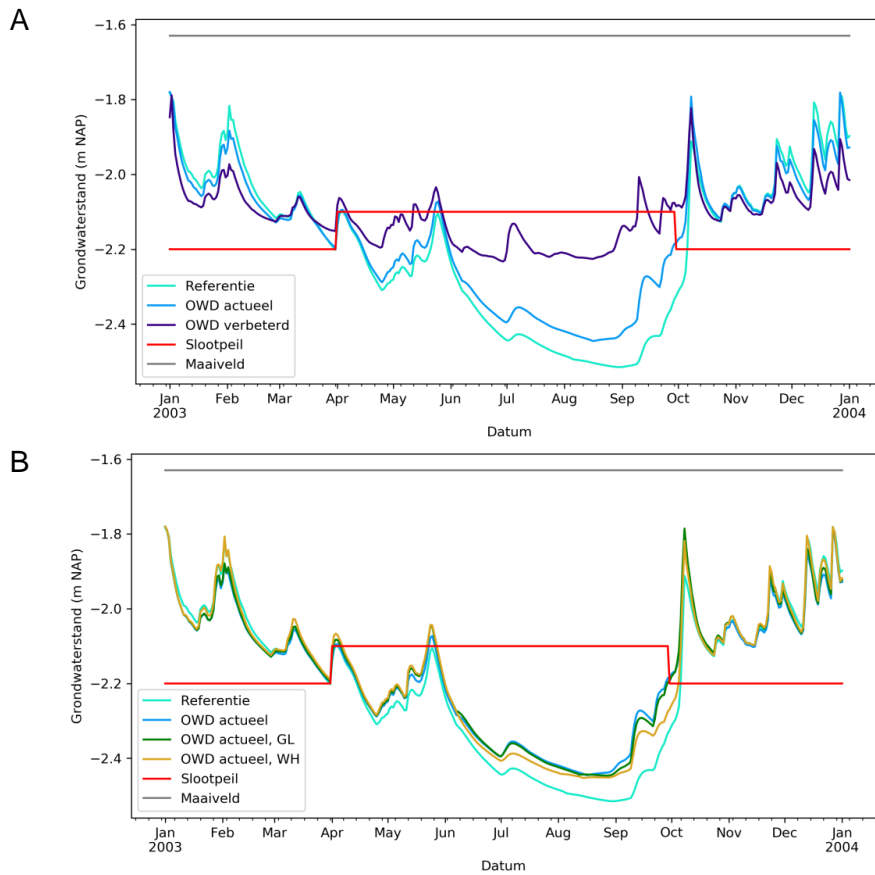


Figuur 3.8 Verschil in gemodelleerde watervraag voor peilhandhaving (exclusief boezem) in juli 2003 voor LSW's met minimaal 10% OWD tussen het scenario met onderwaterdrainage en met huidig klimaat en het scenario met onderwaterdrainage en toekomstig klimaatscenario W_H (scenario 6 t.o.v. scenario 3). Een positieve waarde is een vergroting van de watervraag. Zie bijlage B voor toename in %.

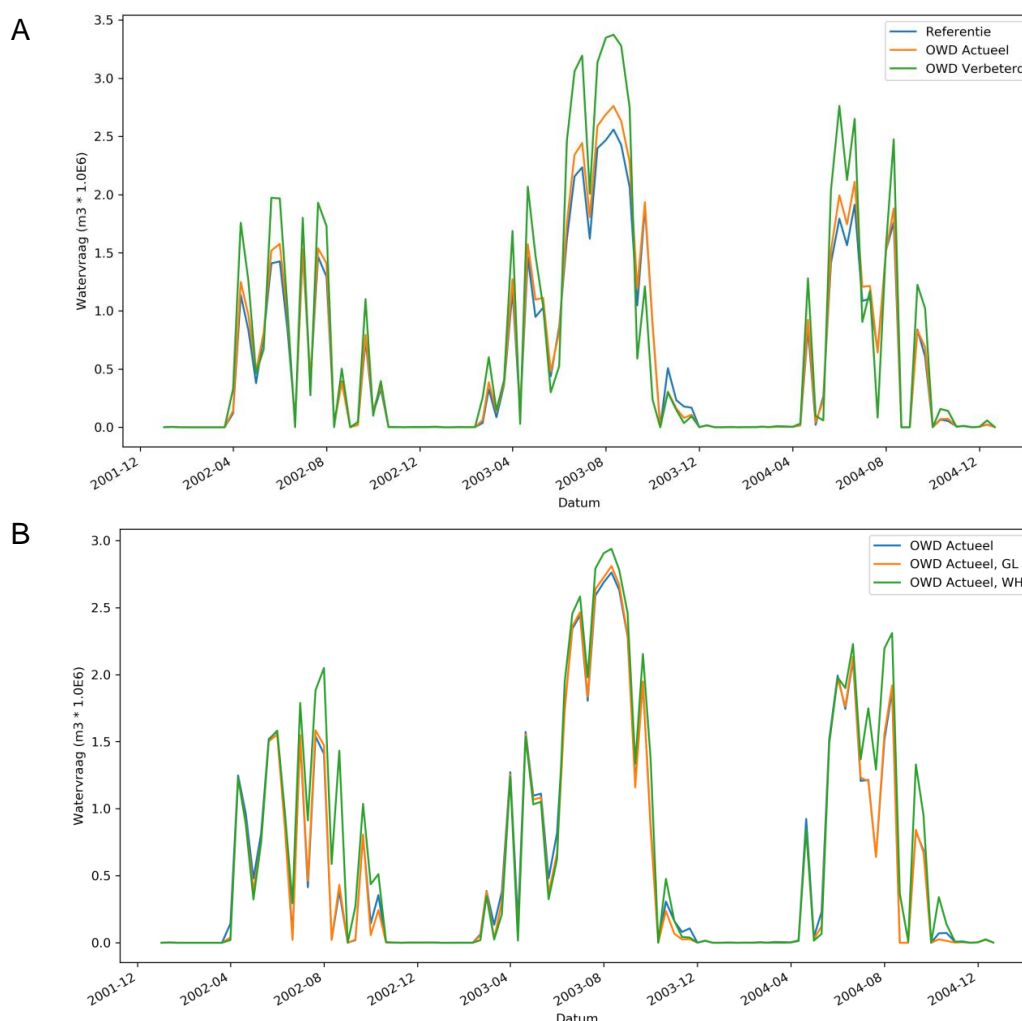
3.4 Tijdreeksen effecten onderwaterdrainage Krimpenerwaard

Voor een beeld van het effect van onderwaterdrainage in de tijd zoomen we in op de resultaten voor een modelcel in de Krimpenerwaard, waar een relatief groot areaal geschikt is voor onderwaterdrainage. We richten ons daarbij op het droge jaar 2003, aangezien de werking van onderwaterdrainage dan het belangrijkste is voor het voorkomen van maaiveldvaling. In Figuur 3.9 is te zien dat in 2003 de gemodelleerde grondwaterstanden met onderwaterdrainage (scenario 4-actueel) zo'n 10-15 cm minder ver uitzakken dan zonder onderwaterdrainage. Bij verbeterde onderwaterdrainage (scenario 4-verbeterde OWD) is het effect op de laagste grondwaterstanden groter, zo'n 25-30 cm. De scenario's met klimaatverandering (scenario 5 en 6) verschillen weinig van het scenario met onderwaterdrainage bij het huidige klimaat (scenario 4-actueel).

In Figuur 3.10 is te zien hoe de watervraag in de Krimpenerwaard zich ontwikkelt in de periode 2002-2004. Met onderwaterdrainage (scenario 4-actueel) neemt de gemodelleerde piek-watervraag voor peilhandhaving in de Krimpenerwaard toe met zo'n 8%. Met verbeterde onderwaterdrainage neemt de gemodelleerde piek-watervraag in de Krimpenerwaard toe met ongeveer 32%. Het klimaatscenario G_L (scenario 5) heeft weinig extra effect op de watervraag. Het klimaatscenario W_H (scenario 6) zorgt in de Krimpenerwaard voor zo'n 2% extra watervraag ten opzichte van onderwaterdrainage bij het huidige klimaat (scenario 4-actueel).



Figuur 3.9 Tijdreeksen van gemodelleerde grondwaterstanden in de Krimpenerwaard voor 2003 voor de scenario's zonder onderwaterdrainage (referentie, scenario 1), met onderwaterdrainage (scenario 4-actueel), met verbeterde onderwaterdrainage (scenario 4-verbeterde OWD)(Figuur A) en onderwaterdrainage in combinatie met klimaatveranderingsscenario's G_L en W_H (scenario 5 en 6)(Figuur B)



Figuur 3.10 Tijdreeksen van de gemodelleerde watervraag voor peilhandhaving van de Krimpenerwaard voor 2002-2004 voor de scenario's zonder onderwaterdrainage (referentie, scenario 1), met onderwaterdrainage (scenario 4-actueel), met verbeterde onderwaterdrainage (scenario 4-verbeterde OWD)(Figuur A) en onderwaterdrainage in combinatie met klimaatverandering scenario's G_L en W_H (scenario 5 en 6)(Figuur B)

3.5 Extra watervraag per waterschap

In Tabel 3.1 wordt de toename in de watervraag voor peilhandhaving in juli 2003 voor de LSW's met minimaal 10% areaal geschikt voor onderwaterdrainage weergegeven. In de tabel is te zien dat er in deze extreem droge maand door onderwaterdrainage zo'n 6 tot 10% extra water nodig is voor peilhandhaving. Bij verbeterde onderwaterdrainage (scenario 4-verbeterde OWD) neemt de watervraag voor peilhandhaving toe met 26-45%.

Tabel 3.1 geeft ook de gemodelleerde toename in de watervraag in combinatie met klimaatverandering (scenario 5 en 6). Voor onderwaterdrainage en klimaatscenario G_L neemt de watervraag voor peilhandhaving toe met 8-11%, voor onderwaterdrainage en klimaatscenario W_H met 13-20%. Dezelfde tabellen in m^3/s zijn opgenomen in Bijlage E. Ook tabellen voor het gehele jaar 2003, voor het natte jaar 1998 en voor de gehele modelperiode van 1998 tot en met 2006 zijn zowel in mm/dag als in m^3/s opgenomen in Bijlage E.

Tabel 3.2 geeft de toenames van de watervraag voor peilhandhaving in juli 2003 voor de waterschappen als geheel. Deze varieert van 2.2% voor Hoogheemraadschap Delfland tot 7.5% voor Hoogheemraadschap Schieland en Krimpenerwaard. De watervraag en de veranderingen zijn kleiner dan in Tabel 3.1 doordat in een deel van het waterschap geen onderwaterdrainage is gemodelleerd. Met klimaatverandering neemt de watervraag voor peilhandhaving toe met 3.6% - 9.3% (G_L) en 12% - 25% (W_H). Dezelfde tabellen voor het gehele jaar 2003, voor het natte jaar 1998 en voor de gehele modelperiode van 1998 tot 2006 zijn zowel in mm/dag als in m^3/s opgenomen in Bijlage E.

Nota bene: De totale watervraag is aanzienlijk groter dan de hier gerapporteerde watervraag voor peilhandhaving (exclusief boezem). Zo wordt in de Knelpuntenanalyse zoetwaterregio West-Nederland (Groot en Graaf, 2018) de totale watervraag voor bijvoorbeeld het Hoogheemraadschap van Rijnland voor juli 2003 op ongeveer 18 m^3/s geschat (versus 6 m^3/s in tabel E2 of 0.56 mm/dag in tabel 3.2). In de knelpuntenanalyse is de 18 m^3/s namelijk verder onder te verdelen in:

- 6 m^3/s doorspoeling boezem
- 2 m^3/s peilbeheer boezem
- 10 m^3/s watervraag districten (peilvakken)

Van die 10 m^3/s wordt circa 6 m^3/s gebruikt voor peilhandhaving. De resterende watervraag betreft voornamelijk doorspoeling van gebieden in verband met de waterkwaliteit. De relatieve bijdrage aan de watervraag van de bovengenoemde balanst termen varieert aanzienlijk tussen de verschillende waterschappen.

Tabel 3.1 Verandering in de gemodelleerde watervraag ten behoeve van peilhandhaving **per waterschap voor de LSW's met meer dan 10% onderwaterdrainage** in mm/d voor juli 2003 voor de scenario's met onderwaterdrainage (4-actueel), met verbeterde onderwaterdrainage (4-verbeterde OWD) en klimaatscenario's G_L en W_H .

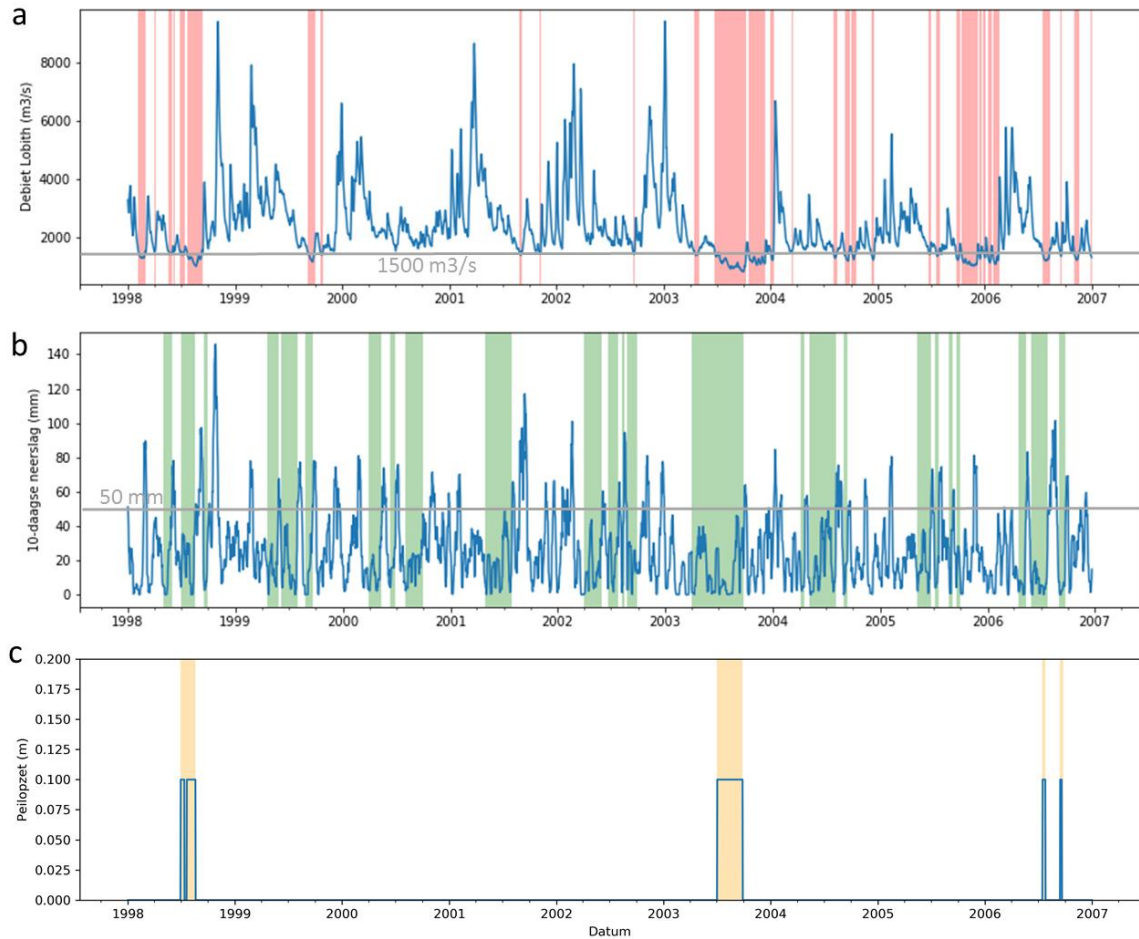
	scenario1 Referentie (mm/d)	scenario 4a OWD actueel (mm/d)	scenario 4b OWD verbeterd (mm/d)	scenario 5 G_L met OWD (mm/d)	scenario 6 W_H met OWD (mm/d)
HDSR	1.04	1.14 (+9.2%)	1.52 (+45%)	1.15 (+11%)	1.21 (+16%)
AGV	0.94	1.00 (+6.3%)	1.24 (+32%)	1.02 (+8.5%)	1.06 (+13%)
HHR	1.21	1.28 (+6.1%)	1.58 (+31%)	1.31 (+8.3%)	1.39 (+15%)
HHD	0.65	0.70 (+8.4%)	0.82 (+26%)	0.72 (+11%)	0.78 (+20%)
HHSK	1.53	1.7 (+9.5%)	2.05 (+34%)	1.7 (+11%)	1.79 (+17%)
Tot	1.16	1.25 (+7.8%)	1.57 (+36%)	1.27 (+9.4%)	1.34 (+15.6%)

Tabel 3.2 Verandering in de gemodelleerde watervraag ten behoeve van peilhandhaving **per waterschap als geheel** in mm/d voor juli 2003 voor de scenario's met onderwaterdrainage (4-actueel), met verbeterde onderwaterdrainage (4-verbeterde OWD) en klimaatscenario's G_L en W_H .

	scenario1 Referentie (mm/d)	scenario 4 OWD actueel (mm/d)	scenario 4 OWD verbeterd (mm/d)	scenario 5 G_L met OWD (mm/d)	scenario 6 W_H met OWD (mm/d)
HDSR	0.65	0.68 (+4.6)	0.8 (+22%)	0.69 (+6.2%)	0.73 (+12%)
AGV	0.81	0.83 (+2.5%)	0.92 (+13%)	0.85 (+4.9%)	0.91 (+12%)
HHR	0.56	0.57 (+2.9%)	0.64 (+14%)	0.58 (+3.6%)	0.64 (+14%)
HHD	0.36	0.37 (+ 2.2%)	0.39 (+7.1%)	0.38 (+5.6%)	0.45 (+25%)
HHSK	0.75	0.81 (+7.5%)	0.95 (+27%)	0.82 (+9.3%)	0.89 (+19%)
Tot	0.66	0.69 (+3.7%)	0.78 (+18.0%)	0.70 (+5.6%)	0.76 (+14%)

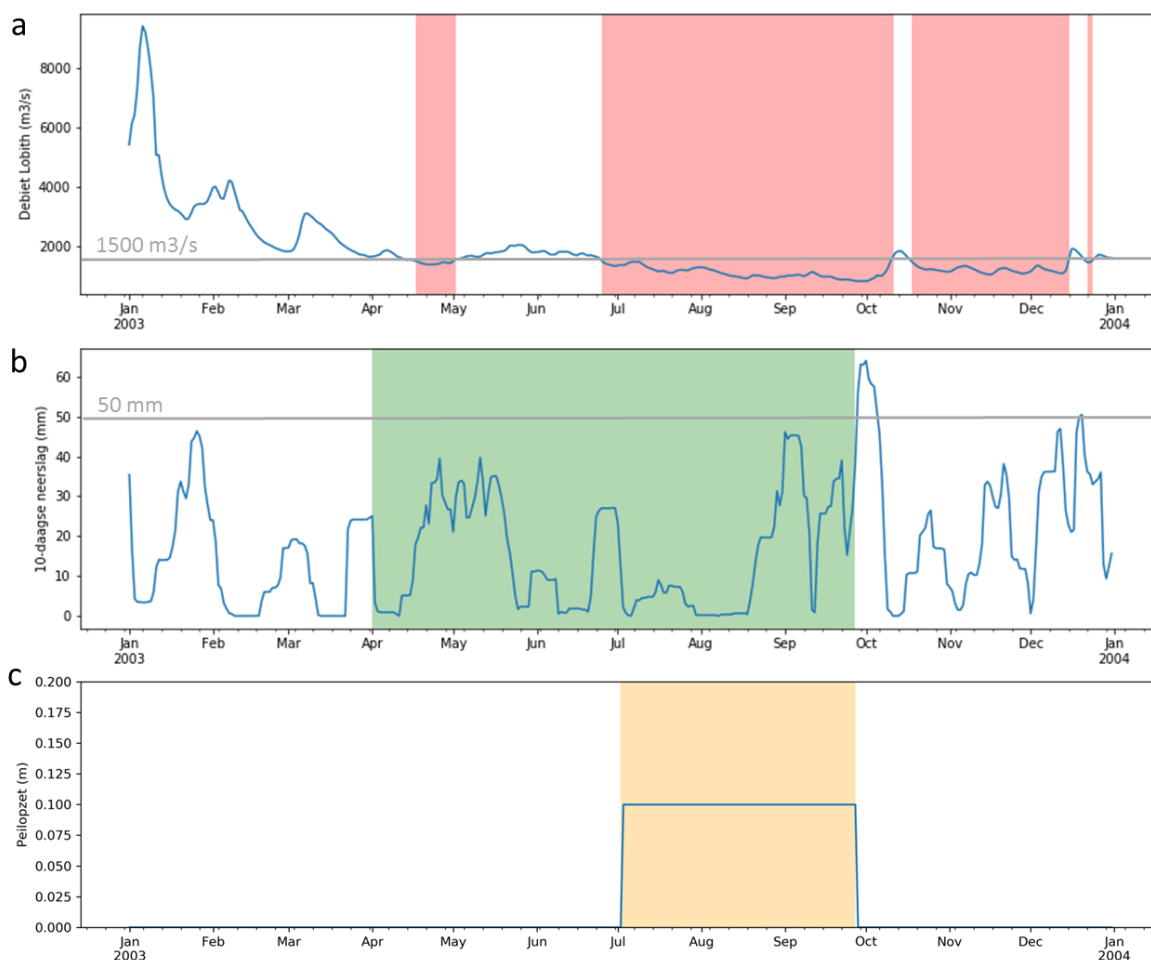
3.6 Onderwaterdrainage in combinatie met dynamisch peilbeheer (scenario 7, 8, 9)

In dit hoofdstuk gaan we in op de mogelijkheden om de extra watervraag door onderwaterdrainage te compenseren met dynamisch peilbeheer. De perioden die geselecteerd zijn voor 10 cm extra peilopzet in de gebieden met onderwaterdrainage zijn weergegeven in Figuur 3.11. Er zijn tussen 1998 en 2006 geregeld perioden met een Rijnafvoer bij Lobith van minder dan 1500 m³/s, voornamelijk in 1998, 2003, en 2005 (roze in Figuur 3.11a). Er zijn ook elke zomer perioden die beginnen met minder dan 5 mm neerslag in de 10 komende dagen en die eindigen als er meer dan 50 mm neerslag in de komende 10 dagen komt (groen in Figuur 3.11b). Deze inschatting is overigens gebaseerd op de daadwerkelijk gemeten neerslag, want de 10-daagse voorspellingen van destijds zijn niet beschikbaar. Gecombineerd zijn er maar enkele perioden die voldoen aan de criteria voor extra peilopzet in het scenario met dynamisch peilbeheer (oranje in Figuur 3.11c). In 1998, 2003 en 2006 wordt het zomerpeil 10 cm hoger gezet.



Figuur 3.11 Selectie van de periodes met peilopzet (a) de Rijnafvoer bij Lobith en de periodes dat die lager is dan $1500 \text{ m}^3/\text{s}$, (b) de periode in de zomer (april t/m september) met minder dan 50 mm neerslag in de komende 10 dagen en (c) de geselecteerde periode met peilopzet.

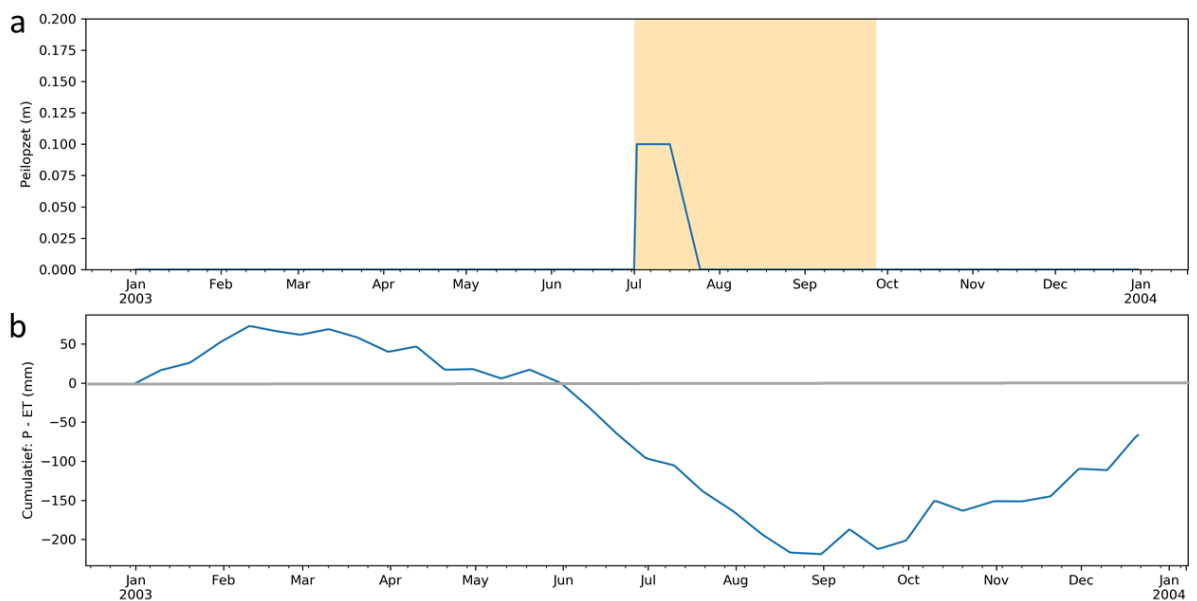
De extra peilopzet in de geselecteerde periodes in de droge zomers komt gemiddeld ongeveer eens in de 4 jaar voor en heeft daardoor maar weinig effect op de GLG, GHG en de langjarige waterbalans. We zoomen daarom voor de resultaten van dit scenario in op het droge jaar 2003. In Figuur 3.12 is te zien dat volgens de gekozen criteria het peil in een groot deel van de zomer opgezet wordt; vanaf begin juli, als de Rijnafvoer tot onder de $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ daalt, tot eind september, als er meer dan 50 mm neerslag aan komt.



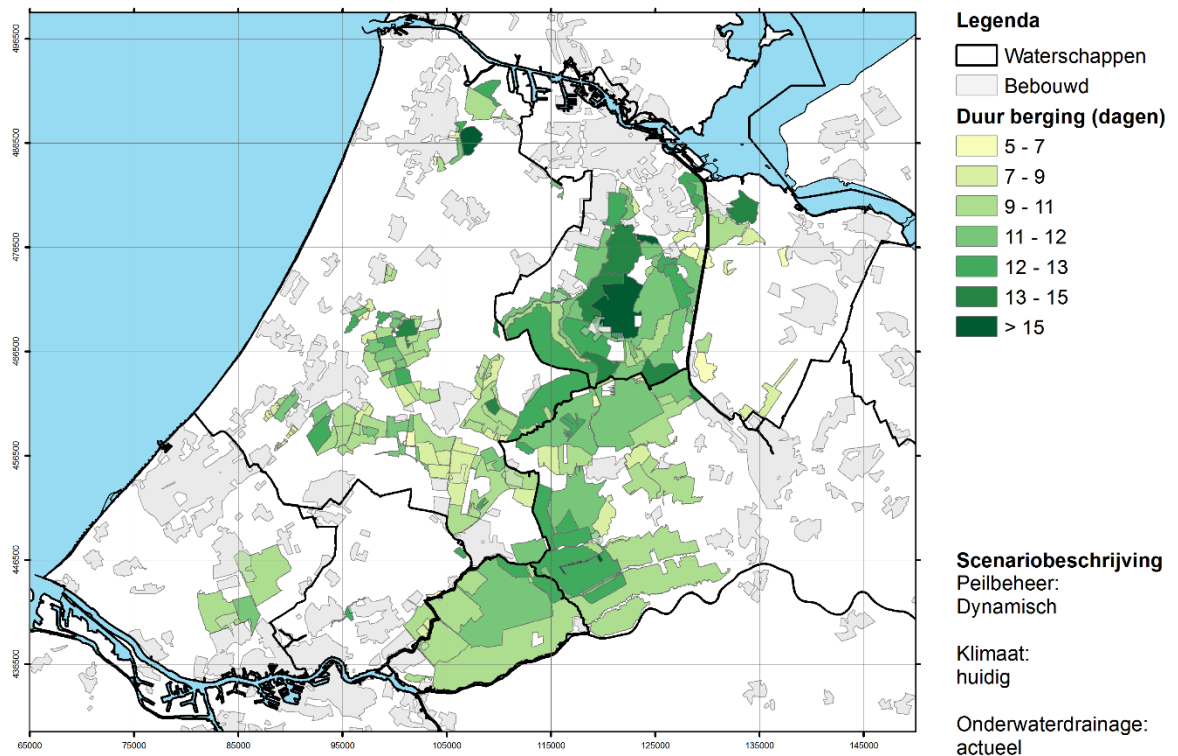
Figuur 3.12 Selectie van de periode met peilopzet in 2003: (a) de Rijnafvoer bij Lobith en de periodes dat die lager is dan 1500 m³/s, (b) de periode in de zomer (april t/m september) met minder dan 50 mm neerslag in de komende 10 dagen en (c) de geselecteerde periode met peilopzet.

Het opzetten van het oppervlaktewaterpeil zorgt voor extra berging, zowel in het oppervlaktewatersysteem (ca. 1/3) als in het grondwater (ca. 2/3). De extra berging is gebiedsgemiddeld ca. 30 mm. Met name de hoeveelheid extra berging in het grondwater is onzeker. Het model berekent gemiddeld zo'n 8 cm hogere grondwaterstanden als gevolg van de peilopzet. De werkelijke toename van de grondwaterstanden hangt onder meer af van de infiltratiesnelheid vanuit de sloten de percelen in. Bovendien gaan we in de periode met peilopzet uit van een min of meer stationaire situatie waarin het grondwaterpeil in evenwicht raakt met het oppervlaktewaterpeil. De grondwaterstanden zullen in werkelijkheid enkele dagen tot weken nodig hebben om mee te stijgen met het oppervlaktewater. Voor een optimale benutting van de berging in het grondwater is het zaak het oppervlaktewaterpeil al enige weken voor de aanvang van watertekorten opgezet te hebben. Dit gebeurt in dit scenario door het peil al op te zetten als de afvoer van de Rijn onder de 1500 m³/dag komt. Voor een meer exacte berekening van de extra berging in het grondwater zou een detailmodel van een kleiner gebied beter zijn.

Zodra er watertekorten ontstaan (Rijnaafvoer <math><1200\text{ m}^3/\text{s}</math>) stoppen we modelmatig tijdelijk de waterinlaat en laten we het opgezette oppervlaktewaterpeil weer uitzakken tot zomerpeil (Figuur 3.13). Voor de periode dat het peil uitzakt, kan het bespaarde inlaatwater gebruikt worden om watertekorten elders op te vangen. De snelheid waarmee het peil uitzakt en daarmee de periode die zonder inlaatwater overbrugd kan worden is sterk gebiedsspecifiek. Deze tijdwinst is ca. 11 dagen voor het in Figuur 3.13 gepresenteerde voorbeeldgebied in de Krimpenerwaard. Na deze periode is het peil weer terug op zomerpeil en zijn weer de normale inlaatwaterhoeveelheden nodig om dat te handhaven. In Figuur 3.14 is de tijdwinst ruimtelijk weergegeven voor de verschillende LSW's met onderwaterdrainage. De duur is vooral afhankelijk van de geohydrologische situatie. In gebieden met relatief veel kwel (bijv. Groot Mijdrecht) is de waterbehoefte kleiner en kan het langer dan 2 weken duren voordat het peil is teruggezakt naar zomerpeil. In gebieden met infiltratie kan dit al binnen 1 week het geval zijn.



Figuur 3.13 Verloop van de peilopzet ten opzichte van zomerpeil (a) en het cumulatief vochttekort (b) in 2003 voor een voorbeeldgebied in de Krimpenerwaard.



Figuur 3.14 Duur van het gebruik van de door 10 cm peilopzet gecreëerde extra berging door dynamisch peilbeheer in combinatie met onderwaterdrainage.

Voor 2003 zorgt 1-2 weken zonder waterinlaatbehoefte voor de geselecteerde veengebieden voor een kortdurende verlichting van de watertekorten in de omgeving. De Rijnafvoer in 2003 blijft echter laag en het vochttekort blijft oplopen tot eind augustus (Figuur 3.12 en Figuur 3.13) en 1-2 weken is kort gezien de duur van deze droogte. De kortere perioden van droogte zoals in 1998 en 2006 kunnen met 1-2 weken nagenoeg helemaal overbrugd worden.

De resultaten voor de klimaatscenario's (8 en 9) geven geen extra informatie ten opzichte van het gepresenteerde resultaat voor het huidige klimaat (scenario 7). Uit de eerdere scenario's is al gebleken dat het effect van klimaatverandering klein is ten opzichte van het effect van onderwaterdrainage. Daarnaast zoomen we voor een goed beeld van de resultaten van het scenario met dynamisch peilbeheer in op het extreme jaar 2003, waarvoor de toekomstige klimaatscenario's geen aanvulling bieden. Wel is de verwachting dat dergelijke langdurige droge periodes in het toekomstig klimaat vaker voor zullen komen (KNMI, 2014).

4 Discussie

4.1 Antwoord op onderzoeksvragen

Het hoofddoel van dit onderzoek was de verandering in de watervraag in droge perioden door onderwaterdrainage voor West-Nederland in beeld te brengen. Hier volgen beknopte antwoorden op de onderzoeksvragen van deze studie:

- Wat zijn de effecten van onderwaterdrainage op de regionale watervraag in perioden met watertekorten?

Om de effecten duidelijk te maken focussen we bij het antwoord op deze vraag op de verandering in de watervraag voor peilhandhaving in de LSW's die voor minimaal 10% geschikt zijn voor onderwaterdrainage. De resultaten van het LHM inclusief onderwaterdrainage laten zien dat deze watervraag in een droge periode (juli 2003) 0.09 mm/dag (ca. 8%) hoger is dan in de situatie zonder onderwaterdrainage ten opzichte van een totaal van 1.16 mm/dag voor peilhandhaving in het referentiegeval. Voor de gehele regio bedraagt de toename 0.03 (ca. 4%) mm/dag op 0.66 mm/dag. Ook langjarig is de toename in de watervraag rond de 8% (Bijlage B), al gaat het in minder droge periodes over lagere volumes. Op basis van in veldproeven gemeten effecten gaan we uit van een relatief beperkte gemiddelde verhoging van de GLG van 5-10 cm (scenario 4-actueel). Als de infiltratie-effectiviteit van onderwaterdrainage vergroot wordt, dan zal de watervraag verder toenemen. Bij een gemiddelde verhoging van de GLG van 30-40 cm (scenario 4-verbeterde OWD), berekenen we een extra watervraag van ongeveer 0.4 mm/dag (ca. 36%) (Figuur 3.6).

- Wat zijn de effecten van onderwaterdrainage op de regionale watervraag bij toekomstig klimaat (KNMI-scenario's G_L en W_H)?

De effecten van klimaatverandering zijn klein ten opzichte van de effecten van onderwaterdrainage. Het klimaatscenario met de grootste veranderingen (W_H) zorgt wel voor een extra toename van de watervraag, maar die is het grootst in de gebieden zonder onderwaterdrainage. In de Krimpenerwaard, een gebied met een groot potentieel areaal voor onderwaterdrainage, is de piek-watervraag in 2003 met onderwaterdrainage bij W_H klimaat 2% hoger dan met onderwaterdrainage bij huidig klimaat.

- Is het mogelijk de grotere watervraag door onderwaterdrainage voor een deel te compenseren met dynamisch peilbeheer (met huidig en toekomstig klimaat)?

De mogelijkheden om de grotere watervraag met dynamisch peilbeheer te compenseren zijn vooral bij langere droogte beperkt en vergen peilaanpassingen op basis van onder meer de onzekere weervoorspellingen. Als de peilen voorafgaand aan watertekorten op het goede moment verhoogd zijn, dan kan de waterinlaat bij aanvang van de watertekorten 1 week (infiltratiegebieden) tot 2 weken (kwelgebieden) gestopt worden totdat de peilen weer uitgezakt zijn tot het zomerpeil. Daarna zijn weer de normale inlaatwaterhoeveelheden nodig om het zomerpeil te handhaven.

4.2 Uitgangspunten, aannamen en onzekerheden in de modellering

Voor het kwantificeren van (veranderingen in) grondwaterstanden en waterfluxen met een hydrologisch model zijn altijd aannamen en versimpelingen ten opzichte van de werkelijkheid nodig. In hoofdstuk 2 is het LHM en de aanpak voor de implementatie van onderwaterdrainage, klimaatverandering en dynamisch peilbeheer beschreven. In deze paragraaf gaan we in op een aantal onzekerheden in de modellering en de mogelijke invloeden op de resultaten. De nadruk ligt daarbij op de onzekerheden in de schematisatie van de bovenste 5-10 meter, omdat die de meeste invloed hebben op de effectberekeningen voor onderwaterdrainage. In dat opzicht zijn de belangrijkste onzekerheden die in het LHM kunnen zorgen voor verschillen tussen gemodelleerde en werkelijke grondwaterstanden en waterfluxen:

- *De schematisatie van de bodemopbouw, infiltratiecapaciteit en de verdeling tussen infiltratie en laterale afstroming*
Op het niveau van individuele percelen is weinig bekend over de bodemopbouw, infiltratiecapaciteit en eventuele verdichte lagen in de ondergrond. Deze kenmerken zijn wel belangrijk voor de verdeling van het neerslagwater over de verschillende routes naar het oppervlaktewater (oppervlakkig, bovenste grondwater, drains, diep grondwater). De bodemkenmerken in het LHM zijn gebaseerd op de karakterisering van de bodemsoorten in de bodemkaart en de eigenschappen van het topsysteem die per geohydrologische eenheid (hydrotype) zijn ingeschat. De schematisering van de ondiepe ondergrond kan verbeterd worden door GEOTOP te implementeren in het LHM. Daarnaast bieden recent beschikbaar gekomen drainage-archieven van de Dienst Landelijk Gebied (DLG) waardevolle hydrologische meetinformatie van percelen.
- *De schematisatie van de grondwater-oppervlaktewaterrelaties*
Specifiek voor de relatie tussen grond- en oppervlaktewater is de aanname van de vaste zomer- en winterpeilen in de sloten belangrijk (indien de peilen niet uitzakken door onvoldoende waterbeschikbaarheid). In werkelijkheid fluctueren de oppervlaktewaterpeilen rond deze streefpeilen, wat ook veel invloed kan hebben op de grondwaterstanden en de fluxen vanuit het grondwater. Afwijkingen ten opzichte van het streefpeil spelen wel vooral in natte perioden; in droge periode is het bij voldoende waterbeschikbaarheid makkelijker om het streefpeil te handhaven.
- *De berekening van de verdamping*
De berekening van de actuele verdamping in het LHM is onzeker, vooral rond extreme situaties zoals de droge maand juli 2003. In de voor deze studie gebruikte LHM versie 3.4.0 is voor veenweidegebieden de berekening van verdamping wel al verbeterd op basis van eerder geconstateerde verschillen met de gemeten verdamping (Bos-Burgering et al., 2018).
- *De grote gradiënten aan de randen van polders en/of peilgebieden in West Nederland*
Op de randen van polders en peilgebieden komen in West Nederland vaak grote overgangen in oppervlaktewaterpeilen voor. De hydrologische gradiënten die op zulke plekken ontstaan zijn te groot om goed te modelleren met de 250 m resolutie van het LHM. Voor de onderwaterdrainage in kleine veengebieden naast een diepere polder kan het zijn dat de infiltratie in het LHM onderschat wordt.

Vooraf voor de berekende grondwaterstanden zijn er veel mogelijkheden om de uitkomsten van het LHM te controleren op basis van grondwaterstandsmetingen. De verschillen tussen de gemeten en berekende grondwaterstanden zijn over het algemeen beperkt, maar kunnen relatief groot zijn op plaatsen met grote hydrologische gradiënten, bijvoorbeeld tussen polders en boezems. De waterbalansfluxen zijn in de meeste gevallen niet direct te valideren aan de hand van metingen. Ook voor de fluxen geldt dat de onzekerheden het grootst zijn bij grote hydrologische gradiënten.

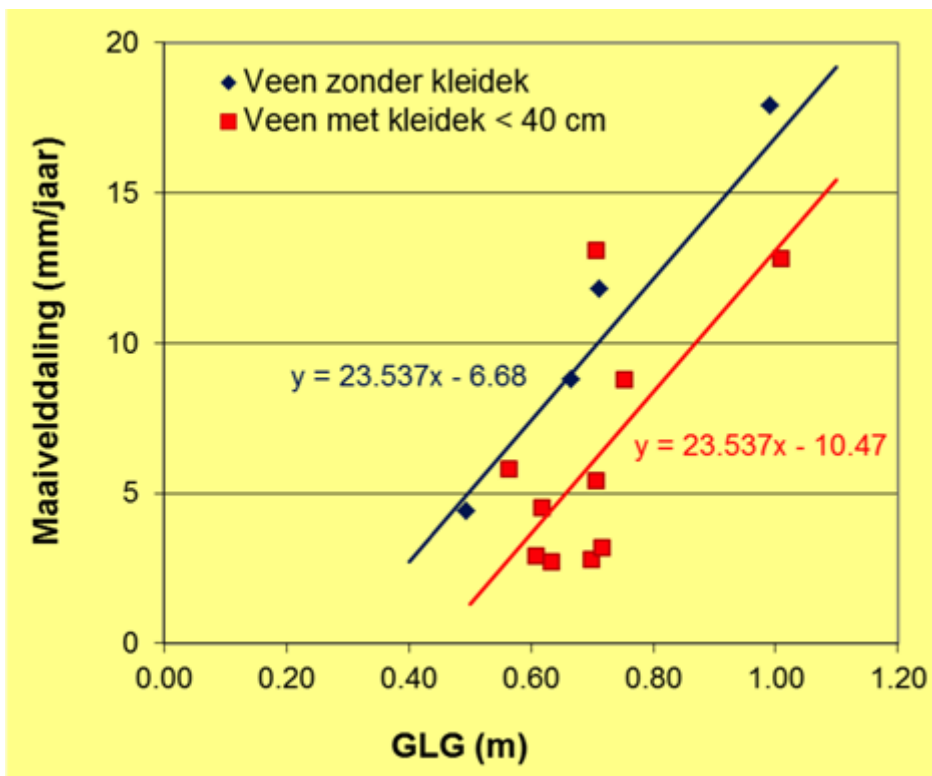
Specifiek voor de implementatie van onderwaterdrainage via de River-package van Modflow hebben de volgende aannamen invloed:

- *Het areaal geschikt voor onderwaterdrainage*
 Bij iets andere selectiecriteria voor de gebieden die geschikt zijn voor onderwaterdrainage kan het areaal flink wijzigen. Als bijvoorbeeld voor de minimale drooglegging 30 cm in plaats van 40 cm gekozen wordt, dan neemt het areaal toe met bijna 7000 ha (van 11% naar 13% van het totale areaal). De gemodelleerde effecten op de grondwaterstanden en de watervraag nemen dan ook toe.
- *De aanname dat de waterdruk in de onderwaterdrains altijd hetzelfde is als de zomer- en winterpeilen in de sloten*
 Bij de implementatie van onderwaterdrainage in de river-package worden de oppervlaktewaterpeilen ook toegekend aan de drains. Dit betekent dat de waterdruk van de drains in het model overal gelijk is en constant in de tijd (met uitzondering van de overgang tussen zomer- en winterpeil). In werkelijkheid dringt de waterdruk van het oppervlaktewaterpeil niet altijd volledig door tot aan het einde van de drains. Dit is tot op zekere hoogte verwerkt in de aangenomen weerstanden voor de onderwaterdrainage, waardoor het effect gemiddeld over de tijd vergelijkbaar is, maar in werkelijkheid treedt waarschijnlijk meer fluctuatie van de infiltratie in de tijd op.
- *De aanname van een vaste infiltratie- en drainageweerstand van de onderwaterdrains in tijd en ruimte*
 De drainage- en infiltratiefluxen en dus ook de invloed van onderwaterdrainage op de grondwaterstanden hangen af van drainage- en infiltratieweerstanden. De drainage- en infiltratieweerstanden van de drains in het model zijn constant in ruimte en tijd. In werkelijkheid kunnen de infiltratie- en drainageweerstanden per drain verschillen, kunnen ze in de tijd veranderen en zijn ze afhankelijk van de grondwaterstand, en de mate van onderhoud.

De uiteindelijk gebruikte infiltratie- en drainageweerstand (500 en 250 dagen) zijn de resultante van een uitmiddeling van alle kleinschalige variaties binnen individuele percelen. Bij deze weerstanden komen de globale effecten van onderwaterdrainage overeen met het gemiddelde effect uit de veldproeven (5-10 cm verhoging laagste grondwaterstanden, ca. 5 cm verlaging hoogste grondwaterstanden). In de veldproeven varieert de effectiviteit echter sterk per perceel door uiteenlopende, in sommige gevallen door onduidelijke oorzaken. Deze variatie tussen individuele proefpercelen kan niet gereconstrueerd worden in de 250x250 m modelcellen van het LHM. Voor de kwantificering van het grootschalige effect op de watervraag nemen we aan dat het gemiddelde effect van de onderwaterdrainage gelijk is aan het gemiddelde effect in de veldproeven.

4.3 Effecten in relatie tot reductie maaiveldddaling

Een grotere effectiviteit van onderwaterdrainage op de laagste grondwaterstanden dan de 5-10 cm in de veldproeven is gewenst voor een substantiële vermindering van maaiveldddaling. In Figuur 4.1 is te zien dat een verhoging van de GLG met 5-10 cm niet altijd voor een duidelijke reductie in de maaiveldddaling zorgt (1-2 mm wat ook binnen de foutenmarge van het regressiemodel in Figuur 4.1 ligt). Door verbeteringen in aanleg en ontwerp van onderwaterdrainage, of door het introduceren van pompgestuurde onderwaterdrainage (Hoving et al., 2018) is een grotere infiltratie en een grotere verhoging van de laagste grondwaterstanden mogelijk. Over de effecten van verschillende aanlegvarianten van onderwaterdrainage is echter nog weinig bekend. Wanneer het lukt om de laagste grondwaterstanden met bijvoorbeeld 30-40 centimeter te verhogen, dan zal de verandering in de watervraag liggen rond de berekening met de lagere drainage- en infiltratieweerstanden (van 50 en 60 dagen). Dergelijke verhoging van de GLG zijn gewenst voor een duidelijk en structureel effect op maaiveldddaling. Een 30-40 cm zorgt volgens de regressieformule in Figuur 4.1 voor zo'n 9 mm (ca. 80%) minder maaiveldddaling



Figuur 4.1 Relatie GLG – maaiveldddaling (Van den Akker et al., 2007).

4.4 Onzekerheden in verband met beschikbaarheid van meetgegevens

Voor het goed modelleren van de grootschalige effecten van onderwaterdrainage zijn goede metingen nodig van proefpercelen en proefpolders. De uitgevoerde pilots (zie hoofdstuk 2.2) vullen deze behoefte aan meetinformatie niet volledig in. Aanvullend op deze pilots is er voor meer zekerheid over de effecten van onderwaterdrainage op de watervraag nog behoefte aan de volgende meetinformatie:

- *Metingen van langjarige effecten*
De meeste pilots hebben meetreeksen voor 1 of 2 jaar vanaf de aanleg van de drains. Naar verwachting nemen de drainage- en infiltratieweerstand van de drains na verloop van tijd toe. De verminderde werking is deels weer te verhelpen door onderhoud aan de drains. Of en hoe snel de weerstand afneemt en over de relatie tussen de weerstand en (de frequentie van) het onderhoud is niets bekend. Er is daardoor ook geen duidelijkheid over het langjarig gemiddelde effect van onderwaterdrainage op de grondwaterstanden.
- *Metingen aan de effectiviteit van verschillende aanlegvarianten*
De eerste pilots met onderwaterdrainage hebben geleid tot nieuwe aanlegvarianten, zoals minder lange drains en verzamelputten om infiltratie van slootbagger te voorkomen en de kwetsbaarheid van de eindbuizen voor bijvoorbeeld slootonderhoud te minimaliseren. Over de verschillen in effectiviteit tussen deze aanlegvarianten is nog weinig bekend. Ook is er nog weinig inzicht in hoe de aanlegvarianten uitpakken in gebieden die verschillen in veentype, drooglegging, infiltratie- of kwelflux, etc.
- *Metingen van effecten in droge jaren*
Er zijn nog geen meetresultaten van effecten van onderwaterdrainage op de grondwaterstanden in extreem droge jaren. Juist in jaren als 2003 en 2018 zou onderwaterdrainage uitzakkende grondwaterstanden en veenoxidatie moeten voorkomen. In 2003 waren de experimenten met onderwaterdrainage nog niet gestart. In 2018 liep er in Zegveld nog wel een pilot met zowel conventionele onderwaterdrainage als pompgestuurde onderwaterdrainage (Hoving et al, 2018). De metingen van deze pilot voor het droge jaar 2018 zijn nog niet verwerkt en niet beschikbaar voor deze studie.
- *Metingen van effecten van onderwaterdrainage op fluxen*
Binnen de pilots met onderwaterdrainage ligt vaak de focus op het meten van grondwaterstanden. Voor een beter beeld van de invloed op de watervraag zouden metingen van drainage- en infiltratiefluxen nuttige informatie opleveren. Door de aanleg van onderwaterdrainage kunnen de waterbalans en de bijdragen van verschillende hydrologische routes (oppervlakkige afstroming, drains, ondiepe en diepere grondwaterroutes) veranderen en deze veranderingen komen niet goed in beeld met alleen grondwaterstandsmetingen.

4.5 Aanbevelingen

De voorgaande 3 paragrafen kunnen voor een groot deel al gelezen worden als aanbevelingen. We destilleren hieruit de volgende hoofd-aanbevelingen:

- Er is behoefte aan meer langjarige meetreeksen van effecten van onderwaterdrainage op grondwaterstanden, waterfluxen en waterkwaliteit. Van belang is dat er binnen deze meetreeksen ook droge jaren vallen, aangezien juist dan het verhogen van grondwaterstanden en het tegengaan van maaiveldafvaling cruciaal is. De samenhang tussen gebiedseigenschappen en de effectiviteit van onderwaterdrainage is nog maar beperkt bekend. Ook de effectiviteit van verschillende aanlegvarianten, zoals pompgestuurde onderwaterdrainage, moet beter worden onderzocht. Voor deze studie waren geen lange meetreeksen en ook geen meetgegevens van een droge zomer (zoals 2003 en 2018) beschikbaar. De grootschalige implementatie van (pompgestuurde) drainage in veenpolders zoals de Lange Weide biedt mogelijkheden om de effecten op gebiedsniveau beter in beeld te brengen. Daarbij dient zowel gemeten te worden aan waterstanden, routes, afvoeren, waterkwaliteit en bodemdaling op perceelschaal en op gebiedsniveau. Waternet heeft een meetpilot in voorbereiding voor de aanleg van onderwaterdrainage in peilvak 9 van Groot Wilnis Vinkeveen (pers. comm. Edwin ter Hennepe, Waternet).
- Het concept van het inzetten van dynamisch peilbeheer met als doel het verminderen van de watervraag is relatief nieuw. De voor deze studie bepaalde beslisregels zijn mogelijk niet optimaal. Het Landelijk Hydrologisch Model is te grofmazig om de effecten van de aanpassingen in het peilregime voor de waterbalans en de berging in het grondwater op polderniveau in te schatten en de beslisregels te optimaliseren. Meer gedetailleerde modellen lenen zich hier beter voor. We verwachten niet dat dynamisch peilbeheer de toename van de watervraag door onderwaterdrainage kan compenseren, maar dynamisch peilbeheer kan de droogteschade wel verminderen.
- De onzekerheid in de modellering kan gereduceerd worden op basis van meer meetinformatie zoals (grond)waterstanden, afvoeren, bodem- en drainageweerstanden en verdamping. Vooral in extreme situaties zijn de modelresultaten onzeker. De onzekerheid met betrekking tot de effecten van onderwaterdrainage zit vooral in de schematisatie van de ondiepe ondergrond en in de drainage- en infiltratieweerstanden. Meer detail in deze ondergrondschematisatie (GEOTOP, drainage-archieven DLG) kan de onzekerheid reduceren. Ook de combinatie met gedetailleerde modellen of water- en stoffenbalansen op polderniveau kan helpen bij het controleren van met het LHM berekende fluxen en effecten van maatregelen.
- Het in deze studie gebruikte Landelijk Hydrologisch Model kan ingezet worden voor een doorberekening voor de droge zomer van 2018 en voor het regionaal berekenen van de effecten van onderwaterdrainage op wateroverlast, waterkwaliteit en bodemdaling. Bij deze berekeningen kunnen ook de meetresultaten van 2018 bij Zegveld meegenomen worden, waar nog onderzoek loopt met zowel conventionele onderwaterdrainage als met pompgestuurde onderwaterdrainage (Hoving et al., 2018). Meetresultaten voor een droge zomer waren voor deze studie nog niet beschikbaar.

5 Conclusies

In dit onderzoek is de toename in de watervraag door onderwaterdrainage gekwantificeerd met het Landelijk Hydrologisch Model. Om de effecten duidelijk te maken focussen we op de verandering in de watervraag voor peilhandhaving in de peilvakken (LSW's) die voor minimaal 10% geschikt zijn voor onderwaterdrainage. De resultaten laten zien dat deze watervraag in een droge periode toeneemt met ongeveer 0.09 mm/dag. De totale watervraag voor peilhandhaving voor deze gebieden is 1.16 mm/dag in de referentiesituatie, waarmee de relatieve toename uitkomt op ca. 8%. De watervraag voor het gehele beheergebied van de West-Nederlandse waterschappen is 0.66 mm/dag. De extra watervraag voor peilhandhaving door onderwaterdrainage voor het gehele gebied is dan ook ongeveer 0.03 mm/dag (ca. 4%).

Bij deze berekening is uitgegaan van een gemiddeld effect van 5-10 cm verhoging van de laagste grondwaterstanden die voortkomt uit praktijkpilots. Als de infiltratie-effectiviteit van onderwaterdrainage vergroot wordt, dan zal de watervraag verder toenemen. Bij een gemiddelde verhoging van de laagste grondwaterstanden van 30-40 cm verwachten we een extra watervraag van ongeveer 0.4 mm/dag (ca. 36%) in gebieden met minimaal 10% onderwaterdrainage. Voor de gehele West-Nederlandse waterschappen komt dit neer op een extra watervraag van ongeveer 0.11 mm/dag (ca. 18%). De effecten van klimaatverandering zijn klein ten opzichte van de effecten van onderwaterdrainage. De mogelijkheden om de grotere watervraag met dynamisch peilbeheer over een langere periode te compenseren zijn beperkt en vergen peilaanpassingen op basis van onder meer de onzekere weervoorspellingen.

De resultaten van deze studie zijn de eerste inschatting van de effecten van onderwaterdrainage op het schaalniveau van West-Nederland. De resultaten uit het model moeten gezien worden als een indicatieve kwantificering. Er is behoefte aan meer meetinformatie over de effecten van onderwaterdrainage over langere perioden en in droge jaren en over de effecten op waterfluxen en waterkwaliteit. Deze meetinformatie kan gebruikt worden om ook de effecten op groter schaalniveau beter te kwantificeren.

Literatuur

Akker, J.J.H. van den, J. Beuving, R.F.A. Hendriks en R.J. Wolleswinkel, 2007. Maaiveldddaling, afbraak en CO2 emissie van Nederlandse veenweidegebieden. Leidraad Bodembescherming, afl. 83, Sdu, Den Haag, 32 pp.

Akker, J.J.H. van den, R.F.A. Hendriks, I.E. Hoving, J. van Kleef, B. Meerkerk, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2013. Pilot onderwaterdrains Krimpenerwaard. Wageningen, Alterra Wageningen UR, Alterra-rapport 2466.

Akker, Jan van den; Diggelen, J.M.H. van; Houwelingen, Karel van; Kleef, Jan van; Pleijter, Matheijs; Smolders, A.J.P.; Turlings, L.G.; Wielen, S. van der (2016). Praktijkproef onderwaterdrains Wormer- en Jisperveld. Wageningen Environmental Research rapport 2765

Borren, W., M.F.P. Bierkens en L. van Vliet, 2017. STOWA Deltafact Dynamisch Peilbeheer. http://deltaproof.stowa.nl/Publicaties/deltafact/Dynamisch_peilbeheer.aspx.

Bos-Burgering, L.M.T., J.A.C. Hunink, A.A. Veldhuizen, G. Prinsen, P.E.V. van Walsum, J.R. Pauwels en T. Kroon, 2018. Veranderingsrapportage LHM 3.4.0; ontwikkelingen ten behoeve van landelijke analyse van de zoetwatervoorziening 2018. Deltares rapport 1120224-000-BGS0001.

Buishand, T.A., Beersma, J.J., Sluiter R., Kroon T., 2008. Definitiestudie rasterdata meteorologie. Rijkswaterstaat Waterdienst / KNMI.

Groot, S., de Graaff, B., 2018. Knelpuntenanalyse zoetwaterregio West-Nederland. Vertrekpunt 2^e fase Deltaprogramma Zoetwater. HKV Lijn in Water, PR3563.10.

Hendriks, R.F.A. en J.J.H. van den Akker, 2012. Effecten van onderwaterdrains op de waterkwaliteit in veenweiden. Modelberekeningen met SWAP-ANIMO voor veenweide-eenheden naar veranderingen van de fosfor-, stikstof- en sulfaatbelasting van het oppervlaktewater bij toepassing van onderwaterdrains in het westelijke veenweidegebied. Wageningen, Alterra Wageningen UR, Alterra-rapport 2354.

Hendriks, R.F.A., J.J.H. van den Akker, K. van Houwelingen, J. van Kleef, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2013. Pilot onderwaterdrains Utrecht. Wageningen, Alterra Wageningen UR, Alterra-rapport 2479.

Hendriks, R.F.A., J.J.H. van den Akker, P.C. Jansen en H.Th.L. Massop, 2014. Effecten van onderwaterdrains op maaiveldddaling, waterbeheer, wateroverlast en waterkwaliteit in peilvak 9 van polder Groot-Wilnis Vinkeveen. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research Centre), Alterra-rapport 2480.

Hoving, I.E., J.J.H. van den Akker, M. Pleijter en K. van Houwelingen, 2011. Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zeevang. Wageningen UR Livestock Research, rapportnummer 449.

Hoving, I.E., P. Vereijken, K. van Houwelingen, M. Pleijter, 2013. Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains bij dynamisch slootpeilbeheer op veengrond. Wageningen UR Livestock Research, rapportnummer 719.

Hoving, I.E., H. Massop, K. van Houwelingen, J.J.H. van den Akker en J. Kollen, 2015. Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zeevang; Vervolgonderzoek gericht op de toepassing van een zomer- en winterpeil. Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 875.

Hoving I.E., A., J.J.H. van den Akker, H.T.L. Massop, G.J. Holshof, K. van Houwelingen, 2018. Precisiewatermanagement met pompgestuurde onderwaterdrains op veenweidegrond. Wageningen Livestock Research, Rapport 1123.
<http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/461252>

Jansen, P.C., E.P. Querner en J.J.H. van den Akker, 2009. Onderwaterdrains in het veenweidegebied en de gevolgen voor de inlaatbehoefte, de afvoer van oppervlaktewater en voor de maaiveldvaling. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1872. 54 blz

KNMI, 2014. KNMI'14 klimaatscenario's voor Nederland. Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie.

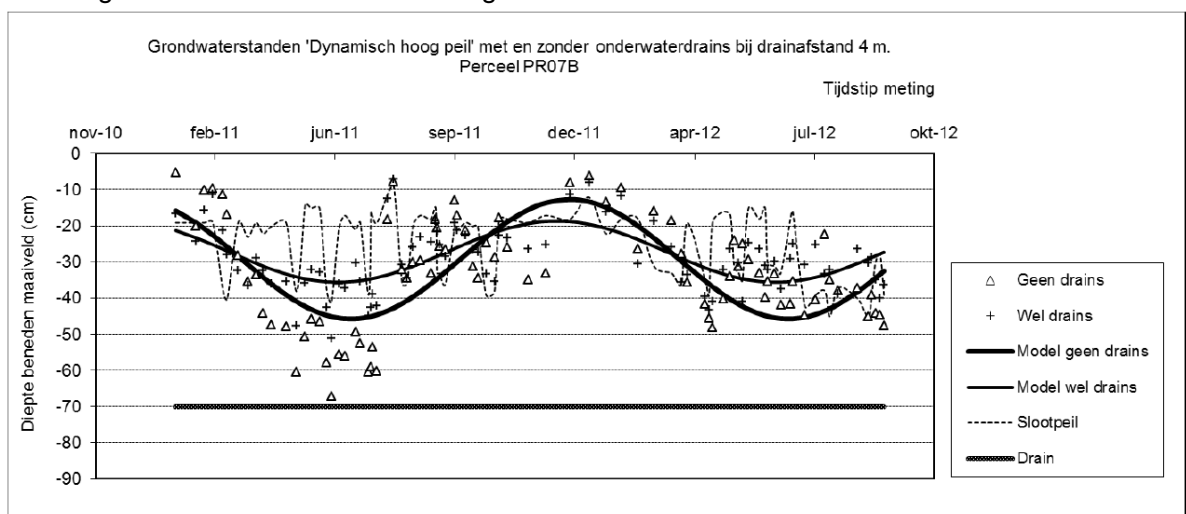
Vries, H. de, B. Kort, B. Teunis, 2018. Landelijk draaiboek waterverdeling en droogte. Informatie-uitwisseling en afstemming van maatregelen en communicatie. Watermanagementcentrum Nederland (WMCN), Landelijke Coördinatiecommissie Waterverdeling (WMCN-LCW).

A Meetresultaten uit pilotonderzoek

Rapport: Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains bij dynamisch slootpeilbeheer op veengrond (Hoving et al., 2013)

Zegveld:

- 2011: laagste grondwaterstanden ca. 15 cm hoger, hoogste grondwaterstanden ca. 5 cm lager
- 2012: laagste grondwaterstanden 5 cm hoger (natter jaar), hoogste grondwaterstanden ca 5 cm lager

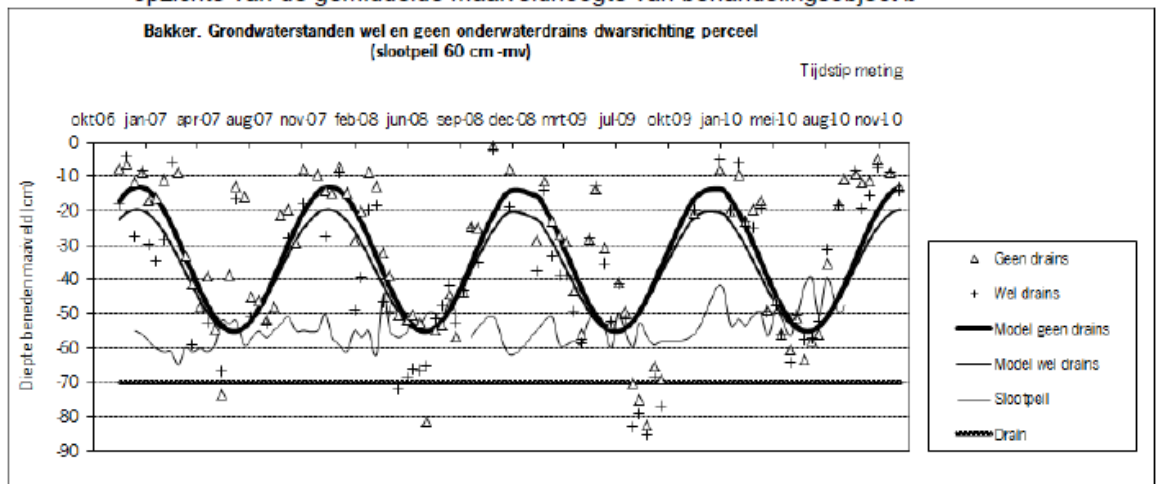


Figuur 12. Gemodelleerde en werkelijke grondwaterstanden perceel PR07B zonder drainage en met drainage, drainafstand 4 m

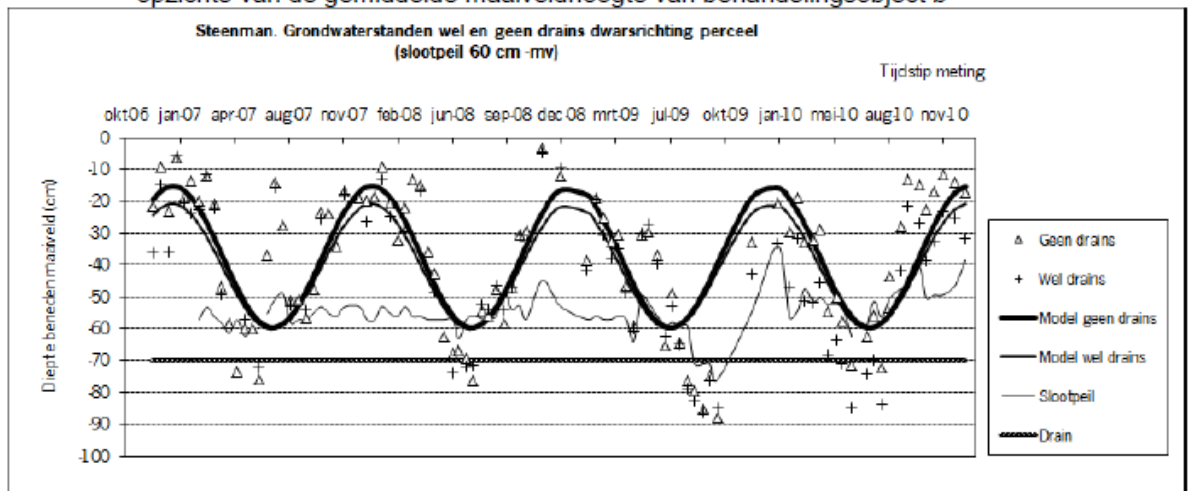
Rapport: Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zeevang (Hoving et al., 2011)

- Ca 5 cm verlaging hoogste grondwaterstanden
- Geen duidelijk effect op laagste grondwaterstanden

Figuur 10 Gemodelleerde en werkelijke grondwaterstanden bedrijf Bakker voor de behandelingen b) Peil 60 cm -mv zonder drains en c) Peil 60 cm -mv drains dwarsrichting 40 m ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte van behandlungsobject b

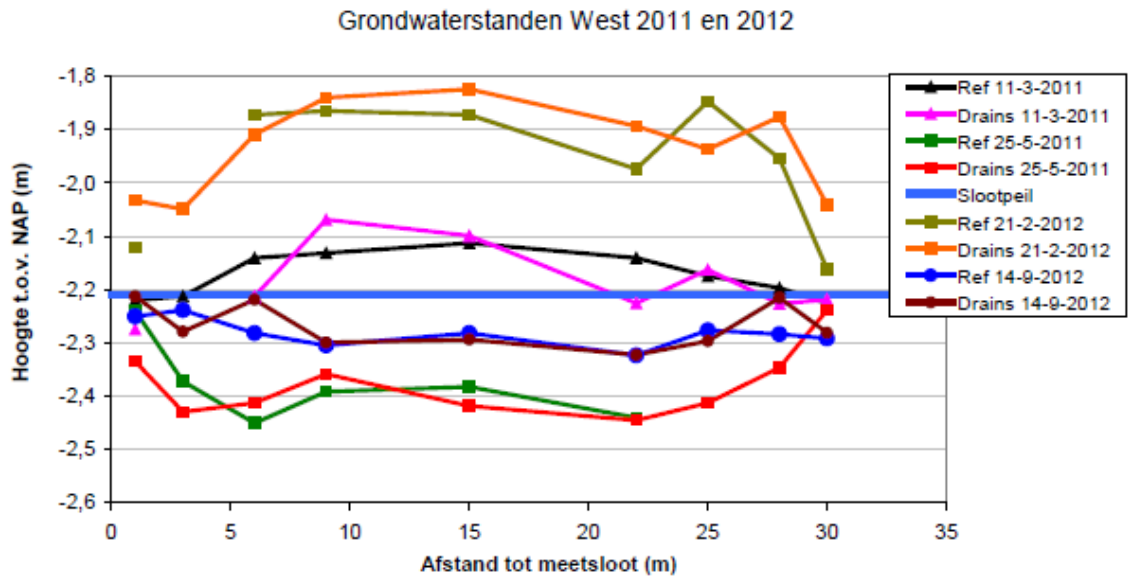


Figuur 15 Gemodelleerde en werkelijke grondwaterstanden bedrijf Steenman voor de behandelingen b) Peil 60 cm -mv zonder drains en c) Peil 60 cm -mv drains dwarsrichting 40 m ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte van behandlungsobject b

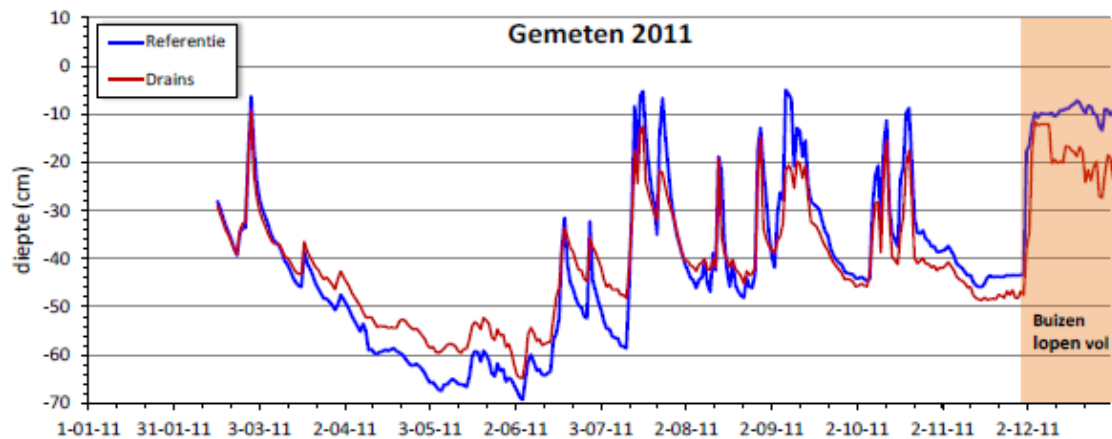


Rapport: Pilot onderwaterdrains Krimpenerwaard (Van den Akker et al., 2013)

- Laagste grondwaterstanden ~8 cm hoger
- Drainage +11-13% (2011,2012)
- Infiltratie +44-50%



Figuur 3.2 Grondwaterstanden in raaien dwars op perceel West in 2011 en 2012.



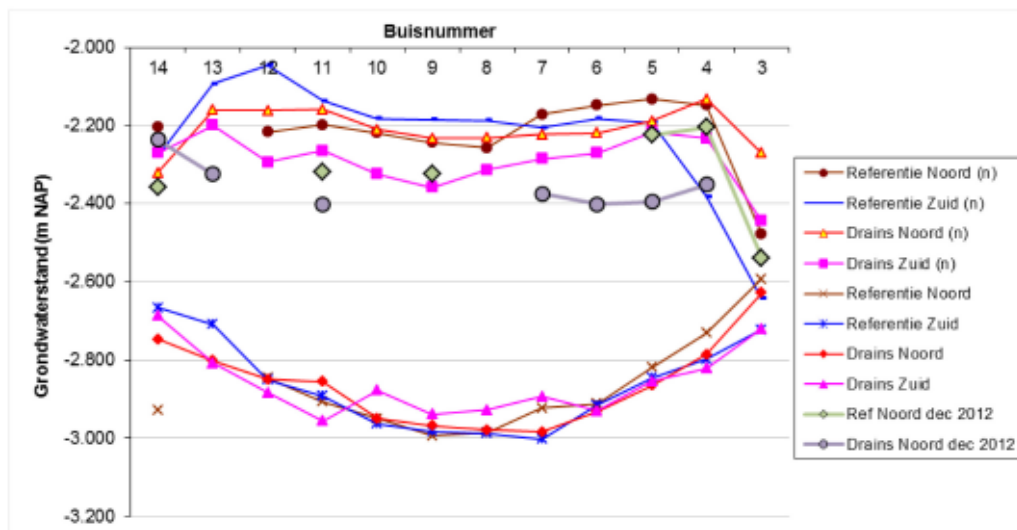
Rapport: Pilot onderwaterdrains Utrecht (Hendriks et al., 2013)

Demmerikskade (Groot Wilnis-Vinkeveen):

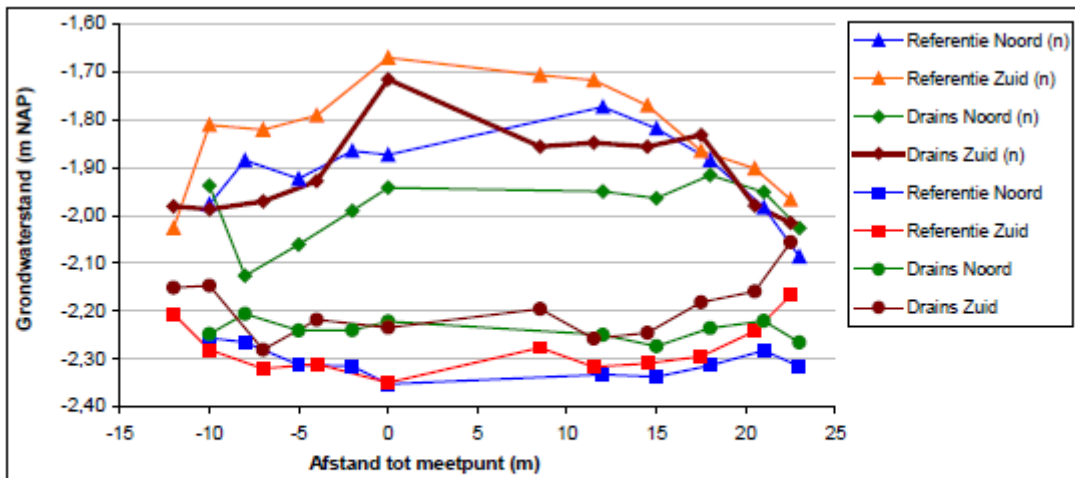
- Noord: weinig effect (drain functioneert slecht)
- Zuid: hoogste grondwaterstanden ~15-20 cm lager; laagste grondwaterstanden ~5-10 cm hoger

Keulevaart (Lopikerwaard):

- Noord: hoogste grondwaterstanden ~10cm lager; laagste grondwaterstanden ~10cm hoger
- Zuid: hoogste grondwaterstanden ~15cm lager; laagste grondwaterstanden ~10cm hoger



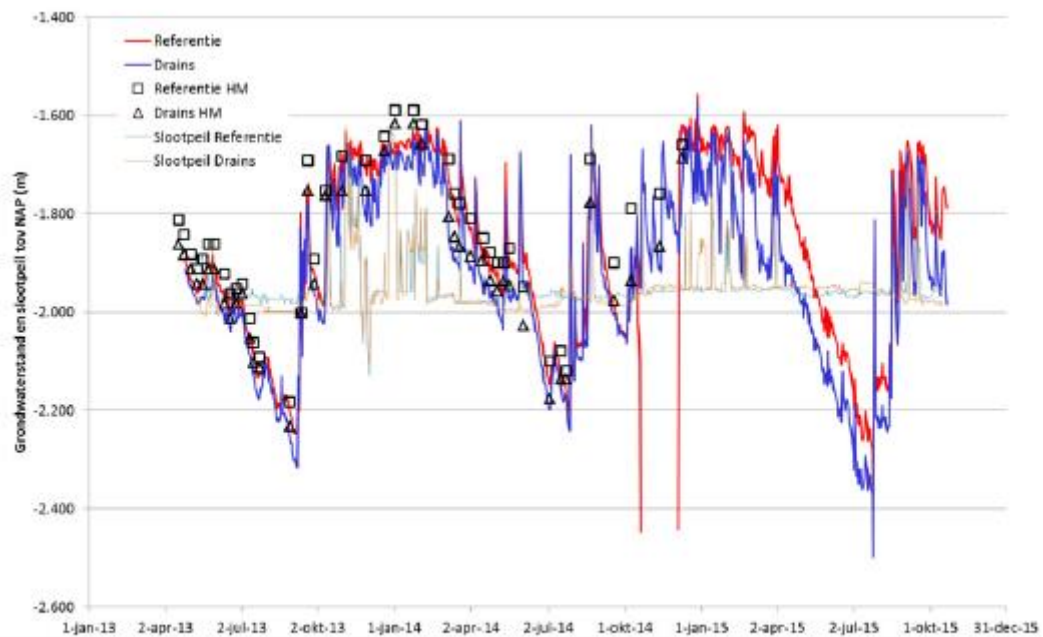
Figuur 3.5 Vergelijking van de grondwaterstanden in de dwarsraaien in een natte periode in 2011 (18 januari), een natte periode in 2012 (6 december) en een droge periode (24 juni 2010). Het slootpeil is ca. -2,60 m NAP.



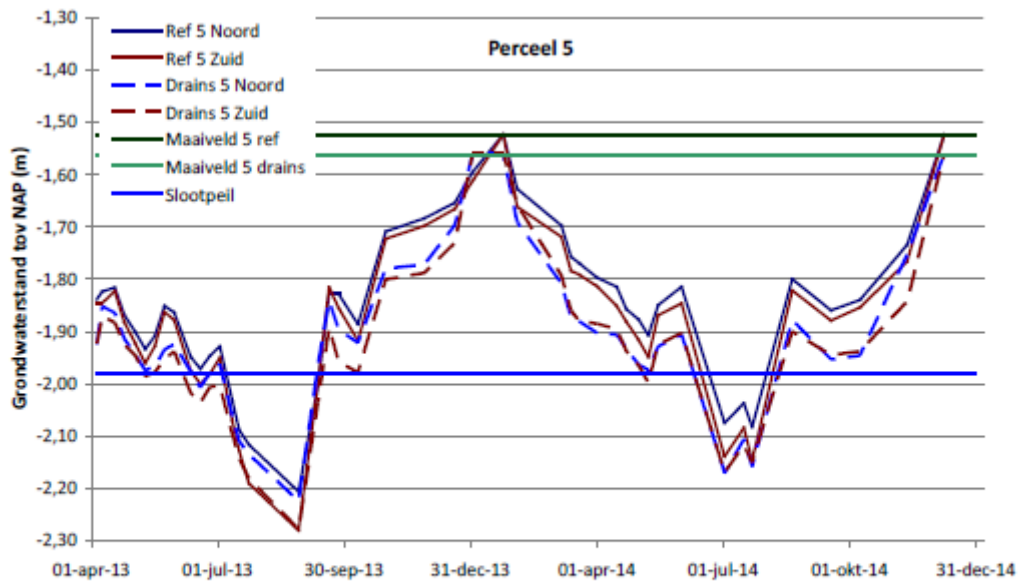
Figuur 3.12 Vergelijking van de grondwaterstanden in de dwarsraaien in een natte periode (27 juli 2011) en een droge periode (3 mei 2011). Het slootpeil is ca. -2,15 m + NAP.

Rapport: Praktijkproef onderwaterdrains Wormer- en Jisperveld (Van den Akker et al., 2016)

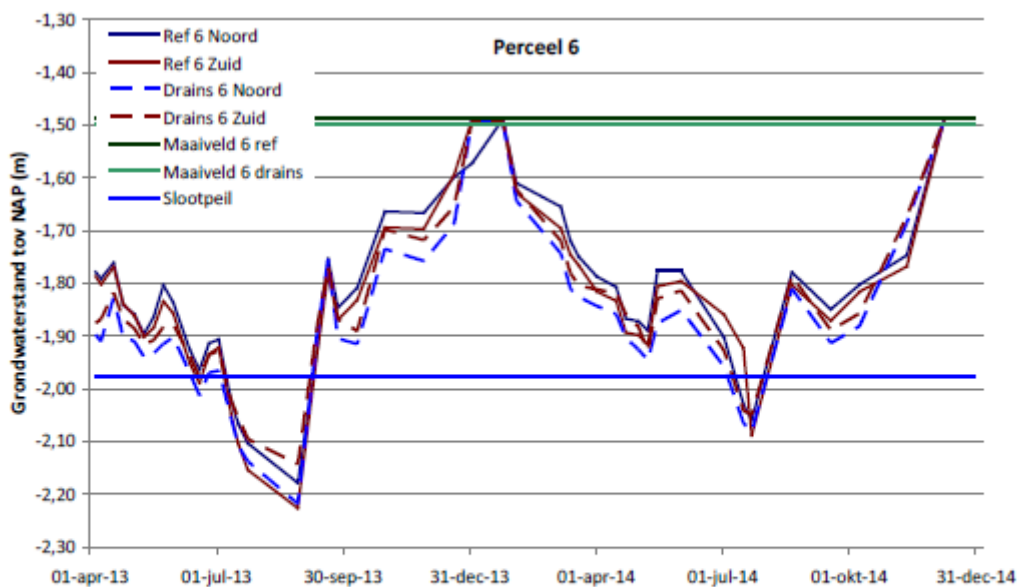
- Figuur 7: laagste grondwaterstanden ca 10 cm hoger, hoogste grondwaterstanden ca 5 cm lager
- Figuur 8/9: ; hoogste grondwaterstanden , ca 5 cm lager; weinig effect in droge perioden



Figuur 7 Grondwaterstanden op perceel 5 gemeten met drukopnemers en loggers en handmatig (HM, gemiddelde van 8 peilbuizen) en slootpeilen.



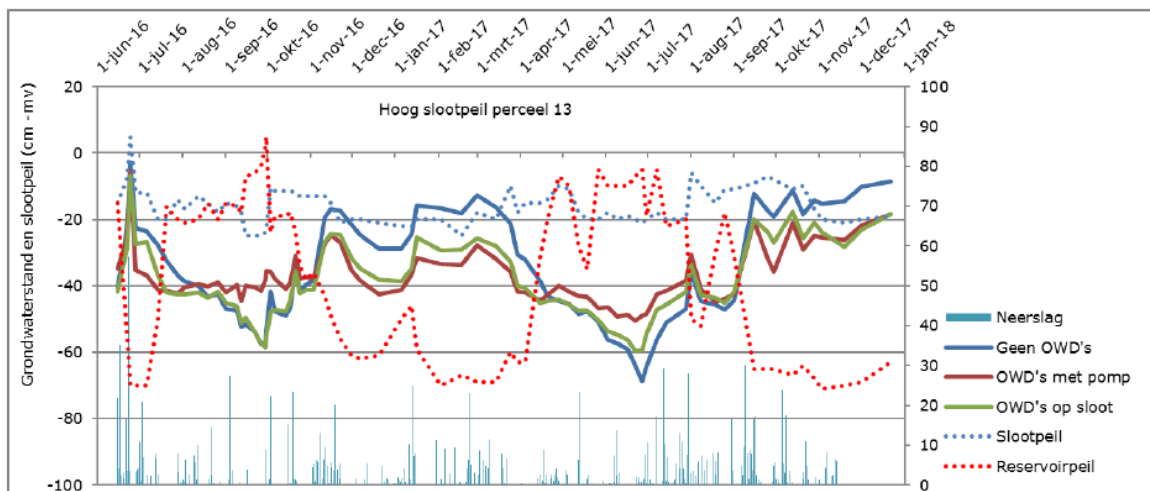
Figuur 8 Gemiddelde grondwaterstanden elke twee weken handmatig gemeten in peilbuizen in raaien van 4 buizen op perceel 5. Per perceeldeel (referentie en met drains) in een noordelijke en een zuidelijke raai.



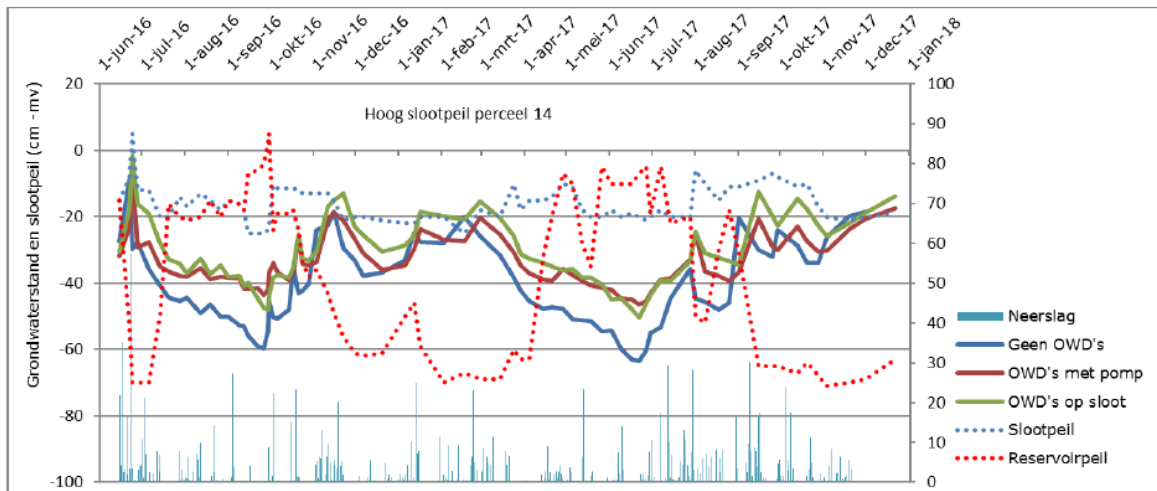
Figuur 9 Gemiddelde grondwaterstanden elke twee weken handmatig gemeten in peilbuizen in raaien van 4 buizen op perceel 6. Per perceeldeel (referentie en met drains) in een noordelijke en een zuidelijke raai.

Rapport: Precisiewatermanagement op veenweidegrond met pompgestuurde onderwaterdrains (Hoving et al., 2018)

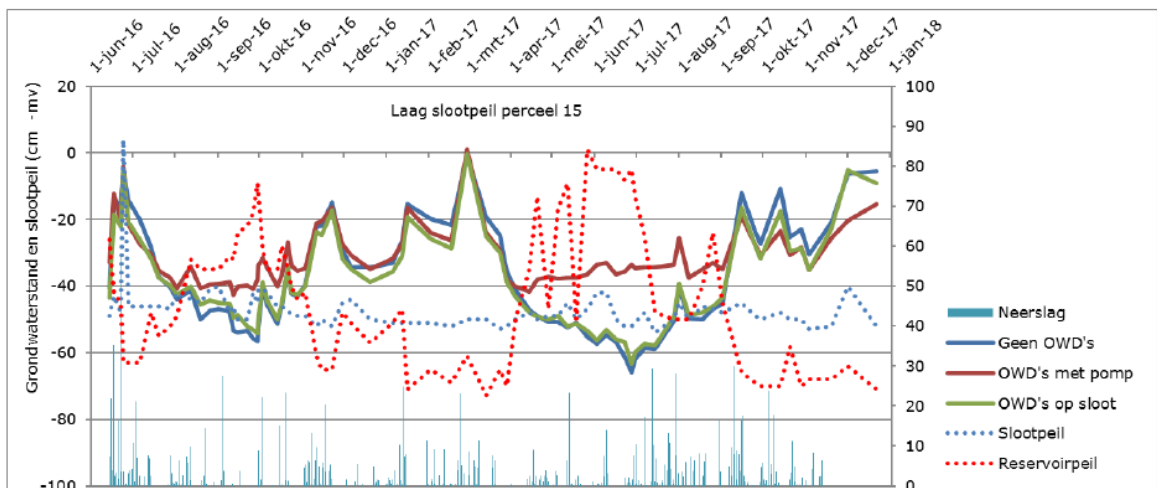
- Perceel 13 (drooglegging 20 cm): Laagste grondwaterstanden ~0-10 cm hoger, hoogste grondwaterstanden ~-10-15 cm lager
- Perceel 14 (drooglegging 20 cm): Laagste grondwaterstanden ~-10-15 cm hoger, hoogste grondwaterstanden ~-0-5 cm hoger
- Perceel 15 (drooglegging 55 cm): geen duidelijk effect op grondwaterstanden
- Perceel 16 (drooglegging 55 cm): Laagste grondwaterstanden ~-15-20 cm hoger, hoogste grondwaterstanden geen duidelijk effect



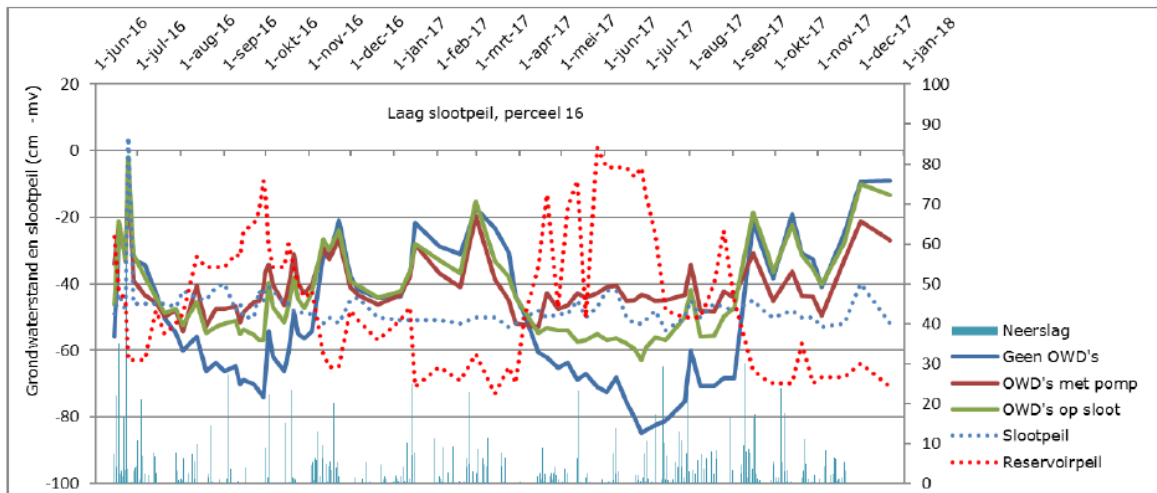
Figuur 7. Het verloop van de grondwaterstand per drainbehandeling (geen onderwaterdrains, traditionele onderwaterdrains op de sloot en pompgestuurde onderwaterdrains), slootpeil en reservoirpeil voor perceel 13 bij een vast hoog slootpeil met een drooglegging van 20 cm beneden maaiveld.



Figuur 8. Het verloop van de grondwaterstand per drainbehandeling (geen onderwaterdrains, traditionele onderwaterdrains op de sloot en pompgestuurde onderwaterdrains), slootpeil en reservoirpeil voor perceel 14 bij een vast hoog slootpeil met een drooglegging van 20 cm beneden maaiveld.



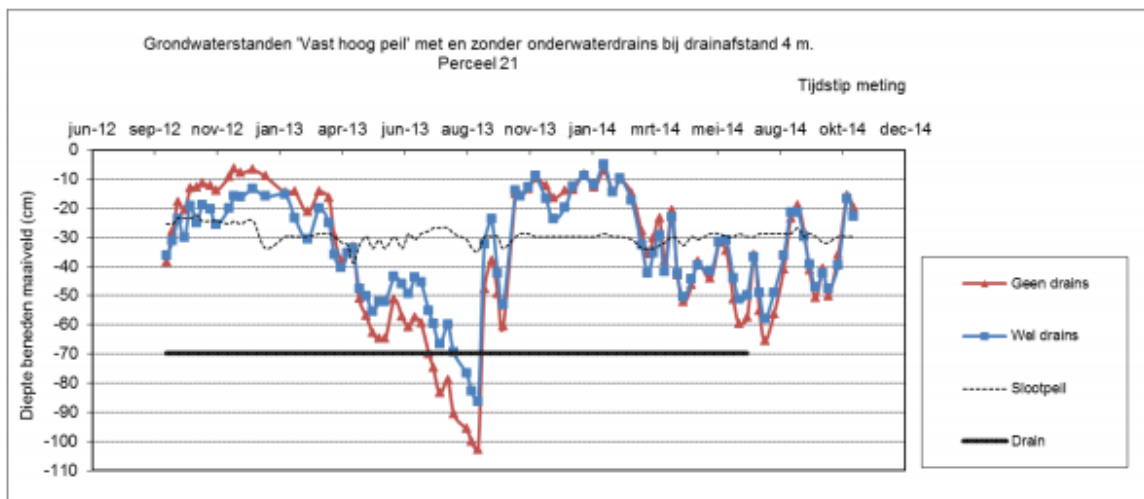
Figuur 9. Het verloop van de grondwaterstand per drainbehandeling (geen onderwaterdrains, traditionele onderwaterdrains op de sloot en pompgestuurde onderwaterdrains), slootpeil en reservoirpeil voor perceel 15 bij een vast 'laag' slootpeil met een drooglegging van 55 cm beneden maaiveld.



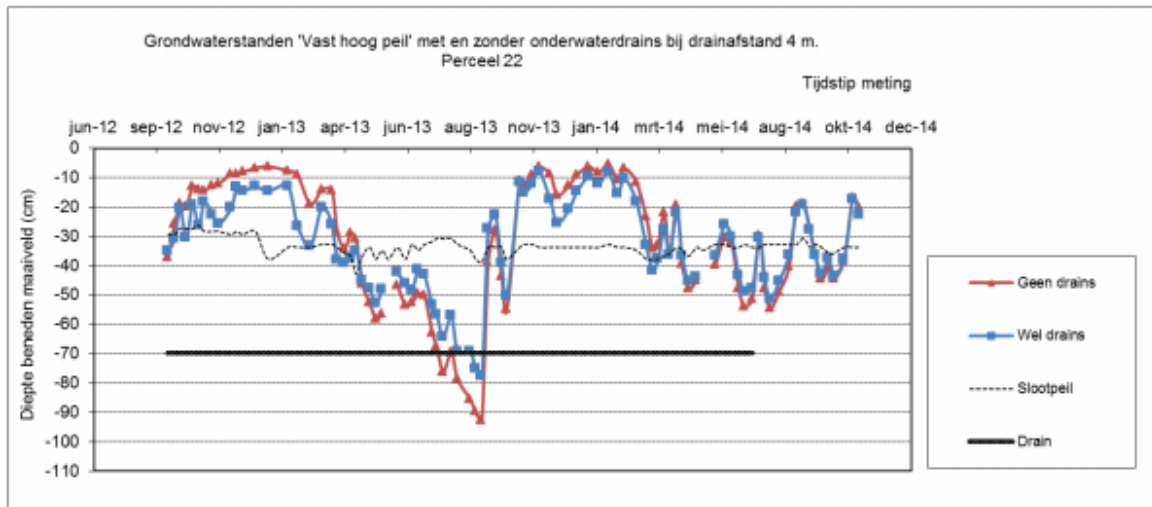
Figuur 10. Het verloop van de grondwaterstand per drainbehandeling (geen onderwaterdrains, traditionele onderwaterdrains op de sloot en pompgestuurde onderwaterdrains), slootpeil en reservoirpeil voor perceel 16 bij een vast 'laag' slootpeil met een drooglegging van 55 cm beneden maaiveld.

Rapport: Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zeevang. Vervolgonderzoek gericht op de toepassing van een zomer- en winterpeil(Hoving et al., 2015)

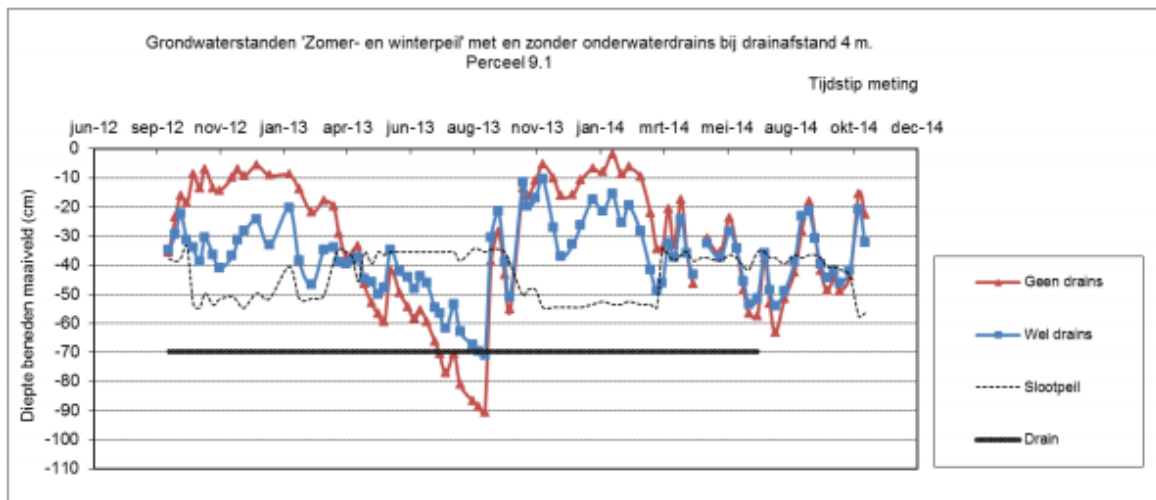
- Perceel 21 en 22 (vast hoog peil): Laagste grondwaterstanden ~5-15 cm hoger, hoogste grondwaterstanden ~0-5 cm lager
- Perceel 9.1 (zomer-winterpeil): Laagste grondwaterstanden ~5-20 cm hoger, hoogste grondwaterstanden ~10-25 cm lager
- Perceel 9.2 (zomer-winterpeil): Laagste grondwaterstanden ~5-30 cm hoger, hoogste grondwaterstanden ~15-25 cm lager
- Perceel 12 (vast laag peil): Laagste grondwaterstanden ~0-5 cm hoger, hoogste grondwaterstanden ~5-10 cm lager
- Perceel 13 (vast laag peil): Laagste grondwaterstanden ~0-10 cm hoger, hoogste grondwaterstanden ~5-10 cm lager



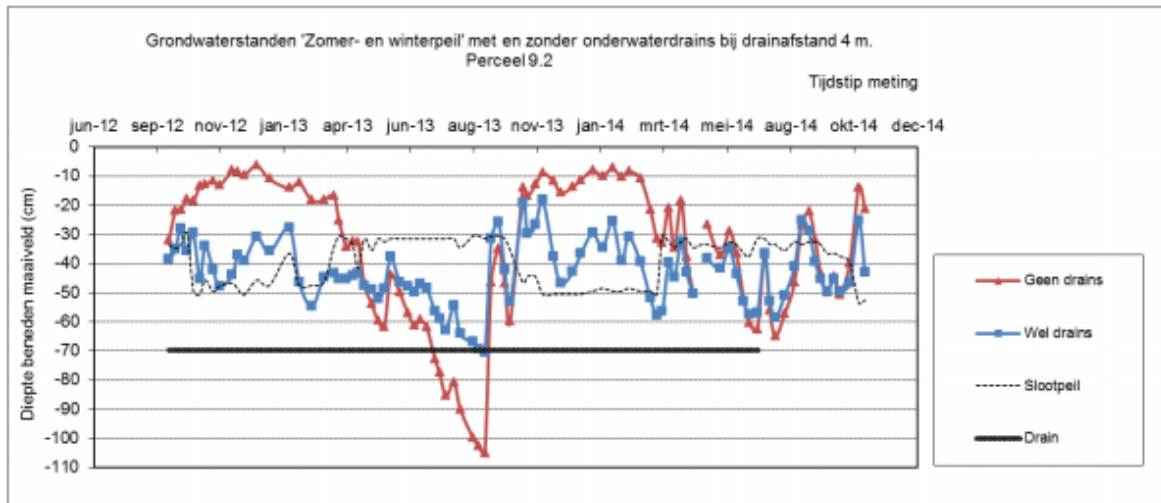
Figuur 8 Werkelijke grondwaterstanden perceel 21 zonder drainage en met drainage (drainafstand 4 m) en het slootpeil weergegeven ten opzichte van het maaiveld van de ongedraineerde situatie (cm -maaiveld).



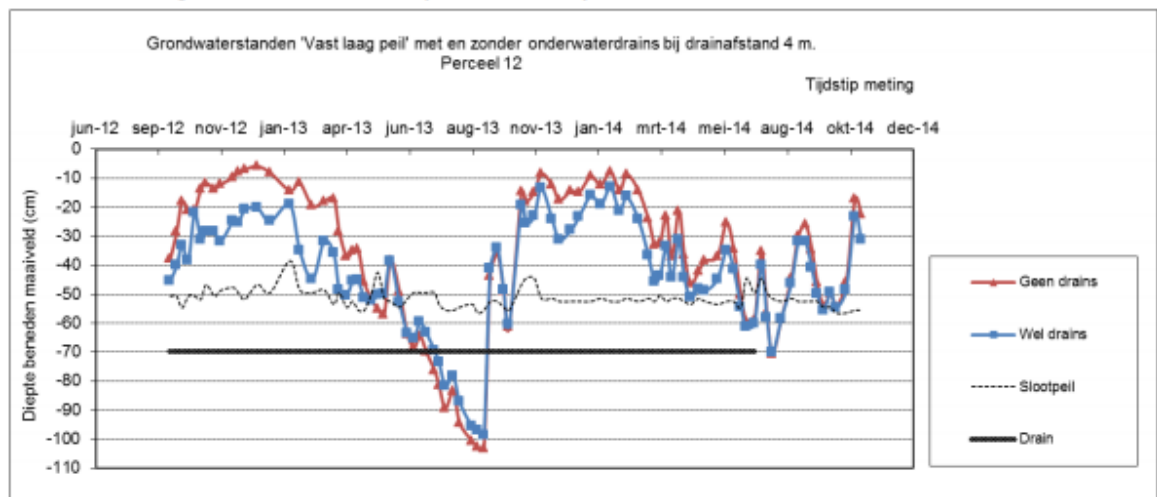
Figuur 9 Werkelijke grondwaterstanden perceel 22 zonder drainage en met drainage (drainafstand 4 m) en het slootpeil weergegeven ten opzichte van het maaiveld van de ongedraineerde situatie (cm -maaiveld).



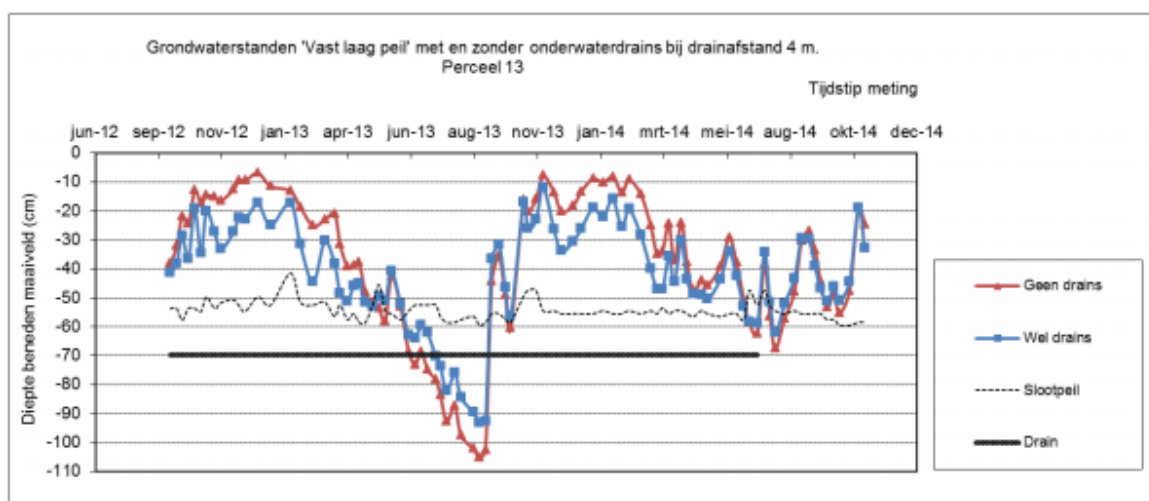
Figuur 10 Werkelijke grondwaterstanden perceel 9.1 zonder drainage en met drainage (drainafstand 4 m) en het slootpeil weergegeven ten opzichte van het maaiveld van de ongedraineerde situatie (cm -maaiveld).



Figuur 11 Werkelijke grondwaterstanden perceel 9.2 zonder drainage en met drainage (drainafstand 4 m) en het slootpeil weergegeven ten opzichte van het maaiveld van de ongedraineerde situatie (cm -maaiveld).

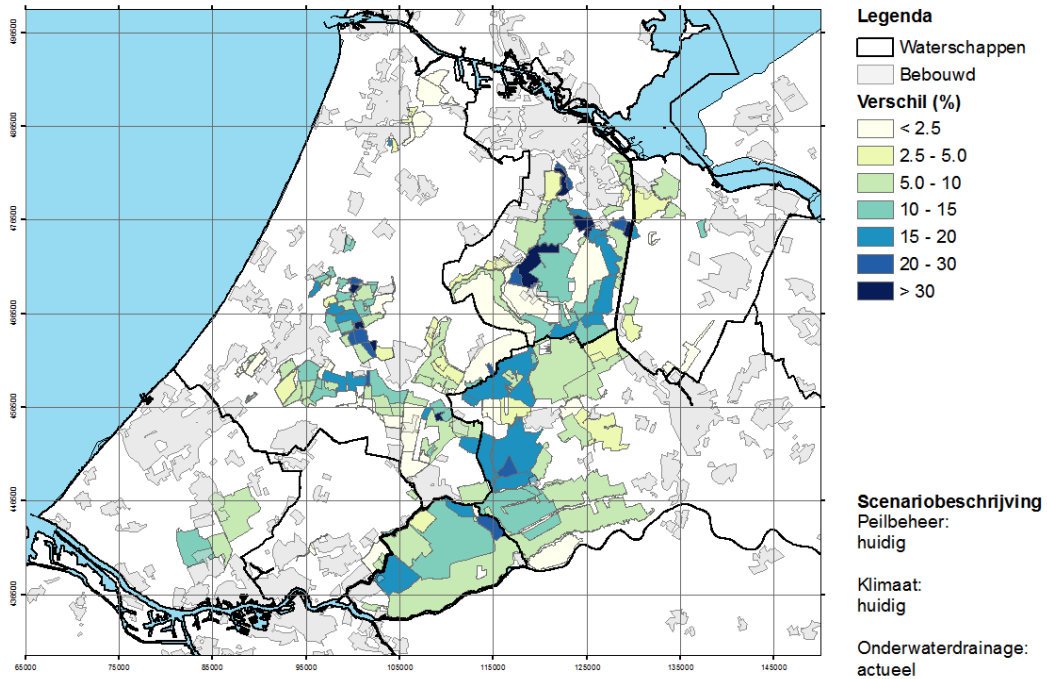


Figuur 12 Werkelijke grondwaterstanden perceel 12 zonder drainage en met drainage (drainafstand 4 m) en het slootpeil weergegeven ten opzichte van het maaiveld van de ongedraineerde situatie (cm -maaiveld).

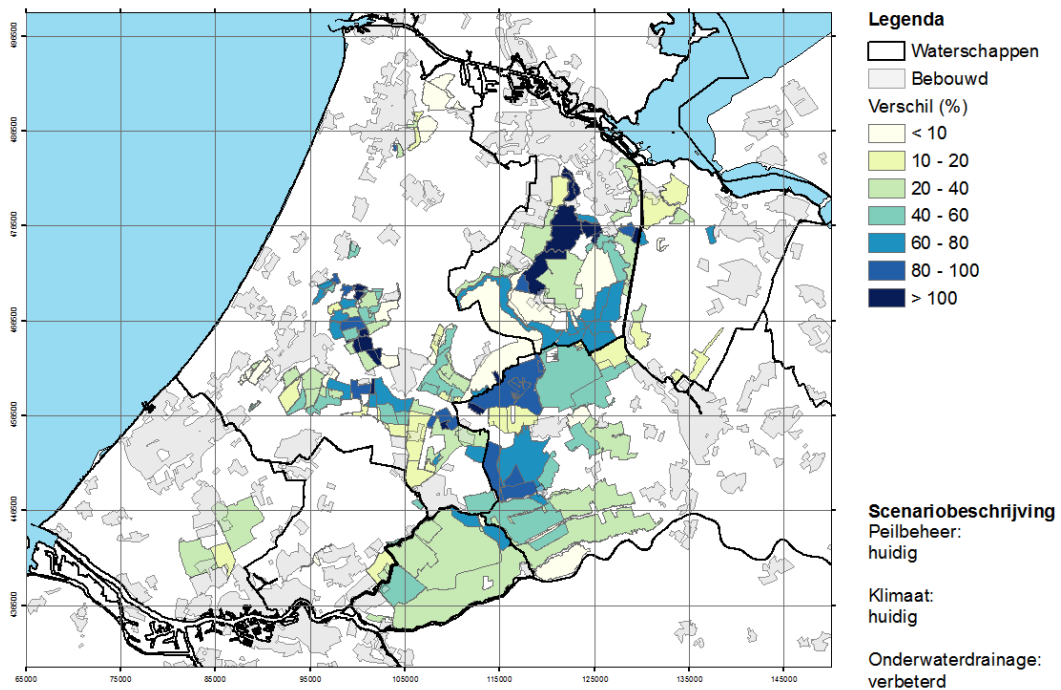


Figuur 13 Werkelijke grondwaterstanden perceel 13 zonder drainage en met drainage (drainafstand 4 m) en het slootpeil weergegeven ten opzichte van het maaiveld van de ongedraineerde situatie (cm -maaiveld).

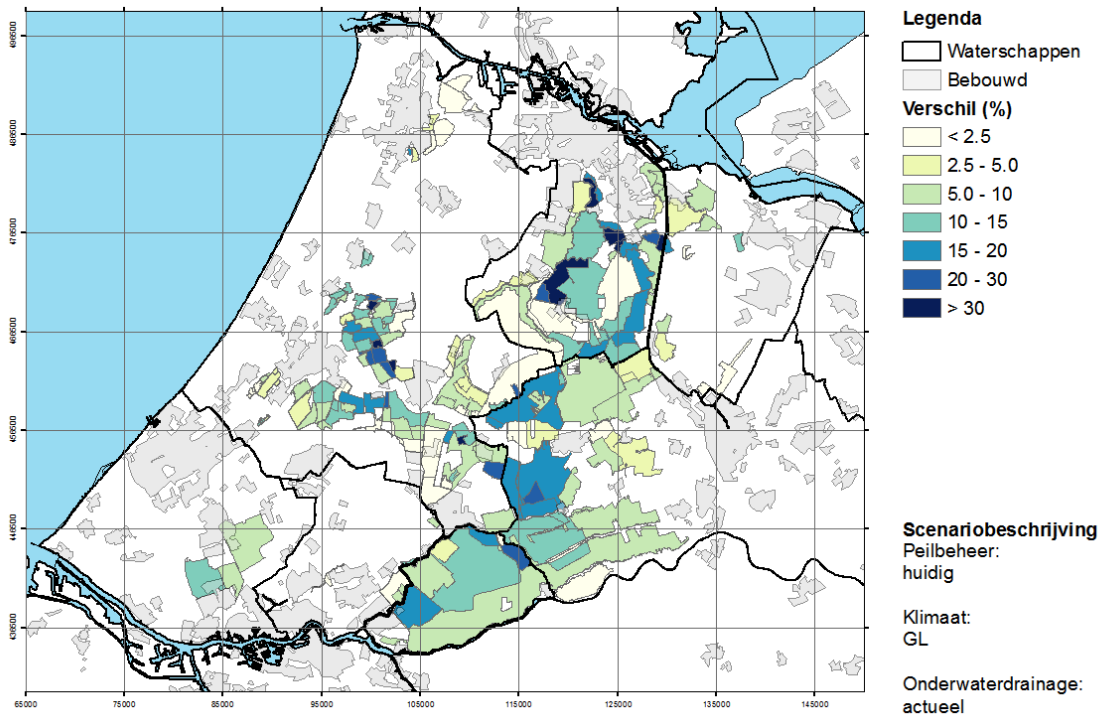
B Kaarten relatieve effecten watervraag



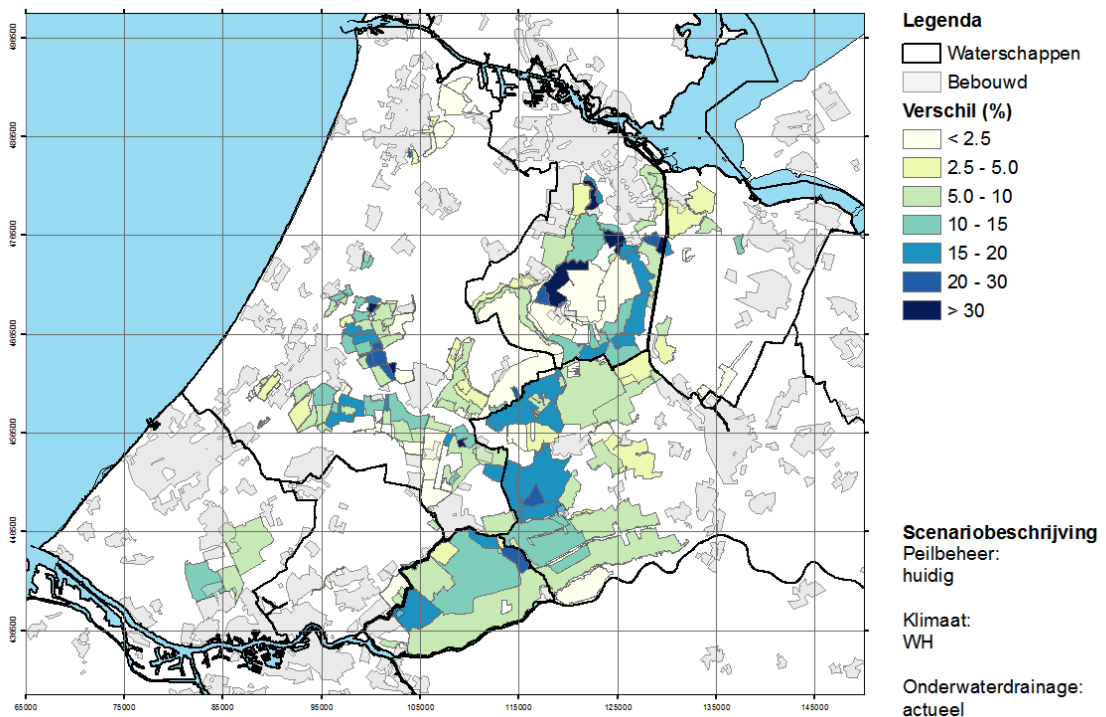
Figuur B1 Verschil in gemodelleerde watervraag in juli 2003 tussen het scenario zonder en het scenario met onderwaterdrainage (scenario 4-actueel t.o.v. scenario 1). Een positieve waarde is een vergroting van de watervraag voor peilhandhaving.



Figuur B2 Verschil in gemodelleerde watervraag in juli 2003 tussen het scenario zonder en het scenario met verbeterde onderwaterdrainage (scenario 4-verbeterde OWD t.o.v. scenario 1). Een positieve waarde is een vergroting van de watervraag voor peilhandhaving.

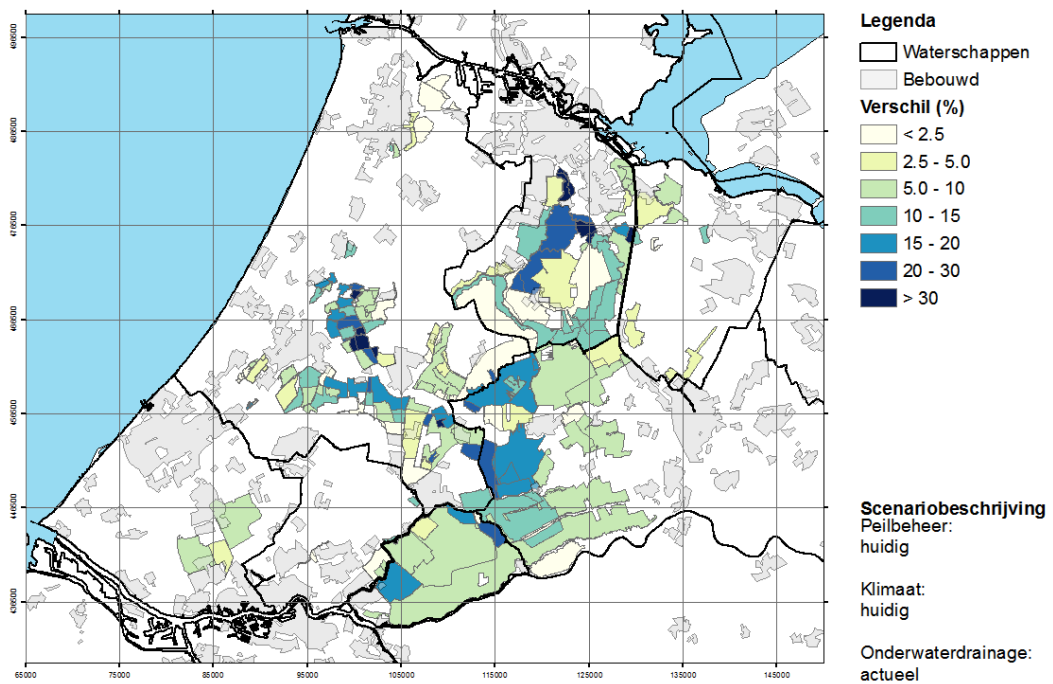
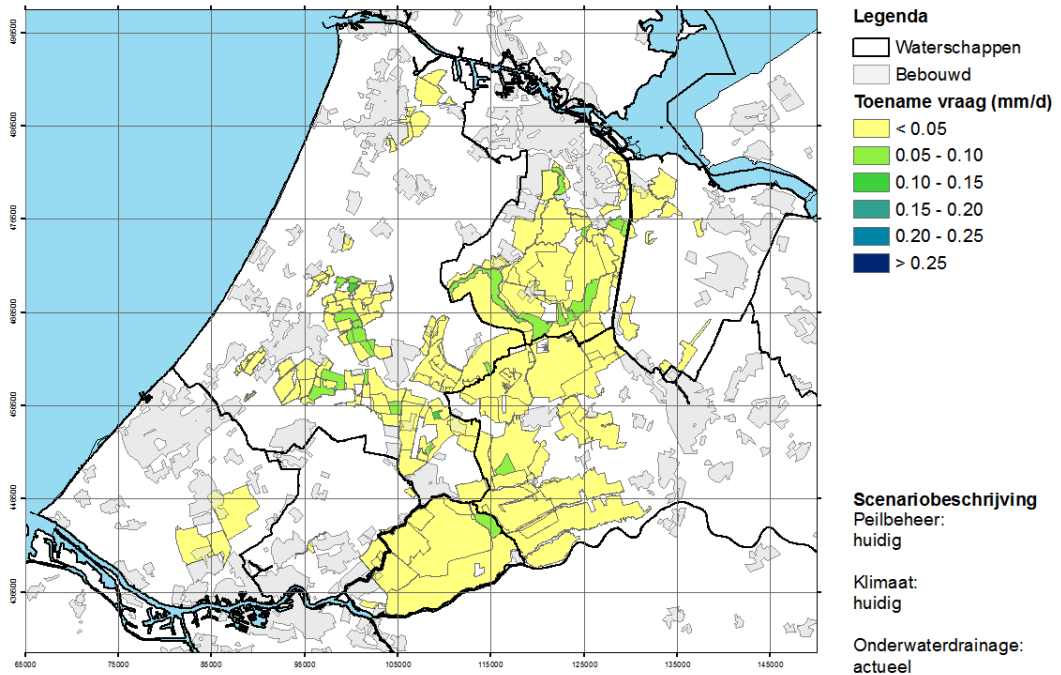


Figuur B3 Vershil in gemodelleerde watervraag in juli 2003 tussen het scenario met onderwaterdrainage en met huidig klimaat en het scenario met onderwaterdrainage en toekomstig klimaatscenario G_L (scenario 5 t.o.v. scenario 2). Een positieve waarde is een vergroting van de watervraag voor peilhandhaving.

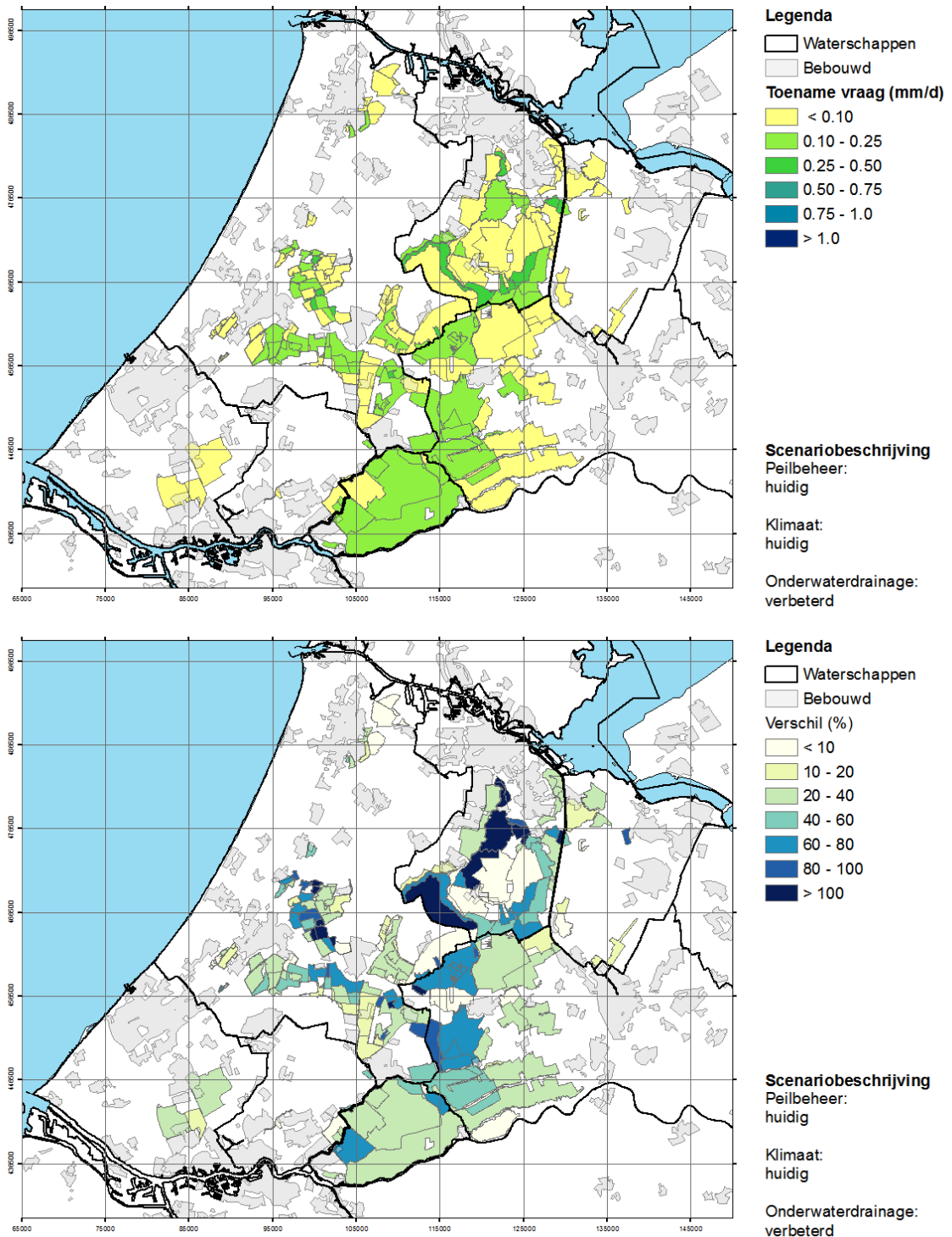


Figuur B4 Vershil in gemodelleerde watervraag in juli 2003 tussen het scenario met onderwaterdrainage en met huidig klimaat en het scenario met onderwaterdrainage en toekomstig klimaatscenario W_H (scenario 6 t.o.v. scenario 3). Een positieve waarde is een vergroting van de watervraag voor peilhandhaving.

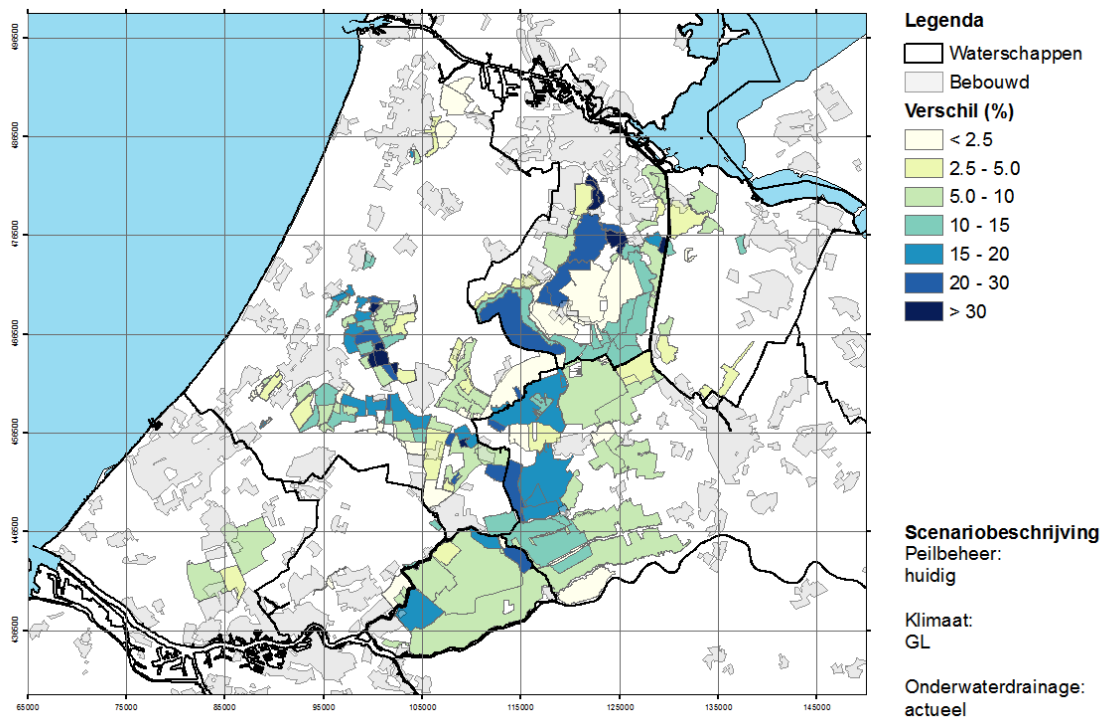
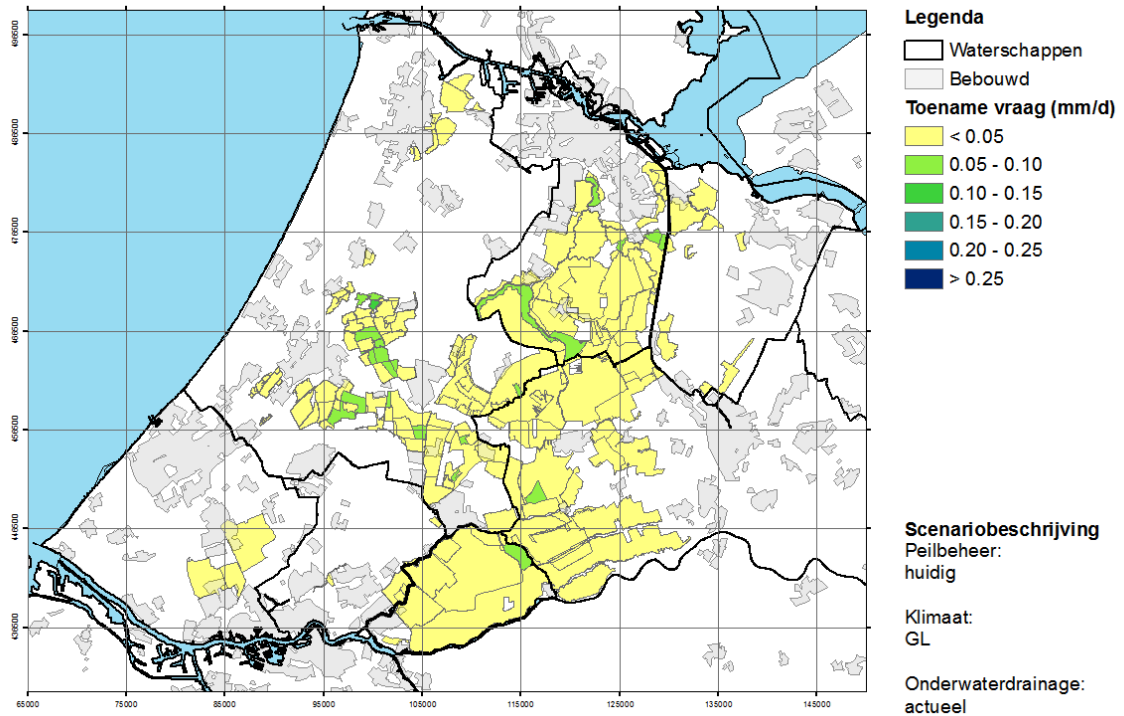
C Effecten watervraag langjarig gemiddeld



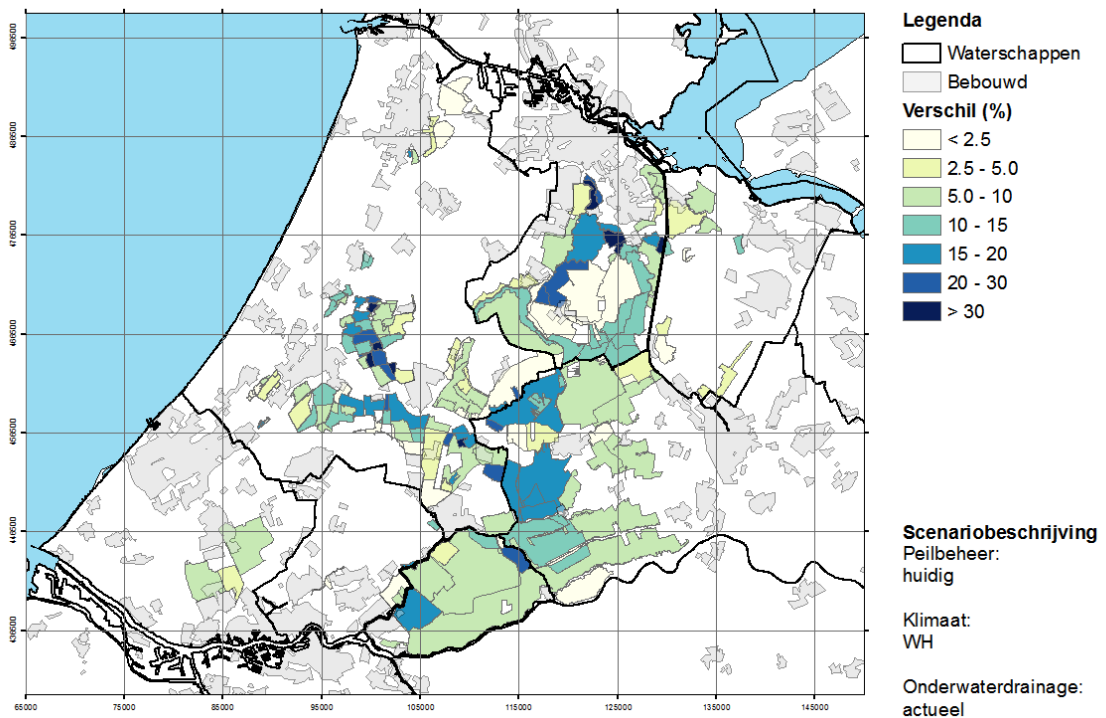
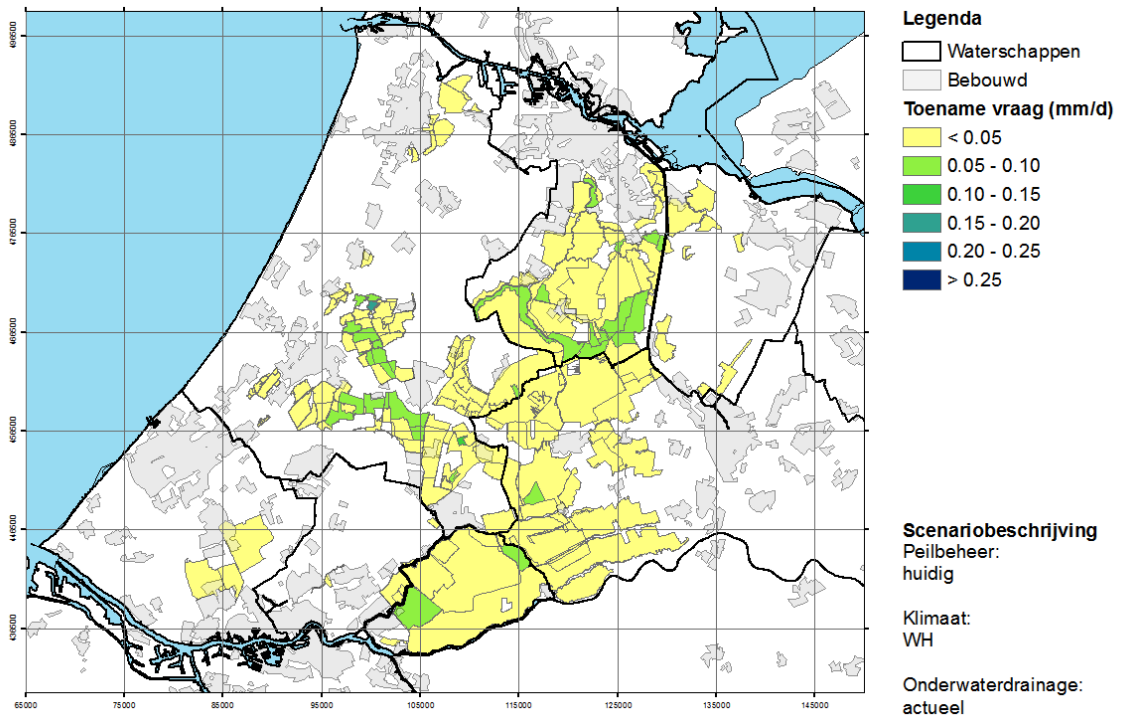
Figuur C1 Vershil in langjarig gemiddelde watervraag voor LSW's met minimaal 10% OWD tussen het scenario zonder en het scenario met onderwaterdrainage (scenario 4-actueel t.o.v. scenario 1). Een positieve waarde is een vergroting van de watervraag voor peilhandhaving.



Figuur C2 Verschil in langjarig gemiddelde watervraag voor LSW's met minimaal 10% OWD tussen het scenario zonder en het scenario met verbeterde onderwaterdrainage (scenario 4-verbeterde OWD t.o.v. scenario 1). Een positieve waarde is een vergroting van de watervraag voor peilhandhaving.

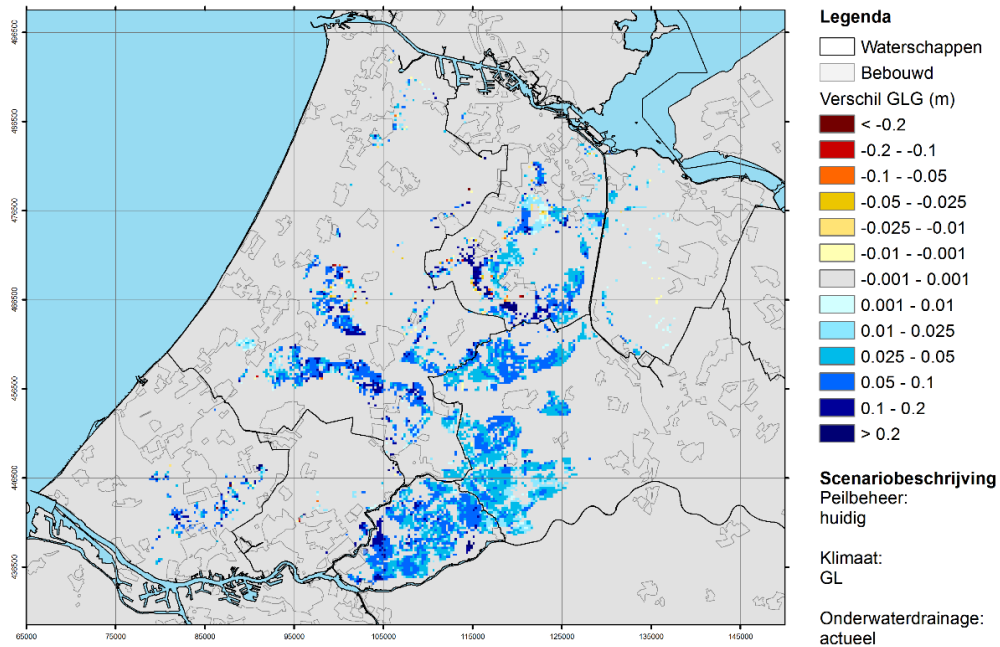


Figuur C3 Verschil in langjarig gemiddelde watervraag voor LSW's met minimaal 10% OWD tussen het scenario met onderwaterdrainage en met huidig klimaat en het scenario met onderwaterdrainage en toekomstig klimaatscenario G_L (scenario 5 t.o.v. scenario 2). Een positieve waarde is een vergroting van de watervraag voor peilhandhaving.

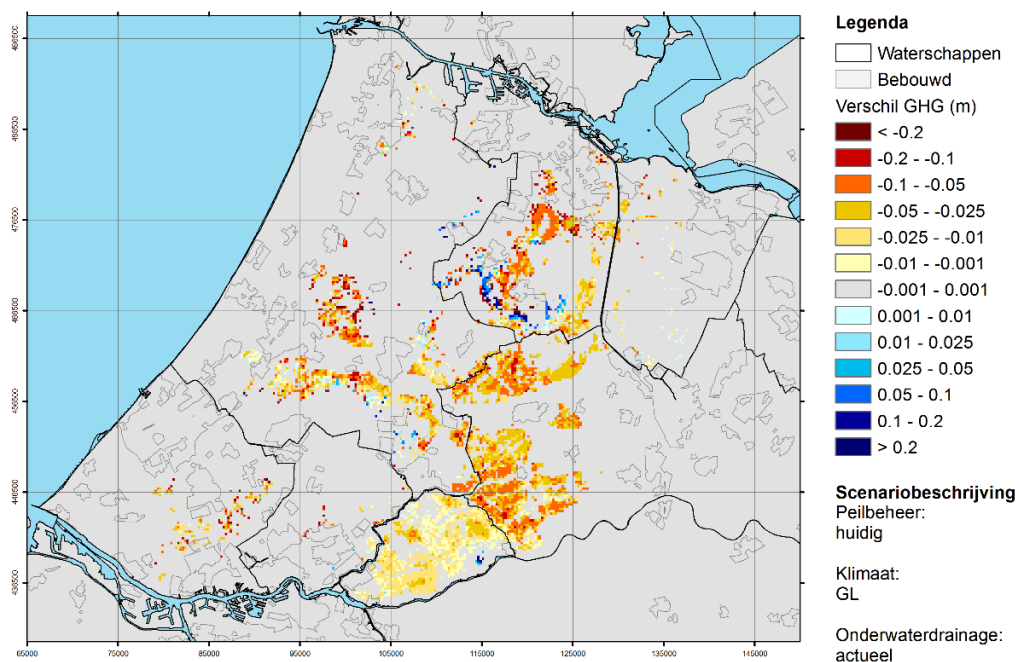


Figuur C4 Verskil in langjarig gemiddelde watervraag voor LSW's met minimaal 10% OWD tussen het scenario zonder onderwaterdrainage en met huidig klimaat en het scenario met onderwaterdrainage en toekomstig klimaatscenario WH (scenario 6 t.o.v. scenario 3). Een positieve waarde is een vergroting van de watervraag voor peilhandhaving.

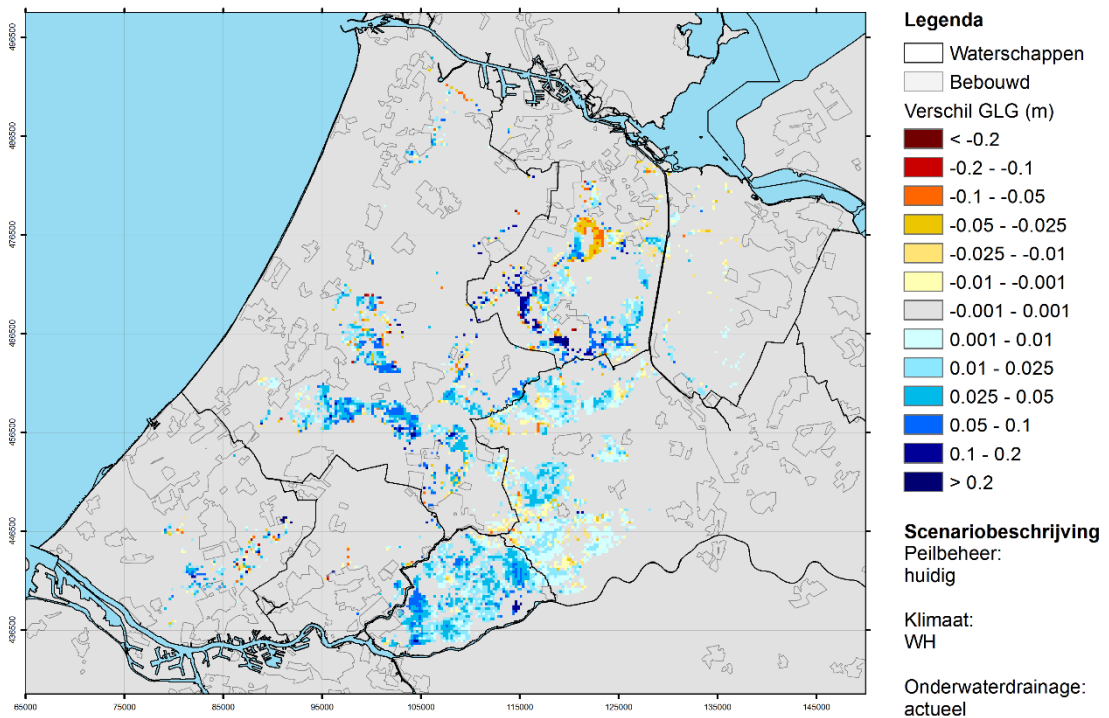
D Effecten GHG en GLG onderwaterdrainage en klimaatverandering



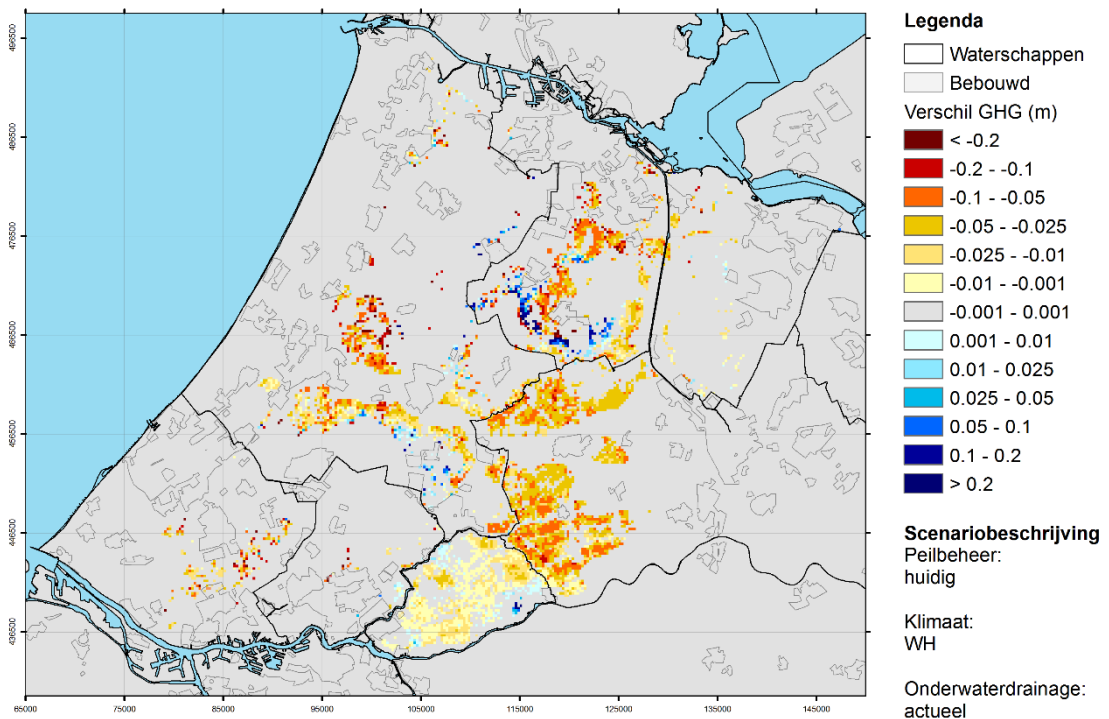
Figuur D1 Verschil in gemiddelde GLG tussen het scenario zonder onderwaterdrainage en met huidig klimaat en het scenario met onderwaterdrainage en toekomstig klimaat scenario G_L (scenario 5 t.o.v. scenario 1). Een positieve waarde is een verhoging van de GLG. De resultaten zijn alleen weergegeven voor de cellen met onderwaterdrainage.



Figuur D2 Verschil in gemiddelde GHG tussen het scenario zonder onderwaterdrainage en met huidig klimaat en het scenario met onderwaterdrainage en toekomstig klimaat scenario G_L (scenario 5 t.o.v. scenario 1). Een negatieve waarde is een verlaging van de GHG. De resultaten zijn alleen weergegeven voor de cellen met onderwaterdrainage.



Figuur D3 Vershil in gemodelleerde GLG tussen het scenario zonder onderwaterdrainage en met huidig klimaat en het scenario met onderwaterdrainage en toekomstig klimaatsscenario W_H (scenario 6 t.o.v. scenario 1). Een positieve waarde is een verhoging van de GLG. De resultaten zijn alleen weergegeven voor de cellen met onderwaterdrainage.



Figuur D4 Vershil in gemodelleerde GHG tussen het scenario zonder onderwaterdrainage en met huidig klimaat en het scenario met onderwaterdrainage en toekomstig klimaatsscenario W_H (scenario 6 t.o.v. scenario 1). Een negatieve waarde is een verlaging van de GHG. De resultaten zijn alleen weergegeven voor de cellen met onderwaterdrainage.

E Tabellen verandering watervraag per waterschap

Tabel E1 Verandering in de gemodelleerde watervraag ten behoeve van peilhandhaving per waterschap voor de LSW's met meer dan 10% onderwaterdrainage in m³/s voor juli 2003 voor de scenario's met onderwaterdrainage (4-actueel), met verbeterde onderwaterdrainage (4-verbeterde OWD) en klimaatscenario's G_L en W_H.

	scenario1 Referentie m ³ /s	scenario 4a OWD actueel m ³ /s (%)	scenario 4b OWD verbeterd m ³ /s (%)	scenario 5 G _L met OWD m ³ /s (%)	scenario 6 W _H met OWD m ³ /s (%)
HDSR	2.94	3.21 (9.17)	4.27 (45.27)	3.25 (10.47)	3.42 (16.3)
AGV	2.37	2.51 (6.25)	3.13 (32.4)	2.56 (8.21)	2.68 (13.19)
HHR	2.78	2.95 (6.12)	3.63 (30.66)	3.0 (7.97)	3.2 (15.12)
HHD	0.26	0.28 (8.42)	0.32 (26.37)	0.28 (10.27)	0.31 (20.65)
HHSK	2.35	2.57 (9.45)	3.15 (34.07)	2.61 (10.96)	2.76 (17.25)

Tabel E2 Verandering in de gemodelleerde watervraag ten behoeve van peilhandhaving per waterschap als geheel in m³/s voor juli 2003 voor de scenario's met onderwaterdrainage (4-actueel), met verbeterde onderwaterdrainage (4-verbeterde OWD) en klimaatscenario's G_L en W_H.

	scenario1 Referentie m ³ /s	scenario 4a OWD actueel m ³ /s (%)	scenario 4b OWD verbeterd m ³ /s (%)	scenario 5 G _L met OWD m ³ /s (%)	scenario 6 W _H met OWD m ³ /s (%)
HDSR	6	6.27 (4.55)	7.35 (22.46)	6.32 (5.37)	6.73 (12.14)
AGV	5.99	6.14 (2.54)	6.78 (13.21)	6.27 (4.79)	6.72 (12.21)
HHR	5.97	6.14 (2.88)	6.83 (14.47)	6.23 (4.42)	6.88 (15.33)
HHD	1.57	1.61 (2.17)	1.68 (7.07)	1.63 (3.49)	1.94 (23.14)
HHSK	2.97	3.19 (7.53)	3.78 (27.18)	3.24 (9.29)	3.51 (18.23)

Tabel E3 Verandering in de gemodelleerde watervraag ten behoeve van peilhandhaving per waterschap voor de LSW's met meer dan 10% onderwaterdrainage in m³/s en in mm/d voor heel 1998 voor de scenario's met onderwaterdrainage (4-actueel), met verbeterde onderwaterdrainage (4-verbeterde OWD) en klimaatscenario's G_L en W_H.

	scenario1 Referentie m ³ /s	scenario 4a OWD actueel m ³ /s (%)	scenario 4b OWD verbeterd m ³ /s (%)	scenario 5 G _L met OWD m ³ /s (%)	scenario 6 W _H met OWD m ³ /s (%)
HDSR	0.26	0.31 (15.88)	0.44 (67.86)	0.31 (19.26)	0.44 (65.94)
AGV	0.42	0.44 (6.31)	0.56 (35.98)	0.44 (5.27)	0.51 (23.66)
HHR	0.48	0.52 (8.39)	0.66 (37.58)	0.52 (9.49)	0.63 (31.28)
HHD	0.03	0.03 (9.05)	0.04 (42.0)	0.03 (13.24)	0.05 (58.42)
HHSK	0.39	0.43 (10.78)	0.56 (44.91)	0.42 (9.32)	0.51 (30.65)

	scenario1 Referentie mm/d	scenario 4a OWD actueel mm/d (%)	scenario 4b OWD verbeterd mm/d (%)	scenario 5 G _L met OWD mm/d (%)	scenario 6 W _H met OWD mm/d (%)
HDSR	0.09	0.11 (15.88)	0.16 (67.86)	0.11 (19.26)	0.16 (65.94)
AGV	0.16	0.18 (6.31)	0.22 (35.98)	0.17 (5.27)	0.2 (23.66)
HHR	0.21	0.23 (8.39)	0.29 (37.58)	0.23 (9.49)	0.27 (31.28)
HHD	0.08	0.08 (9.05)	0.11 (42.0)	0.09 (13.24)	0.12 (58.42)
HHSK	0.25	0.28 (10.78)	0.37 (44.91)	0.28 (9.32)	0.33 (30.65)

Tabel E4 Verandering in de gemodelleerde watervraag ten behoeve van peilhandhaving per waterschap als geheel in m³/s en in mm/d voor heel 1998 voor de scenario's met onderwaterdrainage (4-actueel), met verbeterde onderwaterdrainage (4-verbeterde OWD) en klimaatscenario's G_L en W_H.

	scenario1 Referentie m ³ /s	scenario 4a OWD actueel m ³ /s (%)	scenario 4b OWD verbeterd m ³ /s (%)	scenario 5 G _L met OWD m ³ /s (%)	scenario 6 W _H met OWD m ³ /s (%)
HDSR	0.62	0.67 (7.01)	0.81 (29.52)	0.67 (7.4)	0.87 (39.0)
AGV	1.12	1.15 (2.57)	1.28 (14.16)	1.15 (2.11)	1.32 (17.38)
HHR	0.98	1.02 (4.23)	1.17 (18.76)	1.02 (4.34)	1.26 (28.14)
HHD	0.18	0.19 (2.41)	0.2 (11.06)	0.18 (0.09)	0.27 (45.76)
HHSK	0.47	0.51 (9.07)	0.64 (37.8)	0.5 (7.65)	0.61 (30.68)

	scenario1 Referentie mm/d	scenario 4a OWD actueel mm/d (%)	scenario 4b OWD verbeterd mm/d (%)	scenario 5 G _L met OWD mm/d (%)	scenario 6 W _H met OWD mm/d (%)
HDSR	0.07	0.07 (7.01)	0.09 (29.52)	0.07 (7.4)	0.09 (39.0)
AGV	0.15	0.16 (2.57)	0.17 (14.16)	0.16 (2.11)	0.18 (17.38)
HHR	0.09	0.1 (4.23)	0.11 (18.76)	0.1 (4.34)	0.12 (28.14)
HHD	0.04	0.04 (2.41)	0.05 (11.06)	0.04 (0.09)	0.06 (45.76)
HHSK	0.12	0.13 (9.07)	0.16 (37.8)	0.13 (7.65)	0.15 (30.68)

Tabel E5 Verandering in de gemodelleerde watervraag ten behoeve van peilhandhaving per waterschap voor de LSW's met meer dan 10% onderwaterdrainage in m³/s en in mm/d voor heel 2003 voor de scenario's met onderwaterdrainage (4-actueel), met verbeterde onderwaterdrainage (4-verbeterde OWD) en klimaatscenario's G_L en W_H.

	scenario1 Referentie m ³ /s	scenario 4a OWD actueel m ³ /s (%)	scenario 4b OWD verbeterd m ³ /s (%)	scenario 5 G _L met OWD m ³ /s (%)	scenario 6 W _H met OWD m ³ /s (%)
HDSR	1.27	1.38 (8.63)	1.67 (31.42)	1.37 (7.72)	1.44 (13.1)
AGV	1.23	1.3 (6.03)	1.56 (27.09)	1.3 (6.08)	1.35 (9.4)
HHR	1.31	1.39 (5.9)	1.6 (22.17)	1.37 (4.85)	1.45 (10.53)
HHD	0.11	0.12 (8.1)	0.13 (21.44)	0.12 (7.51)	0.13 (17.35)
HHSK	1.02	1.09 (6.81)	1.23 (21.0)	1.06 (4.39)	1.13 (11.08)

	scenario1 Referentie mm/d	scenario 4a OWD actueel mm/d (%)	scenario 4b OWD verbeterd mm/d (%)	scenario 5 G _L met OWD mm/d (%)	scenario 6 W _H met OWD mm/d (%)
HDSR	0.45	0.49 (8.63)	0.59 (31.42)	0.49 (7.72)	0.51 (13.1)
AGV	0.49	0.52 (6.03)	0.62 (27.09)	0.52 (6.08)	0.53 (9.4)
HHR	0.57	0.6 (5.9)	0.7 (22.17)	0.6 (4.85)	0.63 (10.53)
HHD	0.28	0.3 (8.1)	0.34 (21.44)	0.3 (7.51)	0.32 (17.35)
HHSK	0.66	0.71 (6.81)	0.8 (21.0)	0.69 (4.39)	0.73 (11.08)

Tabel E6 Verandering in de gemodelleerde watervraag ten behoeve van peilhandhaving per waterschap als geheel in m³/s en in mm/d voor heel 2003 voor de scenario's met onderwaterdrainage (4-actueel), met verbeterde onderwaterdrainage (4-verbeterde OWD) en klimaatscenario's G_L en W_H.

	scenario1 Referentie m ³ /s	scenario 4a OWD actueel m ³ /s (%)	scenario 4b OWD verbeterd m ³ /s (%)	scenario 5 G _L met OWD m ³ /s (%)	scenario 6 W _H met OWD m ³ /s (%)
HDSR	2.77	2.88 (3.96)	3.16 (14.34)	2.83 (2.38)	2.97 (7.32)
AGV	3.09	3.17 (2.43)	3.43 (10.95)	3.18 (2.63)	3.36 (8.51)
HHR	2.7	2.78 (2.94)	3.0 (11.04)	2.76 (2.12)	2.97 (9.74)
HHD	0.66	0.68 (2.07)	0.7 (5.93)	0.66 (-0.52)	0.77 (15.79)
HHSK	1.27	1.34 (5.46)	1.49 (16.93)	1.32 (3.71)	1.43 (12.06)

	scenario1 Referentie mm/d	scenario 4a OWD actueel mm/d (%)	scenario 4b OWD verbeterd mm/d (%)	scenario 5 G _L met OWD mm/d (%)	scenario 6 W _H met OWD mm/d (%)
HDSR	0.3	0.31 (3.96)	0.34 (14.34)	0.31 (2.38)	0.32 (7.32)
AGV	0.42	0.43 (2.43)	0.47 (10.95)	0.43 (2.63)	0.46 (8.51)
HHR	0.25	0.26 (2.94)	0.28 (11.04)	0.26 (2.12)	0.28 (9.74)
HHD	0.15	0.16 (2.07)	0.16 (5.93)	0.15 (-0.52)	0.18 (15.79)
HHSK	0.32	0.34 (5.46)	0.38 (16.93)	0.33 (3.71)	0.36 (12.06)

Tabel E7 Verandering in de gemodelleerde watervraag ten behoeve van peilhandhaving per waterschap voor de LSW's met meer dan 10% onderwaterdrainage in m³/s en in mm/d voor 1998 t/m 2006 voor de scenario's met onderwaterdrainage (4-actueel), met verbeterde onderwaterdrainage (4-verbeterde OWD) en klimaatscenario's G_L en W_H.

	scenario1 Referentie m ³ /s	scenario 4a OWD actueel m ³ /s (%)	scenario 4b OWD verbeterd m ³ /s (%)	scenario 5 G _L met OWD m ³ /s (%)	scenario 6 W _H met OWD m ³ /s (%)
HDSR	0.63	0.69 (10.42)	0.88 (40.18)	0.69 (10.36)	0.82 (30.96)
AGV	0.7	0.75 (6.44)	0.91 (29.94)	0.74 (5.49)	0.83 (18.18)
HHR	0.79	0.85 (6.79)	1.01 (27.13)	0.84 (6.4)	0.95 (20.39)
HHD	0.06	0.07 (8.36)	0.08 (27.09)	0.07 (7.4)	0.08 (32.53)
HHSK	0.55	0.6 (8.36)	0.73 (31.45)	0.59 (6.27)	0.71 (28.57)

	scenario1 Referentie mm/d	scenario 4a OWD actueel mm/d (%)	scenario 4b OWD verbeterd mm/d (%)	scenario 5 G _L met OWD mm/d (%)	scenario 6 W _H met OWD mm/d (%)
HDSR	0.22	0.25 (10.42)	0.31 (40.18)	0.25 (10.36)	0.29 (30.96)
AGV	0.28	0.3 (6.44)	0.36 (29.94)	0.29 (5.49)	0.33 (18.18)
HHR	0.35	0.37 (6.79)	0.44 (27.13)	0.37 (6.4)	0.42 (20.39)
HHD	0.15	0.17 (8.36)	0.2 (27.09)	0.17 (7.4)	0.2 (32.53)
HHSK	0.36	0.39 (8.36)	0.47 (31.45)	0.38 (6.27)	0.46 (28.57)

Tabel E8 Verandering in de gemodelleerde watervraag ten behoeve van peilhandhaving per waterschap als geheel in m³/s en in mm/d voor 1998 t/m 2006 voor de scenario's met onderwaterdrainage (4-actueel), met verbeterde onderwaterdrainage (4-verbeterde OWD) en klimaatscenario's G_L en W_H.

	scenario1 Referentie m ³ /s	scenario 4a OWD actueel m ³ /s (%)	scenario 4b OWD verbeterd m ³ /s (%)	scenario 5 G _L met OWD m ³ /s (%)	scenario 6 W _H met OWD m ³ /s (%)
HDSR	1.37	1.43 (4.87)	1.62 (18.65)	1.41 (3.33)	1.66 (21.21)
AGV	1.77	1.81 (2.65)	1.98 (12.3)	1.8 (2.12)	2.03 (15.15)
HHR	1.61	1.66 (3.43)	1.83 (13.61)	1.65 (2.75)	1.9 (18.21)
HHD	0.35	0.36 (2.24)	0.38 (7.61)	0.35 (-1.65)	0.44 (23.76)
HHSK	0.67	0.72 (6.94)	0.85 (26.16)	0.71 (5.29)	0.86 (28.48)

	scenario1 Referentie mm/d	scenario 4a OWD actueel mm/d (%)	scenario 4b OWD verbeterd mm/d (%)	scenario 5 G _L met OWD mm/d (%)	scenario 6 W _H met OWD mm/d (%)
HDSR	0.15	0.16 (4.87)	0.18 (18.65)	0.15 (3.33)	0.18 (21.21)
AGV	0.24	0.25 (2.65)	0.27 (12.3)	0.24 (2.12)	0.28 (15.15)
HHR	0.15	0.16 (3.43)	0.17 (13.61)	0.15 (2.75)	0.18 (18.21)
HHD	0.08	0.08 (2.24)	0.09 (7.61)	0.08 (-1.65)	0.1 (23.76)
HHSK	0.17	0.18 (6.94)	0.21 (26.16)	0.18 (5.29)	0.22 (28.48)