

Klimaatadaptieve Drainage

Een innovatieve methode om piekafvoeren
en watertekorten te verminderen

September 2010

Bijlagen bij Eindrapportage Haalbaarheidsonderzoek

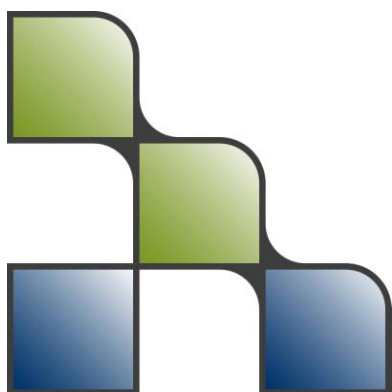
Opgesteld door

FutureWater
Kuipers Electronic Engineering
De Bakelse Stroom
Van Iersel

Opdrachtgever

Ministerie van Verkeer en Waterstaat – SBIR programma

Rapport FutureWater: 95



FutureWater

Costerweg 1G
6702 AA Wageningen
The Netherlands

+31 (0)317 460050

info@futurewater.nl

www.futurewater.nl

Toelichting

Op 14 januari 2010 heeft het AgentschapNL in opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat een oproep gedaan voor het indienen van voorstellen in het klimaatadaptieve drainageer van SBIR (Small Business Innovation Research). De specifieke oproep had als titel "Maak de Nederlandse waterhuishouding klimaatadaptiever", met als sluitingsdatum 1 maart 2010.

Naar aanleiding van deze oproep heeft FutureWater, in consortium met Kuipers Electronic Engineering, Bakelse Stroom en Van Iersel, een voorstel ingediend op 25 februari 2010. Op 28 mei heeft AgentschapNL de officiële opdrachtbevestiging gegeven aan FutureWater om dit haalbaarheidsonderzoek uit te voeren.

De administratieve details van het project zijn:

- SBIR-projectnummer: SBIR103008
- projecttitel: "Klimaatadaptieve Drainage. Een innovatieve methode om piekafvoeren en watertekorten te verminderen."
- uitvoerder: FutureWater
- begin- en einddatum van het project: 28 mei 2010 tot 1 oktober 2010

Dit rapport bevat de bijlagen behorende bij de eindrapportage.



Inhoudsopgave

1	Interesse waterbeheerders en grondgebruikers	5
1.1	Waterschap Peel en Maasvallei	5
1.2	Waterschap Hunze en Aa's	6
1.3	Waterschap Brabantse Delta	7
1.4	Waterschap Brabantse Delta	8
1.5	Waterschap Aa en Maas	8
1.6	Waterschap Groot Salland	8
1.7	Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden	9
1.8	STOWA	9
1.9	Deltaprogramma	10
1.10	Natuurmonumenten	10
1.11	Directoraat-Generaal Water (DGW) Ministerie van Verkeer en Waterstaat	10
1.12	Waterschap Vallei en Eem	11
1.13	Waterschap Peel en Maasvallei	11
1.14	LTO Nederland	11
2	Hydrologische haalbaarheid	13
2.1	Introductie	13
2.2	SWAP model	13
2.2.1	Meteorologische invoer SWAP model	14
2.2.2	Uitgangssituaties SWAP model	17
2.2.3	Analyse resultaten	20
2.2.4	Discussie	25
2.3	SIMGRO ruimtelijke patronen	25
2.3.1	Algemeen	25
2.3.2	Hydrologische opgave	26
2.3.3	Waarom klimaatadaptieve drainage?	26
2.3.4	Sturing Simgro	28
2.3.5	Validatie	30
2.3.6	Resultaten	30
2.3.7	Afvoeren	33
2.3.8	Conclusies	34
3	Opzet detailberekeningen onderzoek en ontwikkelingstraject	35
3.1	Inleiding	35
3.2	Werkwijze	35
3.2.1	Conceptuele analyse	35
3.2.2	Schematisatie	36
3.2.3	Randvoorwaarden	36
3.2.4	Parameterisatie	37
3.2.5	Beginvoorwaarden	37
3.3	Toepassen computercode en simuleren	37
4	Detail ontwerp regelputten	43
4.1	Regelput	43
4.2	Besturing	43
5	Economische haalbaarheid	47
5.1	Introductie	47



5.2	Financiële haalbaarheid	47
5.3	Juridische/organisatorische haalbaarheid.	49
5.3.1	Blauwe diensten	50
5.3.2	Dwingende regelingen	51
6	Brieven	53



1 Interesse waterbeheerders en grondgebruikers

Het welslagen van het introduceren van Klimaatadaptieve Drainage als middel om de toename in piekafvoeren als gevolg van klimaatverandering te reduceren en wateraanvoerbehoefte te beperken hangt voor een groot deel af van de haalbaarheid die waterbeheerders zien in het concept. Hiervoor zijn verschillende interviews afgenomen bij diverse waterbeheerders. De volgende secties geven een samenvatting van deze interviews.

1.1 Waterschap Peel en Maasvallei

Dhr. J. Peerboom, 4-jun-2010

Het Waterschap Peel en Maasvallei is verantwoordelijk voor het waterbeheer in Noord en Midden. Dhr. Peerboom is hoofd afdeling onderzoek en beleid en in die hoedanigheid verantwoordelijk voor het strategisch beleid van het waterschap ten aanzien van alle aspecten van het kwantitatieve waterbeheer. Hieronder valt ook het beleid ten aanzien van klimaatverandering. Vanuit zijn functie is Peerboom tevens verantwoordelijk voor het adviseren, gevraagd en ongevraagd, van het bestuur van het waterschap.

Het concept van Klimaatadaptieve Drainage spreekt Peerboom erg aan en hij is al sinds enkele jaren betrokken met een complementair project: peilgestuurde drainage. Deze peilgestuurde drainage is enkele jaren geïntroduceerd (door dhr. Ad van Iersel die partner is in het SBIR project) met als enige doelstelling agrariërs de mogelijkheid te geven om hun drainagesystemen afhankelijk van de fysische omstandigheden in te stellen. In de praktijk komt dit erop neer dat zij binnen en tussen percelen geen vaste drainage basis meer hebben, zoals traditioneel wel het geval is. Voor deze peilgestuurde drainage zijn inmiddels een aantal proefpercelen ingericht en wordt er gemonitord wat de effecten hiervan zijn.

Tijdens het gesprek is duidelijk geworden dat peilgestuurde drainage en Klimaatadaptieve Drainage wezenlijk verschillen. Ten eerste richt peilgestuurde drainage zich alleen op agrariërs, terwijl klimaatadaptieve drainage zich primair richt op de waterbeheerders en secundair op de voordelen die het systeem ook nog voor de agrariër meebrengt. Ten tweede wordt binnen klimaatadaptieve drainage het drainage systeem op afstand regelbaar gemaakt om zodoende snel en effectief het niveau bij te stellen, dit in tegenstelling van peilgestuurde drainage waarbij het systeem maximaal twee maal per jaar wordt bijgesteld. Ten derde gaat klimaatadaptieve drainage gaat verder dan alleen een regelbaar drainagesysteem aan te bieden, maar het zal voor waterbeheerders een compleet innovatief systeem worden op piekafvoeren te reduceren en wateraanvoerbehoeften te verminderen. Dhr. Peerboom onderschreef deze verschillen en zag duidelijk het nut van klimaatadaptieve drainage voor waterbeheerders om de aankomende klimaatuitdagingen het hoofd te bieden.

Dhr. Peerboom gaf aan dat het waterschap Peel en Maasvallei zeker geïnteresseerd is in klimaatadaptieve drainage. Een kritische opmerking was wel dat klimaatadaptieve drainage componenten van zogenoemd “blauwe diensten” in zich heeft: ingelanden voeren diensten uit voor het waterschap. Binnen het waterschap is er een discussie tot in welke mate het waterschap hiervan afhankelijk wil zijn. Peerboom gaf wel aan dat, aangezien klimaatadaptieve drainage zowel de waterbeheerder als de agrariër dient, klimaatadaptieve drainage zeker kans



van slagen heeft. De mogelijkheid om aan een eventuele demonstratie fase mee te doen, zou afhankelijk zijn van de inspanningen die het waterschap extra zou moeten leveren.

1.2 Waterschap Hunze en Aa's

Dhr. J. den Besten, 4-jun-2010

Dhr. den Besten is werkzaam op de afdeling advies en onderzoek van het waterschap Hunze en Aa's. Het waterschap is verantwoordelijk voor het waterbeheer in Groningen en Drenthe. Dhr. den Besten is verantwoordelijk voor nieuwe beleid en als zodanig ook verantwoordelijk voor het adviseren van het bestuur van het waterschap.

Het waterschap heeft over de afgelopen jaren op diverse plaatsen last gehad van wateroverlast na hevige neerslag en de verwachting is dat deze overlast ten gevolge van klimaatverandering alleen maar zal toenemen. Het waterschap is dan ook op zoek naar mogelijkheden om de huidige en de te verwachte toekomstige wateroverlast te verminderen. Daarnaast heeft het waterschap in snel toenemende mate last van droogte en wordt onderzocht wat de mogelijkheden zijn om de aanvoer van IJsselmeer water te vergroten. Hierbij is Dhr. den Besten ook uitdrukkelijk op zoek naar alternatieven voor deze toenemende watervraag en wateroverlast.

Het concept van KAM spreekt Dhr. den Besten erg aan en hij ziet zeker mogelijkheden om dit in te gaan zetten als instrument om de toenemende klimaatextremen op te vangen. Het concept om naast het waterschap ook ingelanden te betrekken bij het op orde houden van het waterbeheer past binnen de strategie van het waterschap.

Dhr. den Besten gaf aan dat het waterschap graag wil meedoen aan een eventuele demonstratiefase en dat dit ook uitstekend past bij de strategie van het waterschap.

Email aanvulling 7-jun-2010

Ik ben tot nu toe niet met peilgestuurde drainage (of anderszins aangestuurde drainage) bezig geweest. Paul Hendriks wel, daarom heb ik de vraag ook naar hem doorgestuurd.

Op zich een interessante benadering. De toepasbaarheid kan ik niet bij voorbaat goed inschatten. Maar dat gaan jullie dan ook nog onderzoeken.

Hierbij een eerste reactie na het voorstel snel te hebben doorgelezen:

- In klei gronden ligt de meeste drainage. Maar die is gedimensioneerd op de piekafvoer en een daarbij maximaal toelaatbare grondwaterstand. Of je daar nog erg veel winst kunt halen in reductie van piekafvoer door "op maat en op juiste tijdstip" te draineren lijkt me niet. Mogelijk wel in de minder extreme situaties, maar dat levert niet de echte winst op voor het waterschap. En mogelijk in de heel extreme situaties (minder vaak dan 1/25 jaar) omdat dat je dan de akkers wel plas dras "mag" zetten. Dat plas dras zal daar waarschijnlijk snel gebeuren omdat de kleigrond dan al vrij verzadigd zal zijn. Maar een drainage die na 10-15 jaar is afgeschreven is niet erg logisch als oplossing voor zulke extreme situaties denk ik. Bovendien kunnen we daar makkelijk malen naar zee zonder dat dat afwentelen van problemen benedenstrooms veroorzaakt. Daarom hebben we in de kleigebieden (=langs de kust) geen opgave om water vast te houden.



Qua bemalingsenergie win je denk ik ook niet veel omdat je het gevallen water maar even vasthoudt en het een tijdje later toch vaak weer afvoert om natschade te voorkomen.

- droogte op klei gronden is bij ons (nu) vrijwel nooit een groot probleem
- In zand grond ligt drainage alleen in lagere en/of venige delen. Voor piekafvoer geldt ongeveer hetzelfde als in klei denk ik. Wij gaan daar wel stuwen op telemetrie zetten om in die heel extreme situaties (minder vaak dan 1/50 jaar) water bovenstrooms te kunnen vast houden. Doel is benedenstrooms (= langs Winschoterdiep en Eemskanaal) problemen te voorkomen. Als jullie een systeem kunnen leveren dat minder duur per m³ vastgehouden water is dan die stuwen op telemetrie, dan kan dat daar mogelijk nog wel interessant zijn. Ik zou dan qua kosten raming onderscheid maken in gebieden die nu al drainage behoeftig zijn en in gebieden waar je speciaal voor deze toepassing drains zou moeten aanleggen. (afschrijvingstermijn van de drains versus incidenteel (1/25 jaar) "nut" speelt dan overigens nog steeds.
- Voor droge delen zou het conserveren wel interessant zijn (en dan ieder jaar tot 1/10 jaar), maar daar ligt vrijwel geen drainage omdat afvoer daar geen probleem is. Als je drainage zou moeten aanleggen alleen voor conserveren dan wordt het misschien wel erg duur. Maar reken dat maar eens door. Die drains zouden dan wel tevens voor "piek vast houden" gebruikt kunnen worden.

Als ik dit zo op een rijtje zet kom ik bij ons uit op de Veenkoloniën voor een eventuele case-gebied omdat daar nu als zowel piekberging nodig is en ook waterconservering voor droogte bestrijding.

Interessant genoeg om de resultaten van zo'n onderzoek te willen zien. Maar of ik er geld voor los krijg, betwijfel ik. We zullen al hard genoeg moeten werken om voor 2015 alle reeds geplande projecten uit te kunnen voeren.

1.3 Waterschap Brabantse Delta

Dhr. Kees Peerdeman, 17-jun-2010

Het waterschap Brabantse Delta beheert water oostelijk Brabant. Dhr. Peerdeman werkt bij de afdeling beleid en is verantwoordelijk voor het kwantitatief waterbeheer en ook verantwoordelijk voor het beleid ten aanzien van klimaatverandering.

Het concept van klimaatadaptieve drainage spreekt Peerdeman erg aan. Hij geeft aan dat het componenten heeft van een aantal andere bewezen concepten, maar dat klimaatadaptieve drainage dit innovatief en veelbelovend combineert. Ten eerste noemt Peerdeman het concept peilgestuurde drainage wat nu in Brabant en Limburg bij enkele boeren als proef wordt ingezet, maar alleen droogtebestrijding als doel heeft. Ten tweede noemt hij de kleine landbouwstuwjes, bekend staand als LOP-stuwje, die ingezet worden om water vast te houden voor gebruik tijdens droge perioden. Als gunstige bijwerking hebben de LOP stuwjes soms ook nog dat piekafvoeren worden afgezwakt. Peerdeman geeft aan dat klimaatadaptieve drainage dus zeker zal werken, en vooral het "aanpakken bij de bron" spreekt hem erg aan.

De discussie hoe het nut van klimaatadaptieve drainage kan worden aangetoond is voor Peerdeman minder van belang. Hij heeft zelf geen behoefte om dit te staven met kwantitatieve



modellen, die precies aangeven wat de piekafvoerreductie zal zijn en wat de verminderde wateraanvoerbehoefte is. Peerdeman geeft aan dat iedereen ziet dat klimaatadaptieve drainage zal werken en is één van de maatregelen die het watersysteem klimaat-robuster maakt.

Peerdeman is zeker bereid om na te denken over het eventueel uit te voeren demonstratiefase van klimaatadaptieve drainage.

1.4 Waterschap Brabantse Delta

Dhr. René Rijken, 13-jul-2010

Overleg met dhr. Rijken over mogelijke locaties voor het klimaatadaptieve drainage project. Er zijn 2 locaties die uitermate geschikt zijn voor de pilot fase. Het bedrijf in Dinteloord wil op zeer korte termijn een systeem aanleggen, dus daar moet je snel handelen. Het betreft hier een poldergebied op klei. Het tweede bedrijf ligt langs de Aa of Weerijns en heeft al een systeem ingericht.

Brabantse Delta willen de proef begeleiden en op de hoogte blijven van de resultaten, uitgaande dat de coördinatie, voorbereiding, uitvoering en inrichting van de proef door het consortium wordt gedaan.

1.5 Waterschap Aa en Maas

Leo Joosten, 4-jun-2010

Leo Joosten is Senior Beleidsadviseur bij het Waterschap Aa en Maas. Klimaatadaptieve drainage besproken en hij vond het een uitermate boeiend idee wat goed past bij huidige initiatieven binnen het waterschap om waterbeheer klimaatadaptiever te maken. Het waterschap zou graag meewerken aan een pilot en is bereid hieraan actief bij te dragen. Details kunnen later besproken worden.

1.6 Waterschap Groot Salland

*Barry Ros, Beleidsadviseur watersysteem en waterkeringen
22-jun-2010*

Ik had de vraag over klimaatadaptieve drainage nog niet beantwoord: ik heb het ingebracht in de hydrologen-vergadering: de conclusie is dat we er positief tegenover staan en dus graag bereid zijn om één en ander verder uit te werken. Mogelijk kan dit gekoppeld worden aan een initiatief van LTO-Noord (zij zijn bezig met een "deltaplan agrarisch waterbeheer"). Ik denk dat een waterschap en LTO-Noord een sterke combinatie is om het initiatief van de grond te krijgen. LTO is een essentiële partner voor de medewerking van de landbouw.

We moeten intern nog kijken wie contactpersoon wordt. Voorlopig kunnen jullie het met Gerben Tromp kortsluiten. Hij is de coördinator van het hydrologenteam: gtromp@wgs.nl , 038-4557348. Jullie kunnen hem het beste even bellen (niet op woensdag, en meeste kans tussen 8-9h 's ochtends).



1.7 Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

Geacht SBIR consortium,

Ons waterschap is bijzonder geïnteresseerd in innovatieve oplossingen om aan de wateropgaven piekafvoerreductie, verdrogingsbestrijding en waterkwaliteitsverbetering te voldoen. Peilgestuurde samengestelde drainage is daarbij nadrukkelijk in beeld. Er is een door ons geïnitieerde studie in uitvoering om te kunnen aantonen dat klimaatadaptieve drainage kan dienen als mitigerende maatregel in landbouwgebieden rond te vernatten natuurgebieden in het Langbroekerweteringgebied. Vooral ook de mogelijkheid om door middel van de sturing van de drainagebasis te kunnen inspelen op klimaatverandering spreekt me bijzonder aan. Het waterschap verwacht ook dat de weerstand van de boeren tegen vernatting afneemt als aangetoond kan worden dat het systeem mogelijkheden biedt wateroverlast actief te reduceren, omdat de agrariërs in het gebied vooral willen kunnen doorboeren, ook na het uitvoeren van anti-verdrogingsmaatregelen.

Het waterschap wil dan ook actief betrokken blijven bij de verdere ontwikkeling van Klimaatadaptieve Drainage, zo mogelijk door het systeem in het Langbroekerweteringgebied te implementeren. E.e.a. indien uit onze studie blijkt dat klimaatadaptieve drainage een methode is om natschade ten gevolge van verdrogingsbestrijding te voorkomen, zodat de functies landbouw en natuur in harmonie naast elkaar kunnen blijven voortbestaan.

De wijze van betrokkenheid/samenwerking dient uiteraard nog nader te worden uitgewerkt.
Met vriendelijke groet,

Joost Heijkers,
Beleidsmedewerker & Hydroloog

1.8 STOWA

Mevr. M. Talsma

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) is het kenniscentrum van regionale waterbeheerders in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart en verspreidt kennis die nodig is om de opgaven waar waterbeheerders voor staan, goed uit te voeren. Denk aan klimaatadaptatie, een goede implementatie en uitvoering van de KRW en veilige regionale waterkeringen. De kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch en sociaal-wetenschappelijk gebied.

Mevr. Talsma geeft aan dat ze via de SBIR website het project klimaatadaptieve drainage had gezien, en hier graag verder over wil praten. Ze ziet klimaatadaptieve drainage als een belangrijke innovatie die STOWA daarom ook duidelijk wil ondersteunen en promoten. Er is afgesproken dat STOWA op 12-okt-2010 een overleg gaat plannen waarbij de waterbeheerders zullen worden geïnformeerd hoe klimaatadaptieve drainage kan bijdragen in de aanpassingen voor klimaatverandering en dan met name het verminderen van piekafvoeren.



1.9 Deltaprogramma

Rob Ruijtenberg
13-sep-2010

Dhr. Ruijtenberg is verantwoordelijk om het Deltaprogramma binnen STOWA vorm te geven. Hij vormt hierbij de spil tussen de contacten van het Deltaprogramma en de waterschappen. De belangrijkste taken zijn:

- Welke kennisvragen leven er bij waterschappen en wat is het antwoord daarop?
- Hoe kunnen we het regionale watersysteem aanpassen op het landelijke watersysteem?
- Wat kunnen we met zelfvoorzienendheid? M.b.t. dit onderwerp leeft de vraag hoe we aan kunnen sluiten op bestaande initiatieven, zowel op grote (bijv. Drentse Woud) als op kleine schaal?
- Hoe werkt de landelijke normering m.b.t. veiligheid door in de regio?

Het Deltaprogramma ziet grote kansen voor de inzet van klimaatadaptieve drainage voor het afvangen van piekafvoeren. Er zal bij een eventuele vervolgfase actief worden meegewerkt aan het opzetten van de pilots in het klimaatadaptieve drainageer van klimaatadaptieve drainage.

1.10 Natuurmonumenten

Nick Straathof

Dhr. Straathof is hydroloog bij Natuurmonumenten. Is zeker geïnteresseerd in verder onderzoek aan klimaatadaptieve drainage en wil graag op de hoogte gehouden worden. Dhr. Straathof is erg voor kwaliteit en is erg blij met de deskundigheid van het klimaatadaptieve drainage consortium zodat er geen "hydrologische onzin wordt verspreid". Hij wil graag verder betrokken blijven bij de ontwikkelingen en is geïnteresseerd om verder te praten over mogelijk inzet van klimaatadaptieve drainage.

1.11 Directoraat-Generaal Water (DGW) | Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Douwe Jonkers: Programma Waterkwantiteit en -kwaliteit (WKK)
25-mei-2010 en 27-mei-2010 en

Dhr. Jonkers is senior beleidsmedewerker bij het Programma Waterkwantiteit en -kwaliteit (WKK) van het Directoraat-Generaal Water (DGW) bij het Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Dhr. Jonkers juicht dit soort initiatieven van harte toe en is erg geïnteresseerd naar de resultaten van klimaatadaptieve drainage. Hij wil graag hiervan op de hoogte blijven en over een mogelijk vervolg verder praten en zien wat de rol van het Ministerie kan zijn.



1.12 Waterschap Vallei en Eem

Matthijs van den Brink

2-jun-2010

Dhr. Van den Brink geeft aan dat het een interessant concept is en zeker potenties heeft. Hij vermoedt echter het beheersgebied van Vallei en Eem zich er niet erg voor leent: er zijn hier namelijk nauwelijks gedraineerde percelen. Dhr. Van den Brink geeft aan dat hij wel zo een aantal gebieden weet waar klimaatadaptieve drainage wel hoe nuttig kan zijn. Enkele voorbeelden zijn het Winterswijkse en natuurlijk in Limburg. Contact opnemen met Ellen Bollen of Nila Timiniau zou een goede optie zijn.

1.13 Waterschap Peel en Maasvallei

A. Paarlberg, Hoofd afdeling kennis en advies

15-sep-2010

Het Waterschap Peel en Maasvallei is uitermate geïnteresseerd en wil zeker kennis nemen van de resultaten van het onderzoek. Zie de support brief in hoofdstuk 6 voor details.

1.14 LTO Nederland

31-aug-2010

LTO Nederland is de ondernemers en werkgevers organisatie voor de agrarische sector. LTO Nederland heeft via de Limburgse Land- en Tuinbouwbond (LLTB) laten weten dat zij het klimaatadaptieve drainage initiatief “van harte omarmen” en dat het project potenties voor meerder regio's in Nederland heeft. Zie de support brief hoofdstuk 6 voor details.





2 Hydrologische haalbaarheid

2.1 Introductie

De technische haalbaarheid van Klimaatadaptieve Drainage is getoetst met geavanceerde computersimulatiemodellen zoals deze worden toegepast in het waterbeheer. Deze toetsing had als doel om met name de volgende deelvragen te beantwoorden:

- Welke rekenmethodes moeten ontwikkeld worden om de inzetbaarheid van de Klimaatadaptieve Drainage te bepalen als functie van locatie, bijbehorende omgevingsfactoren (bodem, gewastype, grondwaterregime) en weer- en klimaatcondities?
- In welke mate kunnen de piekafvoeren worden verminderd met Klimaatadaptieve Drainage?
- In welke mate kunnen de wateraanvoerbehoeften worden verminderd met Klimaatadaptieve Drainage?

De kern voor het toepassen van deze modellen is dat hiermee de werkelijkheid kan worden nagebootst, waarbij voor het klimaat elke willekeurige randvoorwaarden kan worden toegepast. Van de beschikbare modellen is er gekozen om zowel SWAP als SIMGRO te gebruiken.

SWAP is uitermate sterk in detail analyses per punt, terwijl SIMGRO goed de ruimtelijke verbanden kan simuleren. Voor SWAP is uitgegaan van een representatief gebied met een zavelgrond en de klimaatgegevens van De Bilt. Als gewas is voorlopig gras aangehouden. Hiermee is een indruk verkregen van de haalbaarheid van klimaatadaptieve drainage voor gemiddelde omstandigheden. Tijdens de pilotfase zullen specifiek een aantal percelen worden doorgerekend en de meest optimale zullen worden uitgekozen als pilotgebied.

2.2 SWAP model

Het SWAP model (Soil-Water-Atmosphere-Plant) simuleert transport van water, opgeloste stoffen en warmte in de onverzadigde en verzadigde zone. SWAP is ontwikkeld door Wageningen Universiteit en Alterra-Groene Ruimte. De eerste versie van het SWAP model werd al in 1978 ontwikkeld (Feddes et al., 1978) en sindsdien is het model veelvuldig toegepast en zijn diverse verbeteringen aangebracht. SWAP wordt wereldwijd toegepast bij zowel wetenschappelijk onderzoek als bij adviesbureaus. Het verticale domein van het SWAP model reikt van de atmosfeer net boven de vegetatie tot in het ondiepe grondwater. Het horizontale domein waarop SWAP veelvuldig wordt toegepast is perceelsniveau. SWAP is daardoor bij uitstek geschikt voor het doorrekenen van effecten zoals grondwaterstands en oppervlaktewater veranderingen op de gewasgroei en gewasproductie. SWAP is al eerder toegepast in een studie waar de effecten van conventionele, samengestelde- en peilgestuurde drainage op de nutriëntenbelasting en hydrologie zijn onderzocht (van Bakel et al., 2008), en heeft daarin zijn functionaliteit bewezen. Een gedetailleerde beschrijving van het SWAP model kan gevonden worden in Kroes et al. (2008).

SWAP wordt in dit haalbaarheidsonderzoek gebruikt om de volgende redenen:

- SWAP is wereldwijd bekend en er is veel wetenschappelijk onderzoek mee gedaan;

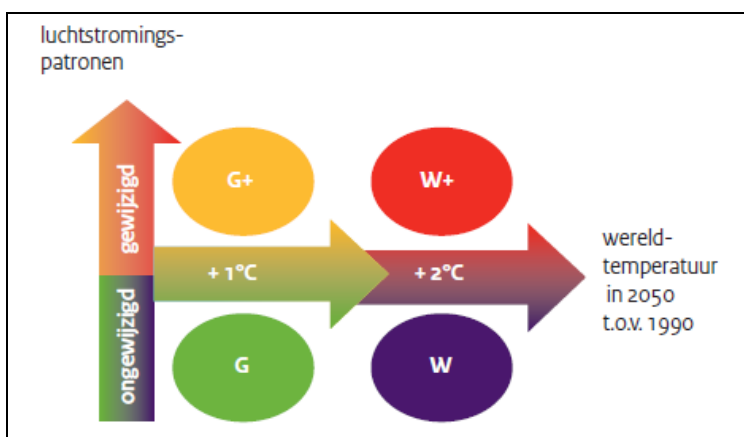


- Het bodemprofiel kan zeer gedetailleerd opgezet worden, waardoor een nauwkeurige benadering van de werkelijkheid gesimuleerd kan worden;
- Effecten van maatregelen (zoals bijvoorbeeld peilgestuurd draineren) kunnen snel en effectief doorgerekend worden;
- Er zijn veel mogelijkheden m.b.t. het opleggen van de randvoorwaarden waarmee gerekend wordt. Het is bijvoorbeeld mogelijk om rekening te houden met kwel en sturing van het regionale oppervlaktewater systeem (winter- en zomerpeil);
- Er kan gerekend worden met verschillende gewastypen, en ook het groeiseizoen kan makkelijk aangepast worden;
- Het is mogelijk om de gewasverdamping en gewasopbrengst met elkaar te koppelen. Dit geeft inzicht in de verschillen in gewasopbrengst wanneer al dan niet gebruik gemaakt wordt van klimaatadaptieve drainage.

2.2.1 Meteorologische invoer SWAP model

2.2.1.1 Huidig klimaat en klimaatscenario's

SWAP heeft meteorologische input nodig om te kunnen rekenen. In dit haalbaarheidsonderzoek is gebruik gemaakt van de bekende KNMI '06 klimaatscenario's (van den Hurk et al., 2006). Belangrijke recente wetenschappelijke ontwikkelingen, zoals de waargenomen snelle opwarming in Nederland en West-Europa, de waargenomen snelle afkalving van grote ijsskappen op West-Antartica en Groenland, en nieuw onderzoek naar neerslagpatronen op lokale en regionale schaal, hebben ertoe geleid dat bepaalde klimaatscenario's in Nederland meer waarschijnlijk zijn (Klein Tank et al., 2009). Met de snelle opwarming in Nederland en West-Europa wordt het beste rekening gehouden in de W en W+ scenario's. Daarom is in dit haalbaarheidsonderzoek gebruik gemaakt van de W en W+ scenario's van het KNMI. Deze klimaatscenario's zijn consistente en plausibele beelden van het toekomstige klimaat, en zijn bedoeld als hulpmiddel bij klimaateffectenstudies en adaptiemaatregelen (Klein Tank et al., 2009). De KNMI '06 W en W+ scenario's geven een beeld van de klimaatverandering in Nederland rond 2050 en 2100 t.o.v. het huidige klimaat (1976-2005). Figuur 1 geeft de verschillen tussen de vier KNMI '06 scenario's weer.



Figuur 1: Overzicht van de vier KNMI '06 scenario's (bron: Klein Tank et al., 2009)

Hieronder zijn de belangrijkste kenmerken van de twee in deze studie gebruikte scenario's weergegeven.

W scenario:

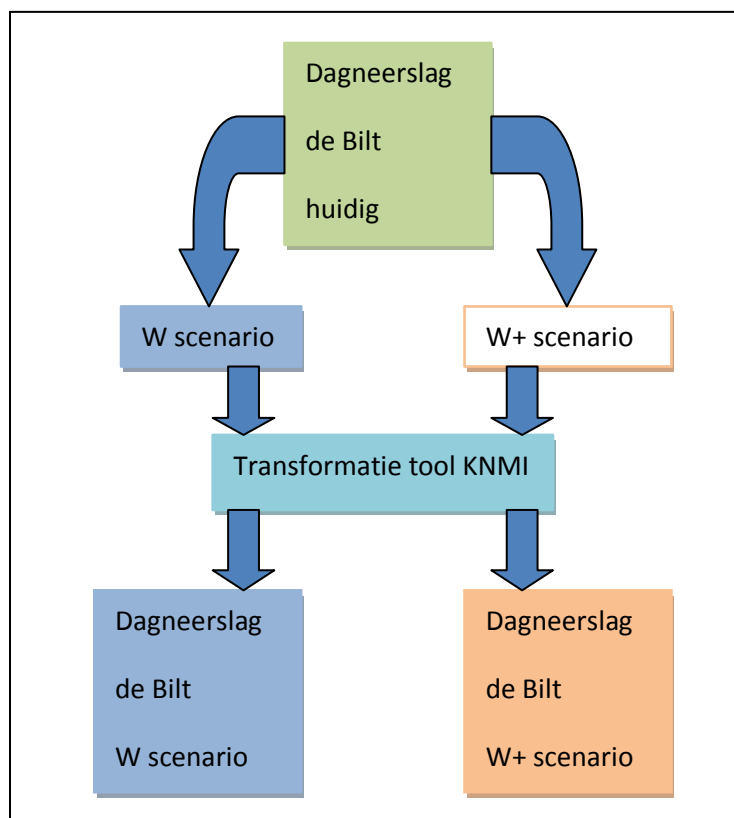


Het W scenario kenmerkt zich door de sterke toename van de wereldgemiddelde temperatuur. Deze toename is bijvoorbeeld in het G/G+ scenario gematigd.

W+ scenario:

Dit scenario is qua toename in wereldgemiddelde temperatuur vergelijkbaar met het W scenario. Bij het W+ scenario zorgt een verandering in de luchtstroom boven de Atlantische Oceaan en West-Europa voor extra warme en natte winters, terwijl de zomers extra warm en droog zijn.

Voor het haalbaarheidsonderzoek van klimaatadaptieve drainage is een vergelijking tussen het huidige klimaat en het toekomstige klimaat (W/W+ scenario's) noodzakelijk. Voor het huidige klimaat zijn meteorologische gegevens van klimaatstation De Bilt gebruikt. Deze gegevens zijn te downloaden via: <http://www.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/download.html>. Voor het huidige klimaat zijn dagwaarden voor de periode 1976-2005 gebruikt. Voor SWAP zijn met name de dagneerslag en ETref (referentie gewasverdamping) van belang. In het vervolg van dit rapport wordt de periode 1976-2005 aangeduid met huidig klimaat. Het KNMI beschikt over een tool om een bestaande tijdreeks (van neerslag of temperatuur) te transformeren naar een tijdreeks in de toekomst (http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/index.cgi). De getransformeerde tijdreeks bevat dan de eigenschappen van het W of W+ scenario. In dit haalbaarheidsonderzoek zijn de dagneerslagen van de Bilt van de periode 1976-2005 (huidig klimaat) getransformeerd naar de periode 2036-2065 (toekomstig klimaat rond 2050). Dit is gedaan voor zowel het W als het W+ scenario. Deze procedure is schematisch weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2: Transformatie van huidig klimaat naar toekomstig klimaat op basis van het W en W+ scenario.

Naast neerslag heeft het SWAP model de referentie gewasverdamping (ETref) nodig. In hoofdstuk 5 van het KNMI rapport over de KNMI '06 klimaatscenario's staat beschreven hoe de referentie gewasverdamping in 2050 verandert t.o.v. het huidige klimaat. De gemiddelde procentuele verandering in ETref per maand voor 2050 t.o.v. het huidige klimaat staan weergegeven in Tabel 1. In dit haalbaarheidsonderzoek zijn deze waarden gebruikt om de ETref voor het toekomstige klimaat van zowel het W als het W+ scenario te bepalen. Een analyse van de klimatologische gegevens is beschreven in paragraaf 2.2.3.1.

Tabel 1: Gemiddelde procentuele toename in ETref per maand voor het huidig klimaat rond 2050 t.o.v. het klimaat rond 1990 voor het W en W+ scenario (bron: van den Hurk et al., 2006).

	W	W+
januari	2,8	2,6
februari	3,1	3,0
maart	3,7	4,5
april	4,9	7,1
mei	6,0	10,1
juni	6,7	13,0
juli	7,0	15,7
augustus	6,7	16,9
september	6,0	15,2
oktober	4,7	10,1
november	3,6	5,8
december	3,1	3,4

2.2.1.2 Onzekerheden

Zoals de weersvoorspelling voor morgen onzeker is, zijn de verwachtingen van het toekomstige klimaat ook onzeker. De klimaatscenario's van het KNMI bevatten een onzekerheid wat te wijten valt aan de volgende punten (Klein Tank et al., 2009):

- Onzekerheid over sociaal-economische ontwikkelingen, en de daaraan gekoppelde onzekerheid over emissies van broeikasgassen en stofdeeltjes, en over het landgebruik;
- Onzekerheid door externe factoren zoals zonneactiviteit en vulkaanuitbarstingen;
- Modelonzekerheid door beperkte kennis van het klimaatsysteem en beperkte computerrekeningtijd;
- Onzekerheid door mogelijk chaotisch (sterk niet-lineair) gedrag van het klimaatsysteem (interne variabiliteit).

Vanwege deze onzekerheden spreken we dus van scenario's en niet van verwachtingen. De KNMI scenario's zijn ontwikkeld als een generieke set voor een brede groep gebruikers. Ze omvatten samen een brede band van mogelijke veranderingen. Op grond van de huidige kennis beschrijven ze de bandbreedte van de meest waarschijnlijke uitkomsten. Meer precieze kansuitspraken over het toekomstige klimaat in Nederland zijn nog niet mogelijk.

SWAP wordt in dit haalbaarheidsonderzoek dus met drie klimatologische datasets aangedreven:

1. Huidig klimaat (De Bilt, 1976-2005);
2. Toekomstig klimaat W scenario (De Bilt, 2036-2065);
3. Toekomstig klimaat W+ scenario (De Bilt, 2036-2065);

Zoals eerder beschreven omvatten de klimaatscenario's een brede band van mogelijke veranderingen. Hierdoor omvatten de hydrologische uitkomsten van SWAP als het ware ook



de bandbreedte van meest waarschijnlijke uitkomsten. Door bovengenoemde drie klimatologische datasets te gebruiken, kan geanalyseerd worden of m.b.v. Klimaatadaptieve drainage de piekafvoeren en watertekorten in de toekomst gereduceerd kunnen worden.

2.2.2 *Uitgangssituaties SWAP model*

2.2.2.1 Bodemtype

In dit haalbaarheidsonderzoek is SWAP dusdanig opgezet, zodat het mogelijk is om te toetsen of klimaatadaptief draineren in de toekomst piekafvoeren en watertekorten kan reduceren. Voor het bodemtype in SWAP is gebruik gemaakt van de Staringreeks (Wösten et al., 2001). In deze studie is gekozen voor een B8O9 grond:

- B8: matig lichte zavel in de bovengrond;
- O9: matig lichte zavel in de ondergrond;

Dit bodemtype komt algemeen vrij veel voor in Nederland en is daarmee representatief voor deze studie. Er is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met een leemarme zandgrond (B1O1), maar door de hoge doorlatendheid van dit bodemtype blijft de grondwaterstand vrij diep en heeft klimaatadaptief draineren nauwelijks effect. Door de hoge doorlatendheid infiltreert de neerslag snel in de bodem en komen piekafvoeren nauwelijks voor. De bodemparameters van de B8O9 grond, zoals gebruikt in SWAP, zijn weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2: Bodemparameters zoals gebruikt in SWAP

	<i>ORES</i>	<i>OSAT</i>	<i>ALFA</i>	<i>NPAR</i>	<i>KSAT</i>	<i>LEXP</i>	<i>ALFAW</i>
B8	0.01	0.43	0.0099	1.288	2.36	-2.244	0.0099
O9	0.00	0.46	0.0094	1.400	2.23	-1.382	0.0094

ORES = Residual Water Content [cm³/cm³];

OSAT = Saturated Water Content [cm³/cm³];

ALFA = Shape parameter alfa of main drying curve [/cm];

NPAR = Shape parameter n [-];

KSAT = Saturated vertical hydraulic conductivity [cm/d];

LEXP = Exponent in hydraulic conductivity function [-];

ALFAW = Alfa parameter of main wetting curve in case of hysteresis [/cm];

2.2.2.2 Randvoorwaarden en parameters

Zoals eerder vermeld worden de meteorologische gegevens van station De Bilt gebruikt. SWAP is in staat om de referentie gewasverdamping (ET_{ref}) zelf uit te rekenen, maar in deze studie wordt de ET_{ref} van station De Bilt gebruikt. Deze is door het KNMI bepaald m.b.v. de vergelijking van Makkink.

Als landgebruik is gras gekozen met een constante gewashoogte. Het gras zal gedurende het hele jaar aanwezig zijn, dus van 1 januari t/m 31 december. In dit haalbaarheidsonderzoek wordt geen gebruik gemaakt van irrigatie. Door de afwezigheid van irrigatie kan het effect van klimaat adaptief draineren beter geanalyseerd worden.

De bodemopbouw is weergegeven in Tabel 3.



Tabel 3: Gedefinieerde bodemlagen in SWAP

Bodemlaag	ISUBLAY	HSUBLAY	HCOMP	NCOMP
B8	1	10.0	1.0	10
B8	2	10.0	2.0	5
O9	3	30.0	5.0	6
O9	4	140.0	10.0	14
O9	5	300.0	50.0	6
O9	6	500.0	100.0	5

ISUBLAY = number of soil layer, start with 1 at soil surface;

HSUBLAY = height of sub layer [cm];

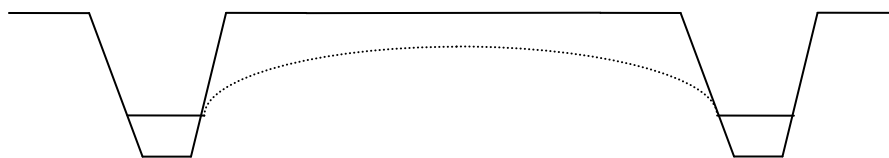
HCOMP = height of compartments in this layer [cm];

NCOMP = number of compartments in this layer;

De initiële grondwaterstand is gesteld op -120 cm. Als onderrandvoorwaarde is een flux gekozen met een sinusfunctie. Deze flux heeft een gemiddelde van -0,10 cm/d met een amplitude van 0,05 cm. Hierdoor varieert deze flux gedurende het jaar tussen de -0,05 en -0,15 cm/d. De maximale waarde van de sinusfunctie vindt plaats op 1 januari. Tot slot is er voor de 'ponding layer' een hoogte gekozen van 0,5 cm/d. Dit is de minimale waterhoogte op maaiveld voordat runoff optreedt. Dit is volgens Kroes et al., (2008) een goede aanname voor agrarisch landgebruik in Nederland.

2.2.2.3 Drainage en klimaat adaptief draineren

Er is in deze studie een vergelijking gemaakt tussen de niet gestuurde vorm van drainage, en de klimaatadaptieve vorm van drainage. De eerste vorm van drainage is al veelvuldig toegepast in de agrarische sector in Nederland. In de tweede vorm wordt getracht de piekafvoeren en watertekorten te verminderen. Voor beide vormen van drainage wordt in deze studie tevens gebruik gemaakt van de zogeheten perceelssloten. Deze hebben ook een drainerende werking op het perceel. Een illustratie van de perceelssloten is hieronder weergegeven. In SWAP is dit geïmplementeerd als drainage niveau 1.



De eigenschappen van drainage niveau 1 zijn:

- drainageweerstand: 500 d;
- infiltratieweerstand: 500 d;
- drainage en infiltratie zijn beide mogelijk;
- drainafstand: 500 m;
- bodem sloot: -140 cm;
- drainagemedium: open;

Voor de perceelssloten wordt een winter- en zomerpeil gehandhaafd. Deze zijn mede bepalend voor de ontwateringsbasis van drainage niveau 1. Het winter- en zomerpeil zijn in deze studie als volgt geïmplementeerd:

- winterpeil: -120 cm (1 oktober t/m 30 april);
- zomerpeil: -100 cm (1 mei t/m 30 september);



De niet gestuurde en de klimaatadaptieve (gestuurde vorm) drainage zijn in SWAP geïmplementeerd als drainage niveau 2. In de niet gestuurde vorm van drainage liggen de drains op een vast peil en is de draandiepte niet stuurbaar. In de gestuurde vorm liggen de drains ook op een vast peil, maar wordt met behulp van een beweegbaar pijpje de ontwateringsbasis geregeld. Om een correcte vergelijking te maken zijn beide vormen van drainage als sloten in SWAP geïmplementeerd. Bij het gebruik van sloten kan namelijk het waterpeil (ontwateringsbasis) gedurende de tijd gewijzigd worden. Dit is niet mogelijk als de drains als drains (vaste diepte) geïmplementeerd worden. De eigenschappen van de twee vormen van drainage zijn:

Niet gestuurd:

- drainageweerstand: 60 d;
- infiltratieweerstand: 60 d;
- drainage is mogelijk. Infiltratie is niet mogelijk;
- drainafstand: 6 m;
- draandiepte: -100 cm;
- waterpeil (ontwateringsbasis): -100 cm;
- drainagemedium: open;

Klimaat adaptief:

- drainageweerstand: 60 d;
- infiltratieweerstand: 60 d;
- drainage is mogelijk. Infiltratie is niet mogelijk;
- drainafstand: 6 m;
- draandiepte: -100 cm;
- waterpeil (ontwateringsbasis): variabel (zie hieronder voor details);
- drainagemedium: open;

In de klimaatadaptieve vorm van drainage wordt het waterpeil zoveel mogelijk op -100 cm gehouden. Dit is hetzelfde niveau als in de niet klimaatadaptieve vorm van drainage. In de klimaatadaptieve vorm wordt echter gestuurd op de te verwachten grondwaterstand. Er is voor gekozen om 5 dagen voordat de grondwaterstand hoger komt dan -60 cm, de ontwateringsdiepte naar -140 cm te zetten. Dit zal tijdelijk de drainage afvoer verhogen, maar creëert tegelijk meer bergingsmogelijkheden voor de te verwachten neerslagbui. Op de dag waar normaliter de grondwaterstand hoger dan -60 cm zal zijn, wordt de ontwateringsdiepte weer op -100 cm gezet. Er is op dit moment meer berging mogelijk in de bodem, waardoor de piekafvoer gereduceerd zal worden. In alle vormen van drainage is overigens externe aanvoer van water niet mogelijk.

In fase 2 zal de sturing in meer detail uitgewerkt worden. De te verwachten effecten zullen dan nog positiever zijn. De ontwateringsdiepte zou bijvoorbeeld op -80 cm gezet kunnen worden, waardoor piekafvoeren waarschijnlijk nog meer gereduceerd zullen worden en meer water vastgehouden wordt. Dit is in het haalbaarheidsonderzoek nog niet relevant. Hierin willen we aantonen dat met een simpele sturing al voordelen te behalen zijn. In fase 2 kan voor een geavanceerdere vorm van sturing gedacht worden aan:

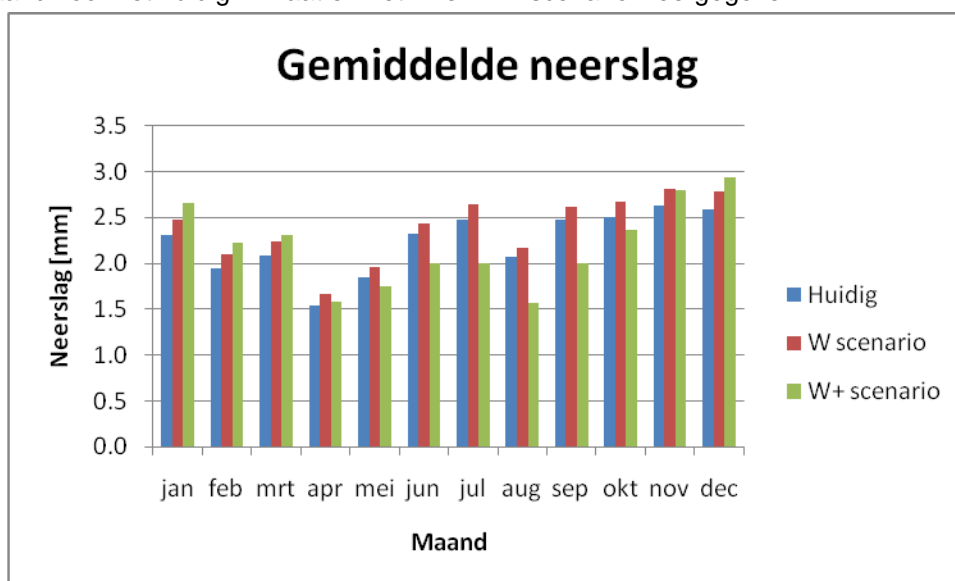
- sturing afhankelijk van de tijd in het jaar plus evt;
- gesimuleerde grondwaterstand plus evt;
- drukhoogte in midden van wortelzone plus evt;
- weersvoorspelling;



2.2.3 Analyse resultaten

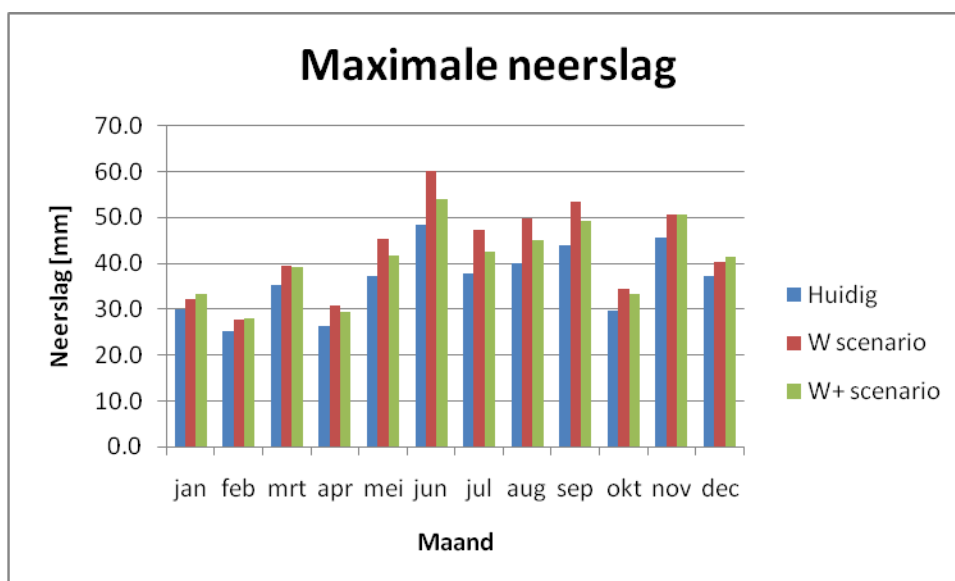
2.2.3.1 Kimaat

Voor de interpretatie van de SWAP simulaties is gekeken naar de verandering in neerslag en ETref van het huidige klimaat en de twee scenario's. In Figuur 3 is de gemiddelde dagneerslag per maand voor het huidige klimaat en het W en W+ scenario weergegeven.



Figuur 3: Gemiddelde dagneerslag per maand voor het huidige klimaat en het W en W+ scenario (bron: climate explorer KNMI).

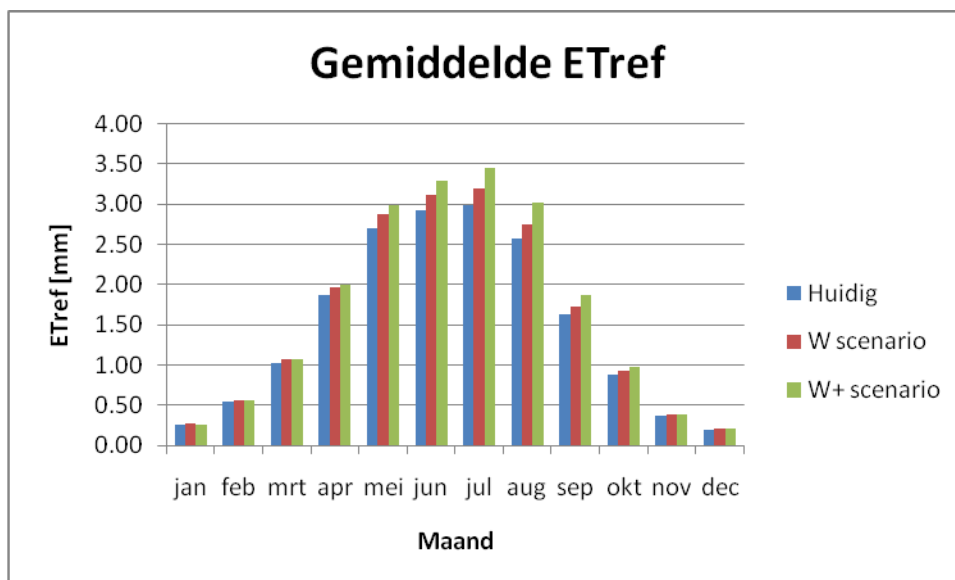
De maximale dagneerslag per maand is weergegeven in Figuur 4. Er zijn duidelijke veranderingen t.o.v. het huidige klimaat te zien. De wintermaanden worden voor het W en W+ scenario beduidend natter, waarbij het W+ scenario het natste is. Hoewel de maximale neerslag gedurende de zomermaanden voor beide scenario's hoger is als voor het huidige klimaat, is gemiddeld gezien alleen het W scenario natter dan het huidige klimaat. W+ kenmerkt zich door een drogere zomer, maar met meer extreme neerslagbuien.



Figuur 4: Maximale dagneerslag per maand voor het huidige klimaat en het W en W+ scenario (bron: climate explorer KNMI).



De gemiddelde ETref per maand is voor het huidige en het W en W+ scenario weergegeven in Figuur 5. Grote verschillen treden voornamelijk op gedurende de zomermaanden. Beide scenario's laten een toename in de gemiddelde ETref zien gedurende de zomer, waarbij de grootste toename bij het W+ scenario wordt geconstateerd. Een toename in ETref betekent meer potentiële verdamping, wat kan leiden tot meer vochttekort gedurende de zomermaanden.



Figuur 5: Gemiddelde ETref per maand voor het huidige klimaat en het W en W+ scenario (bron: climate explorer KNMI).

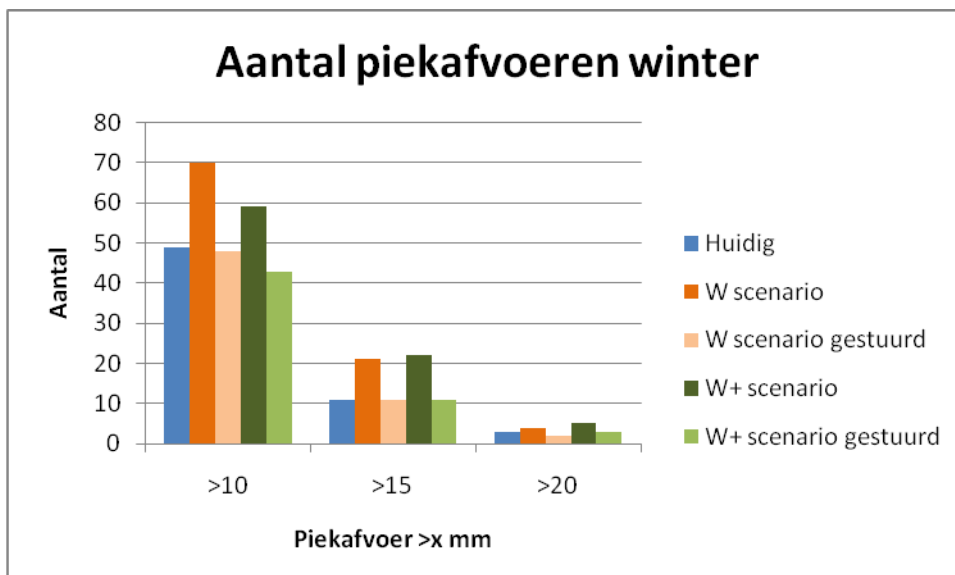
2.2.3.2 SWAP simulaties

Zoals beschreven in het projectplan is de doelstelling van dit project:

“Het reduceren van piekafvoer en het voorkomen van watertekorten door klimaatadaptieve drainage als commerciële dienst te ontwikkelen en op die manier het adaptieve vermogen van het regionaal water systeem te vergroten.”

Door het ontwateringsniveau bij klimaatadaptieve drainage te variëren zodat tijdelijk meer berging in de bodem mogelijk is, wordt er meer water vastgehouden in de bodem en wordt de piekafvoer gereduceerd. Dit zal tevens de behoefte van wateraanvoer verminderen. Bij de analyse van de resultaten is daarom voornamelijk gekeken naar de reductie in piekafvoeren. De totale afvoer wordt gezien als de som van drainage en runoff. We spreken van een piekafvoer wanneer deze afvoer groter is als 10 mm. In Figuur 6 zijn het aantal piekafvoeren groter dan een X aantal mm weergegeven gedurende de wintermaanden. Dit is gedaan voor het huidige klimaat, het W scenario zonder en met sturing, en het W+ scenario zonder en met sturing. De aantallen zijn bepaald over een periode van 30 jaar. Het aantal piekafvoeren neemt flink toe in beide klimaatscenario's, waarbij de grootste toename geconstateerd wordt bij het W scenario. Piekafvoeren >25 mm komen niet voor in de huidige situatie en in de klimaatscenario's. De procentuele reducties van piekafvoeren gedurende de wintermaanden zijn weergegeven in Tabel 4.





Figuur 6: Aantal piekafvoeren gedurende de wintermaanden voor het huidige klimaat en het W en W+ scenario, met en zonder klimaatadaptieve drainage.

Tabel 4: Procentuele reductie in voorkomen van piekafvoer in de winter door klimaatadaptieve drainage.

<i>Piekafvoer > x mm</i>	<i>Reductie door sturing in W scenario [%]</i>	<i>Reductie door sturing in W+ scenario [%]</i>
10	31	27
15	48	50
20	50	40

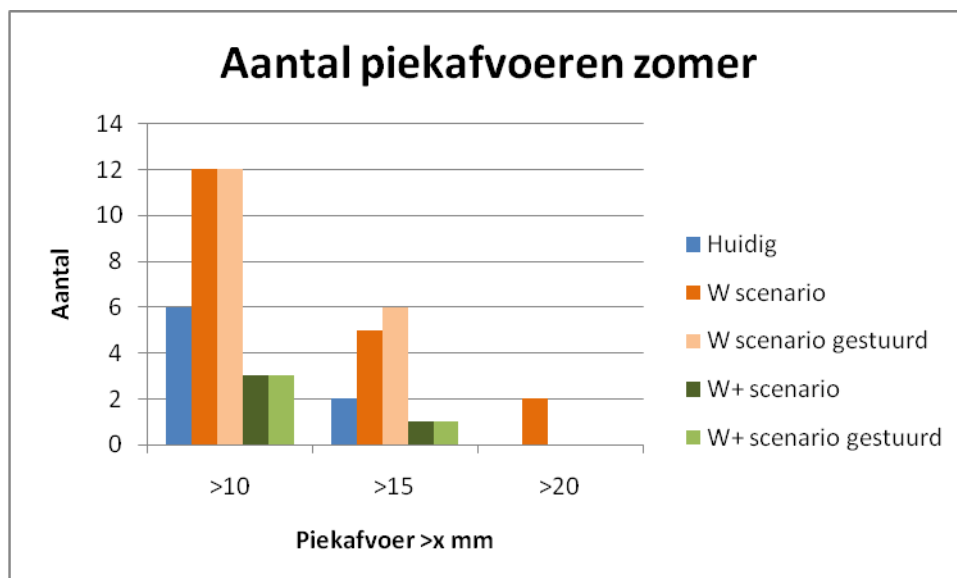
Tabel 5: Procentuele reductie in voorkomen van piekafvoer in de zomer door klimaatadaptieve drainage.

<i>Piekafvoer > x mm</i>	<i>Reductie door sturing in W scenario [%]</i>	<i>Reductie door sturing in W+ scenario [%]</i>
10	0	0
15	-20	0
20	100	nvt

Het aantal piekafvoeren groter dan X mm gedurende de zomermaanden is weergegeven in Figuur 7. Gedurende de zomermaanden blijkt alleen het W scenario voor een toename in piekafvoeren te zorgen. Dit is logisch omdat het W scenario ook meer neerslag genereert gedurende de zomer (zie paragraaf 2.5.1). Het W+ scenario kent geen piekafvoeren >20 mm gedurende de zomer. Tijdens de zomermaanden komen piekafvoeren minder voor dan in de wintermaanden. Dit is duidelijk als we Figuur 7 vergelijken met Figuur 6. Het effect van klimaat adaptief draineren zien we in ons rekenvoorbeeld alleen terug voor piekafvoeren >20 mm voor het W scenario. Deze worden gereduceerd tot een voorkomen van nul. Het is logisch dat door deze reductie piekafvoeren >15 mm vaker voorkomen in de gestuurde situatie. De gereduceerde afvoer van pieken >20 mm wordt hierdoor namelijk extra afgevoerd bij



piekafvoeren >15 mm. De procentuele reductie voor de zomermaanden is weergegeven in Tabel 5.



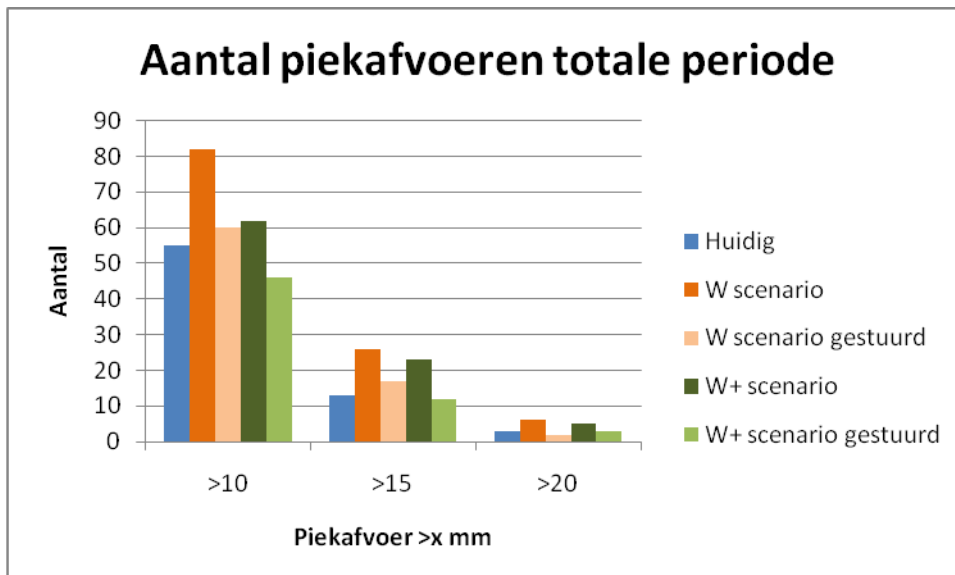
Figuur 7: Aantal piekafvoeren gedurende de zomermaanden voor het huidige klimaat en het W en W+ scenario, met en zonder klimaatadaptieve drainage.

Het totaal aantal piekafvoeren wat gereduceerd wordt m.b.v. Klimaatadaptieve drainage gedurende de gehele periode is weergegeven in Figuur 8. Wederom zien we een toename in aantal piekafvoeren voor beide scenario's. Met klimaat adaptief draineren valt een reductie in piekafvoeren te behalen. Voor het W+ scenario kan met klimaatadaptief draineren het aantal piekafvoeren zelfs minder worden dan in de huidige situatie het geval is. De procentuele reductie voor de gehele periode is weergegeven in Tabel 6.

Waterschappen zijn vooral geïnteresseerd in hoeveel berging (in m³) er nu met klimaat adaptief draineren bespaard kan worden. Het aanleggen en onderhouden van extra berging kost namelijk veel geld. De aanleg van 1 m³ berging kost ca. 5 euro Dit bedrag is afgeleid als gemiddelde van de cijfers die de waterschappen hebben verstrekt voor evaluatie van de NBW-normen.¹ Daarover komen nog jaarlijkse kosten van 10%, dus 0,50 euro per m³ per jaar. Om een inzicht te krijgen in de kosten die m.b.v. klimaat adaptief draineren bespaard kunnen worden, is een analyse gemaakt van de afvoeren gedurende 1998. Dit jaar staat bekend als een hydrologisch nat jaar. Figuur 9 geeft de afvoeren gedurende de natste periode van dit jaar weer. Hierin zijn de huidige situatie, en het W en W+ scenario weergegeven. Voor de scenario's is zowel de ongestuurde als de gestuurde vorm van drainage weergegeven. Uit Figuur 9 blijkt dat de piekafvoeren (>10 mm) in de toekomst toe zullen nemen. Met klimaat adaptief draineren blijkt voor bijvoorbeeld het W scenario op 25 oktober een reductie van ca. 7 mm mogelijk. Stel dat we het beheersgebied van Waterschap Peel en Maasvallei met een oppervlakte van 130.000 ha. als voorbeeld nemen. We nemen aan dat 40% van dit gebied landbouw gronden zijn die drainabel zijn. Hiebij zijn dan de zandgronden uitgesloten. Dan praten we over een oppervlak van 52.000 ha. Een reductie van 7 mm betekent hiervoor een volume van 3,12 miljoen m³ wat minder geborgen hoeft te worden. Hiermee wordt 15,6 miljoen euro (3,12 miljoen x 5 euro) bespaard aan berging wat niet aangelegd hoeft te worden. Tevens wordt hiermee per jaar 1,56 miljoen euro (3,12 miljoen x 0,50 euro) aan onderhoud/beheer bespaard.

¹ Unie van Waterschappen,

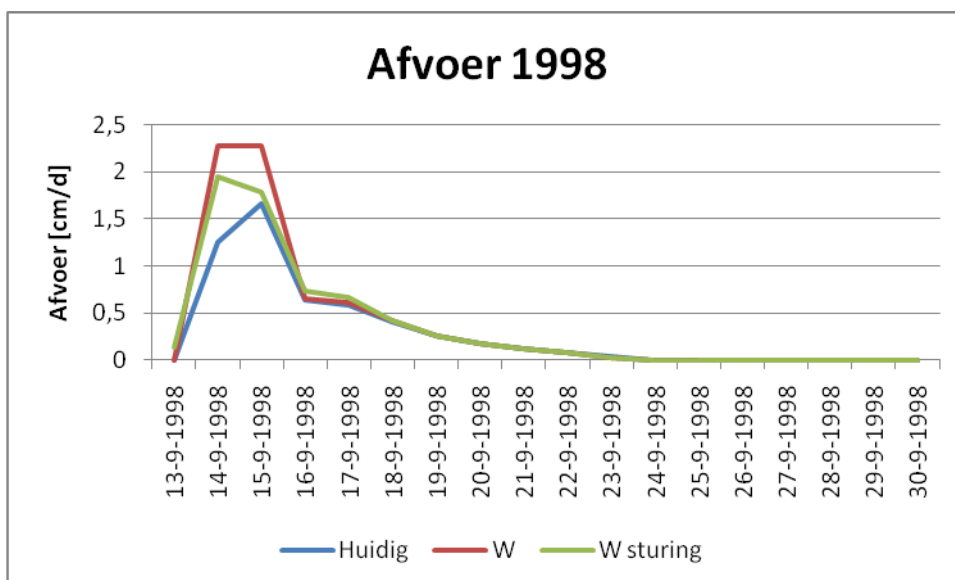




Figuur 8: Aantal piekafvoeren gedurende de gehele periode voor het huidige klimaat en het W en W+ scenario, met en zonder klimaatadaptieve drainage.

Tabel 6: Procentuele reductie in voorkomen van piekafvoer gedurende de gehele periode door klimaatadaptieve drainage

<i>Piekafvoer > x mm</i>	<i>Reductie door sturing in W scenario [%]</i>	<i>Reductie door sturing in W+ scenario [%]</i>
10	27	26
15	35	48
20	67	40



Figuur 9: Hoge afvoeren, gesimuleerd met SWAP, gedurende het hydrologische natte jaar 1998.



Tabel 7: Maximale piekafvoerreductie voor de twee scenario's voor verschillende klasse van piekafvoeren.

Piekafvoer (mm d ⁻¹)	Piekafvoerreductie W scenario (mm d ⁻¹)	Piekafvoerreductie W+ scenario (mm d ⁻¹)
>10	9	10
>15	5	10
>20	5	5

2.2.4 Discussie

De sturing zoals hiervoor beschreven is erg primitief. In deze fase willen we alleen aannemelijk maken dat met een simpele sturing al voordelen te behalen zijn. In fase 2 zal de sturing in meer detail uitgewerkt worden. De te verwachten effecten zullen dan nog positiever zijn. De ontwateringsbasis zou bijvoorbeeld op -80 cm gezet kunnen worden waardoor meer water vastgehouden wordt terwijl de toename van wateroverlast wordt voorkomen door verlaging van de ontwateringsbasis als de grondwaterstanden in het teeltseizoen te hoog (dreigen te) worden. Het meeste effect op reductie van piekafvoeren wordt verwacht van het op het juiste moment verhogen van de ontwateringsbasis. Dit is in het haalbaarheidsonderzoek niet onderzocht omdat dit ingrijpende modeltechnische aanpassingen vereiste. In fase 2 kan voor een geavanceerdere vorm van sturing gedacht worden aan:

- sturing afhankelijk van de tijd in het jaar plus evt;
- gesimuleerde c.q. gemeten grondwaterstand plus evt;
- gesimuleerde c.q. gemeten drukhoogte in de wortelzone plus evt;
- gesimuleerde c.q. gemeten afvoeren plus evt;
- gebruik maken van vooruit berekende hydrologische omstandigheden mbv ensemble van weersverwachtingen.

2.3 SIMGRO ruimtelijke patronen¹

2.3.1 Algemeen

Voor een specifiek gebied in Utrecht is ruimtelijk gekeken of klimaatadaptieve drainage ingezet kan worden en wat de mogelijke effecten zijn. Dit pilotgebied is gekozen aangezien de verwachting is dat klimaatadaptieve drainage hier mogelijk goed zou werken en dat de waterbeheerder zeker wil meewerken aan een mogelijke vervolgfase van dit project.

In bepaalde delen van het beheersgebied van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) zijn de functies landbouw en natuur sterk verweven. HDSR heeft in dit gebied te maken met agrariërs die bezwaren maken tegen de voorgenomen vernatting van enkele TOP-gebieden. Onderstaande figuur geeft een goede indruk van de verwevenheid.

De vraag is of klimaatadaptieve drainage, waarbij het de drainagebasis wordt gestuurd op bijv. gemeten grondwaterstanden, mogelijkheden biedt om de effecten van de vernatting van de natuurgebieden op de omliggende landbouwgronden te mitigeren zonder dat dit leidt tot verdroging van die natuurgebieden.

¹ Met dank aan Pim Dik voor zijn bijdrage



2.3.2 Hydrologische opgave

De klassieke ontwateringseisen in landbouwgebieden leiden tot verdroging in aanliggende landbouwgebieden en opheffen van de verdroging van natuurgebieden leidt tot ongewenste vernatting in aanliggende landbouwgebieden. De innovatieve hydrologische opgave is de ontwatering van landbouwgebieden zó te (her)inrichten dat de grondwaterstand structureel wel hoger wordt zonder dat de hoogste grondwaterstanden (die de natschade veroorzaken) hoger worden door middel van klimaatadaptieve drainage.

2.3.3 Waarom klimaatadaptieve drainage?

klimaatadaptieve drainage, waarbij de ontwateringsbasis (het uitstroomniveau van de put waarin de verzamelrain in uitkomt) kan worden gevarieerd, heeft om de volgende redenen veel potenties:

- door intensivering van de drainage kan de ontwateringsbasis structureel hoger worden gesteld zonder dat de hoogste grondwaterstanden hoger worden;
- door sturing van de ontwateringsbasis (op de actuele hydrologische situatie maar ook op de te verwachte situatie) kan de ontwateringsbasis onder normale omstandigheden nog hoger worden ingesteld. Alleen bij dreigende wateroverlast wordt de drainagebasis zoveel mogelijk verlaagd want 'weg is weg'. Door deze sturing kan de ontwatering op het scherpst van de snede worden uitgevoerd omdat er minder buffering in de bodem (lees hoger grondwaterstanden) hoeft te worden aangehouden;
- een bijkomend voordeel is dat er optimaal water kan worden geconserveerd waardoor de droogteschade vermindert;
- doordat per put een niveau kan worden ingesteld kan het systeem zich goed aanpassen aan verschillen in hoogteligging. Daardoor zijn de laagste plekken minder bepalend voor vaststelling van de ontwateringsbasis;
- klimaatadaptieve drainage biedt ongekende mogelijkheden water bij de bron vast te houden, simpel door de afvoer vanuit de put kortstondig te blokkeren.

Bovengeschetste aanpak vereist een geavanceerde sturing van de ontwateringsbasis omdat de verwachting is dat er frequent moet worden bijgestuurd, op basis van actuele hydrologische informatie en verwachtingen omtrent neerslag en verdamping. Handmatige instellen van de ontwateringsbasis is dan geen optie.

Doordat wordt gestuurd op de actuele hydrologische situatie en de weersverwachting is het systeem ook klimaatadaptief.

Implementatie drainagemaatregelen

Conventionele drainage

In de proefgebieden wordt drainage aangelegd op een diepte van 1,0 m -mv en op een zodanige onderlinge afstand dat dit resulteert in een drainageweerstand van 100 dagen. Doordat de drains vrij uitstromen in een sloot is de ontwateringsbasis van de drains 1,0 m -mv.

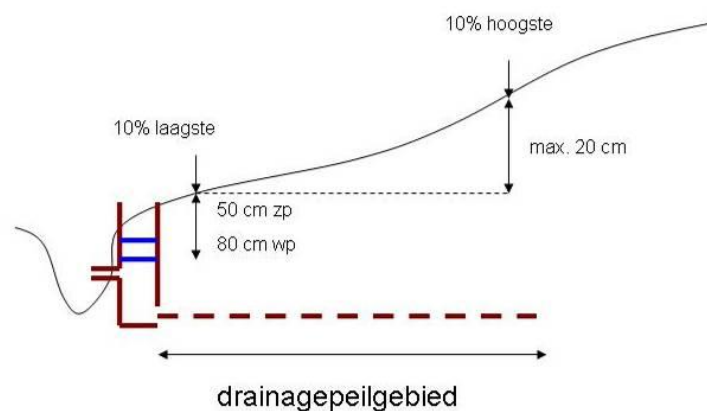
Klimaatadaptieve drainage (klimaatadaptieve drainage)



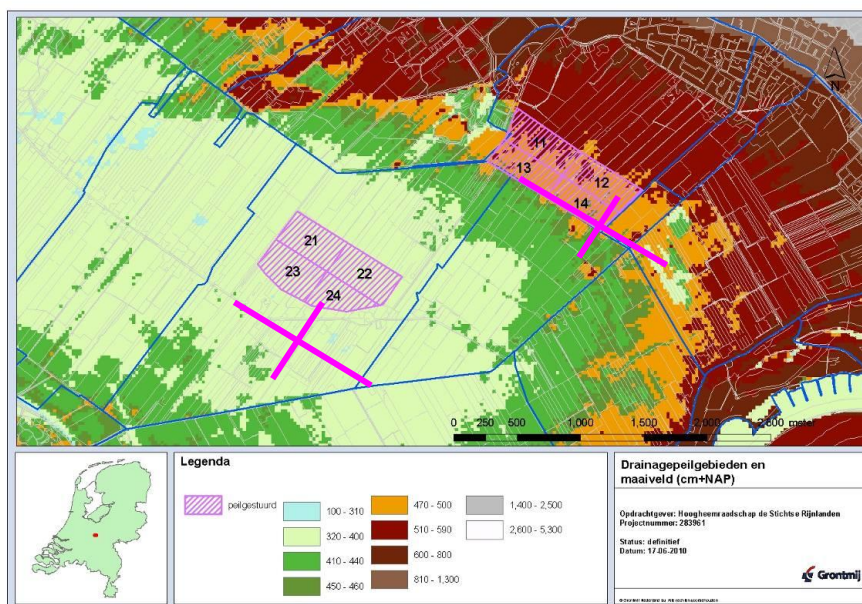
In de proefgebieden wordt drainage op een zodanige afstand aangelegd dat dit resulteert in een drainageweerstand van 50 dagen. De aanlegdiepte is 1,2 m -mv. In de winter wordt de hoogte van het afvoerniveau in de verzamelput (de ontwateringsbasis) ingesteld op 0,8 m -mv. In de zomer (1 maart tot 1 oktober) op 0,5 m -mv, tenzij de grondwaterstand ondieper is dan 0,60 m -mv; dan wordt het afvoerniveau op 0,80 m -mv ingesteld.

Bepaling drainagepeilgebieden

Drainagepeilgebieden (dpg's) moeten worden gedefinieerd. Binnen deze dpg's heerst één peil. De klimaatadaptieve drainage heeft als doel de grondwaterstand ten behoeve van de landbouw op een aanvaardbaar niveau te houden. Voor de ontwatering wordt daarom uitgegaan van het 10% laagste maaiveld. De gewenste grondwaterstand ten behoeve van de landbouw bedraagt 0,7 m -mv. Hierop wordt gestuurd. De variatie in maaiveldhoogte dient niet te groot te zijn om te voorkomen dat de hogere delen te sterk ontwaterd worden. De dpg's worden daarom bij voorkeur zo groot gekozen dat het verschil in maaiveldhoogte met een 10%- en 90%-onderschrijding niet groter is dan 0,20 m. In Figuur 1 is dit schematisch weergegeven.



Figuur 1. Schematische weergave randvoorwaarden drainagepeilgebieden



Figuur 2. Opdeling in drainage peil gebieden (DPG).



Op basis van deze ontwerprandvoorwaarden is het noodzakelijk het deelgebied NO op te delen, aangezien hier het verschil tussen de 10%-laagste en 10%-hoogste maaiveldhoogte 0,43 m bedraagt. Deze worden daarom opgedeeld in 4 deelgebieden. De noodzaak is er voor deelgebied ZW minder. Gezien de grootte van het gebied en de eenvoud van implementeren wordt voorgesteld ook dit gebied in 4 delen op te splitsen.

De beide deelgebieden, NO en ZW, zullen afzonderlijk worden doorgerekend. In de onderstaande tabel zijn de kenmerken van de verschillende DPG's weergegeven.

Tabel 0.1 Percentages overschrijding maaiveldhoogten

percentage overschrijding (%)	dpg11	dpg12	dpg13	dpg14	dpg21	dpg22	dpg23	dpg24
area (ha)	14.6	13.4	11.7	10.9	13.2	14.3	13.9	9.5
(min) 0	4.44	4.56	4.49	4.49	3.20	3.25	3.18	3.31
10	4.86	4.69	4.61	4.58	3.34	3.37	3.28	3.39
90	5.12	5.04	4.95	4.80	3.53	3.57	3.49	3.60
(max) 100	5.28	5.23	5.10	4.95	3.76	3.74	3.63	3.74
delta 80%	0.26	0.35	0.34	0.22	0.19	0.20	0.21	0.21

Uit de tabel blijkt dat het verschil tussen de 10%-laagste en 10%-hoogste maaiveldhoogte niet in alle DPG's onder de gewenste 20 cm komt. Zeker DPG12 en 13 hebben nog een flinke spreiding in maaiveldhoogte. De DPG's zullen niet kleiner gemaakt worden omdat de grote spreiding een gevolg is van de relatief grote verschillen in maaiveldhoogten over korte afstand, waardoor ook kleinere DPG's een grote spreiding zullen blijven tonen.

2.3.4 Sturing Simgro

SIMGRO7 biedt de mogelijkheid de sturing van de drainage te baseren op berekende grondwaterstanden van een geselecteerde SVAT-eenheid. Het meetpunt voor de grondwaterstand wordt gekozen op de SVAT-eenheid met de 10%-laagste maaiveldhoogte. De draandiepte bevindt zich 1,2 m beneden de gemiddelde maaiveldhoogte. In de tabel is met rood aangegeven waar de drainbuis beneden het peil ligt: op deze plekken zal de werking van de drainage beperkt worden door het oppervlaktewaterpeil als niet onderbemalen wordt! Dit is met name in de deelgebieden ZW het geval, waar de drooglegging gemiddeld 60 à 70 cm bedraagt. Voor dit numerieke experiment is voor het onderbemalen van de drainage gekozen, zo wordt duidelijk wat in extremere situatie met vaak hoge grondwaterstanden de effecten zijn: sturing vindt plaats op basis van grondwaterstanden, zodat te sterke verlagingen van de grondwaterstand voorkomen worden, maar er is wel extra ontwateringscapaciteit wanneer dat noodzakelijk is.

Tabel 0.2 Percentages overschrijding maaiveldhoogten

percentage overschrijding (%)	dpg11	dpg12	dpg13	dpg14	dpg21	dpg22	dpg23
area (ha)	14.6	13.4	11.7	10.9	13.2	14.3	13.9
10% laagste maaiveld	4.86	4.69	4.61	4.58	3.34	3.37	3.28
gemiddelde mv-hoogte	5.00	4.87	4.74	4.66	3.41	3.48	3.38



diepte drainbuis (m+NAP)	3.80	3.67	3.54	3.46	2.21	2.28	2.18
peil (m+NAP)	3.55	3.55	3.55	3.55	2.80	2.80	2.80
	bovenpeil	bovenpeil	bovenpeil	bovenpeil	bovenpeil	bovenpeil	bovenpeil
drooglegging (m)	1.45	1.32	1.19	1.11	0.61	0.68	0.58
SVAT-eenheid*	227342	230107	229191	231005	234479	235345	236219
mv SVAT-eenheid (m+NAP)	4.96	4.78	4.73	4.65	3.39	3.43	3.31

* al deze SVAT-eenheden zijn in het model als grasland geparameteriseerd (geen aanpassingen).

Voor de implementatie in de SIMGRO7-files zijn de volgende aanpassingen noodzakelijk:

1. apart RES-element aanmaken per dpq's (inclusief Qh-relatie)
2. koppelen drainage in SVAT-eenheden aan RES-element
3. selectie locatie meetpunt grondwater per dpq
4. sturingsregels implementeren

ad 1) Aanmaken in goto_res.inp en mana_res.inp

Per dpq de S-curve bepalen, zomer- en winterpeil bepalen o.b.v. 10% laagste maaiveld en peilen zomer en winter (respectievelijk 80 en 50 cm mv).

Laagste stuwhoogte (lvwrlw) voldoende laag kiezen (50 cm onder weir level).

Qh-relatie bepalen: uitgaan van 10 mm/d afvoer bij 10 cm peilstijging en dat lineair doorzetten met een maximum van 20 mm/d.

ad 2) Alleen de drainage zal gekoppeld worden aan de RES-eenheden

ad 3) Het 10% laagste maaiveld bepalen met de bijbehorende SVAT-eenheid

ad 4) Sturing van de stuw op basis van de nagestreefde grondwaterstand, dus de kruinhoogte van de stuw in de verzamelput wordt zover verlaagd dat het streefpeil wordt gehaald. Tenzij de laagste stuwkruin (lvwrlw) is bereikt. Toevoegen aan mana_res.inp het meetpunt grondwater en de index voor de weir level control. Aanmaken van de sturingsregel voor de RES-eenheid. Voor de zomer is deze weergegeven in Tabel 0.3.

Tabel 0.3 Sturingsregel zomer

dpq/wl (m-mv)	lvta (m)	drainerende werking bij peil in drain van 0,4 m-mv (mm/d)	drainerende werking bij peil in drain van 0,5 m-mv (mm/d)	afvoer via put bij peil in drain van 0,4 m-mv (mm/d)	afvoer via put bij peil in drain van 0,5 m-mv (mm/d)
0,00	0,30	8	10	20	20
0,59	0,30	0	2	20	10
0,60	0,00	0	0	10	0
8,00	0,00	0	0	10	0

Tabel 0.4 Sturingsregel zomer bij onderbemaling (stuwhoogte standaard 0,5 m-mv)

dpq/wl (m-mv)	verlaging stuwhoogte (m)	drainerende werking bij peil in drain van 0,4 m-mv (mm/d)	afvoer via put bij peil in drain van 0,4 m-mv (mm/d)
0,00	0,30	16.0	20
0,59	0,30	4.2	20
0,60	0,00	0.0	10
8,00	0,00	0.0	10



Aanvullende aanpassingen

Bij klimaatadaptieve drainage kunnen de sloten in principe gedempt worden. Dit heeft twee belangrijke effecten:

- De ontwaterende werking van de sloten is niet meer aanwezig. Voor de bewust SVAT-eenheden kan de ontwaterende werking van de systemen 3 en 4 uitgeschakeld worden (drainageweerstand en infiltratieweerstand uit SVAT2SWNR_DRNG.INP op 10000 d zetten)
- Afvoer van water over het maaiveld richting het oppervlaktewater is dan niet meer mogelijk. Dit dient dan ook in het model voorkomen te worden. Dit kan door in de file per SVAT-eenheid de parameter voor berging op maaiveld te verhogen en de drainageweerstand voor de maaiveld drainage te verhogen (verhogen parameter vxmu uit de file svat2swnr_roff.inp voor de SVAT-eenheden: op 10 m zetten en drainageweerstand van de sloten op 1000 dagen zetten).

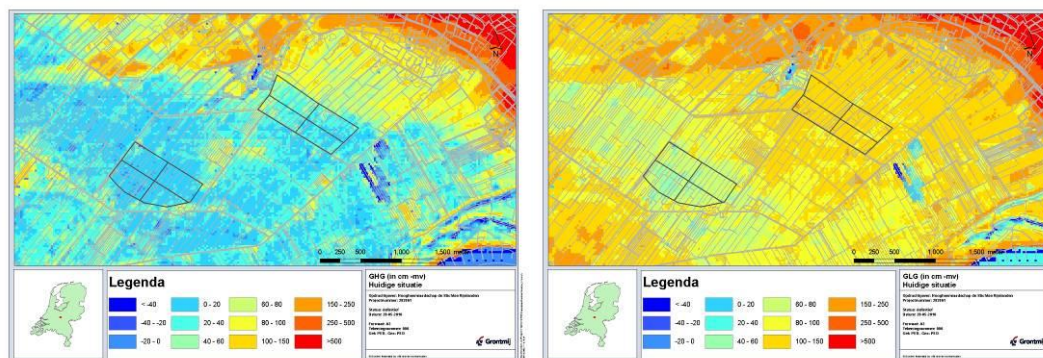
De dpg's hebben zelf weinig berging. Dit kan zeker in pieksituaties tot numerieke instabiliteiten leiden. Om deze instabiliteiten te voorkomen wordt rekening gehouden met een bergingscapaciteit van 1 mm (dus per ha 10 m³). Tevens zal de grootte van de rekentijdstep voor het oppervlaktewater verlaagd worden tot 0,01 d (dat is circa 1 kwartier). Voor de rekentijd heeft dat beperkte gevolgen: het aantal iteraties is minder per rekentijdstep, terwijl het aantal stappen toeneemt.

2.3.5 Validatie

Om zeker te weten dat de implementatie de gewenste situatie weergeeft, zal er een aantal checks worden uitgevoerd. Ten eerste het beantwoorden van de vraag of de drainage altijd of in ieder geval onder normale omstandigheden haar water kwijt kan. Ten tweede de vraag of de ontwaterende werking van het drainagesysteem voldoende capaciteit heeft en of de afwatering voldoende capaciteit van het dpg heeft.

2.3.6 Resultaten

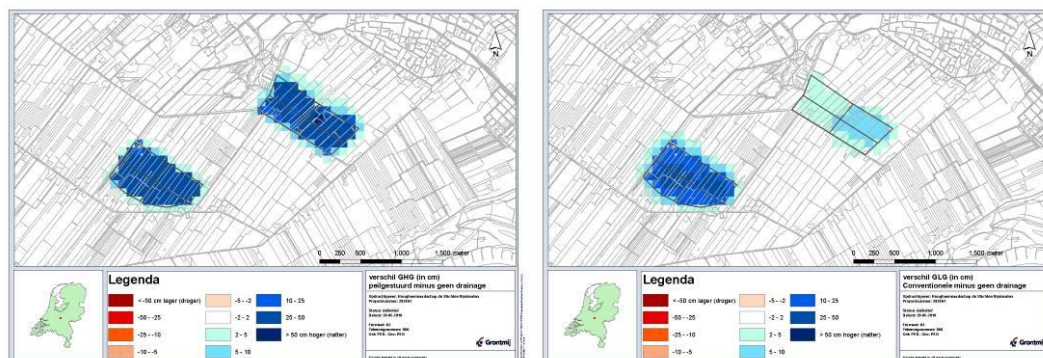
In het onderstaande zijn de figuren naast elkaar gezet om onderlinge vergelijking te vergemakkelijken.



Figuur 3. GHG (links) en GLG (rechts) voor de situatie zonder drainage

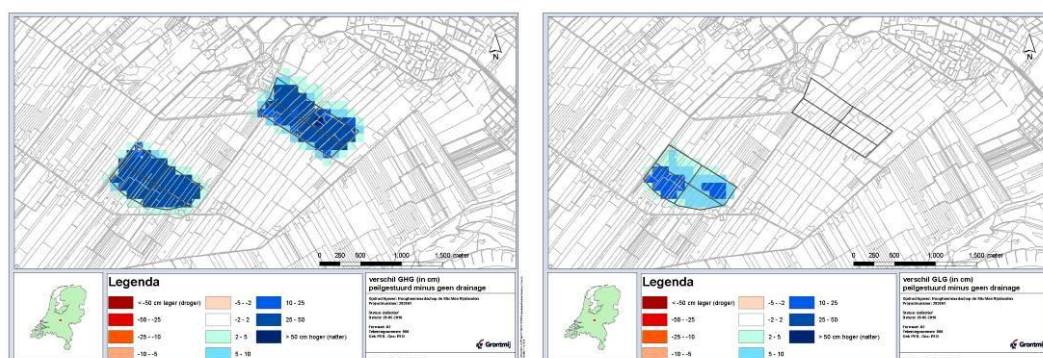


In Figuur 3 zijn de GHG en de GLG weergegeven. Duidelijk is dat de de zuidwestelijke locaties hogere grondwaterstanden hebben.



Figuur 4. Verschil GHG (links) en GLG (rechts) voor de situatie met conventionele drainage en zonder drainage

Door de aanleg van conventionele drainage (1 m diep en 100 dagen drainage weerstand) worden de grondwaterstanden aanzienlijk verlaagd, zowel de GHG als de GLG. Zij het dat voor de GLG de verlagingen in het noordoostelijke deelgebied veel beperkter zijn.



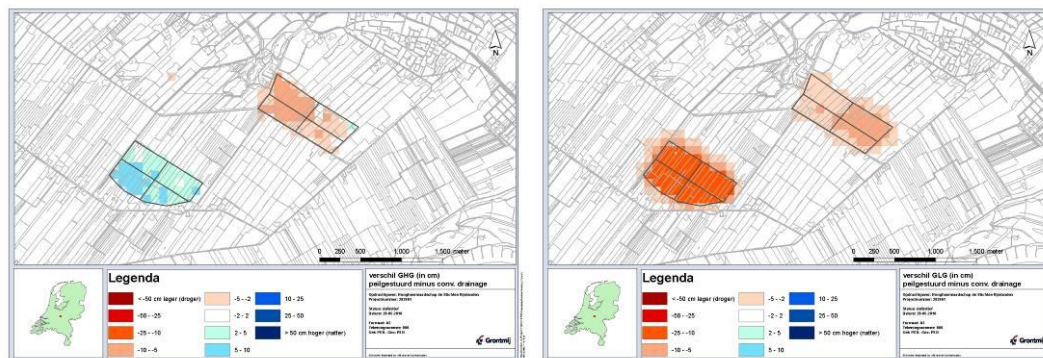
Figuur 5. Verschil GHG (links) en GLG (rechts) voor de situatie met klimaatadaptieve drainage en zonder drainage

Bij klimaatadaptieve drainage (drainageweerstand 50 dagen) zijn de verlagingen van de GLG beperkter dan bij de conventionele drainage (Figuur 6). In het noordoostelijke deelgebied zijn de verlagingen ten opzichte van de situatie zonder drainage beperkter dan 2 cm. In het zuidwestelijk deelgebied is er wel sprake van verlaging van de GLG, zij het beperkter dan bij conventionele drainage.

Voor de GHG zijn de effecten in het zuidwestelijk deelgebied juist groter, dus een betere beheersing van de piekgrondwaterstanden. In het minder natte deel is de verlaging van de grondwaterstanden juist beperkter.

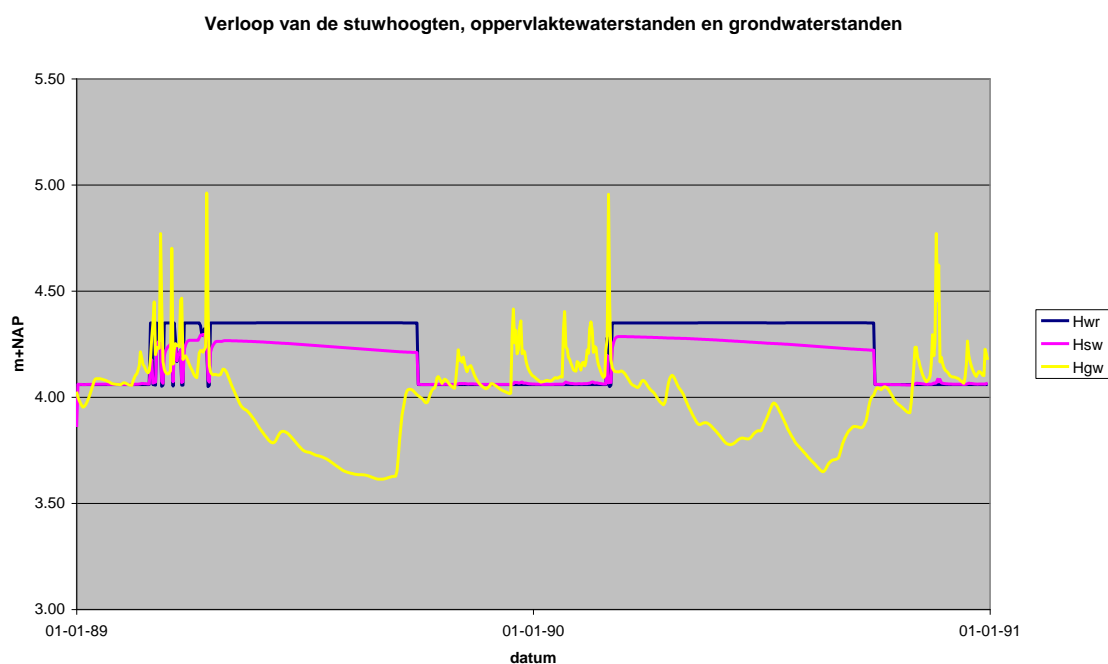
In Figuur 6 zijn de verschillen tussen de conventionele drainage en de klimaatadaptieve drainage weergegeven. Duidelijk is de extra verlaging van de GHG in het zuidwestelijke deelgebied. In het noordoostelijke deelgebied en voor de GLG in beide deelgebieden zijn de verlagingen veel beperkter.





Figuur 6. Verschil GHG en GLG voor de situatie met klimaatadaptieve drainage en conventionele drainage (blauw: peilgestuurd ontwaterd extra, rood: peilgestuurd ontwaterd minder)

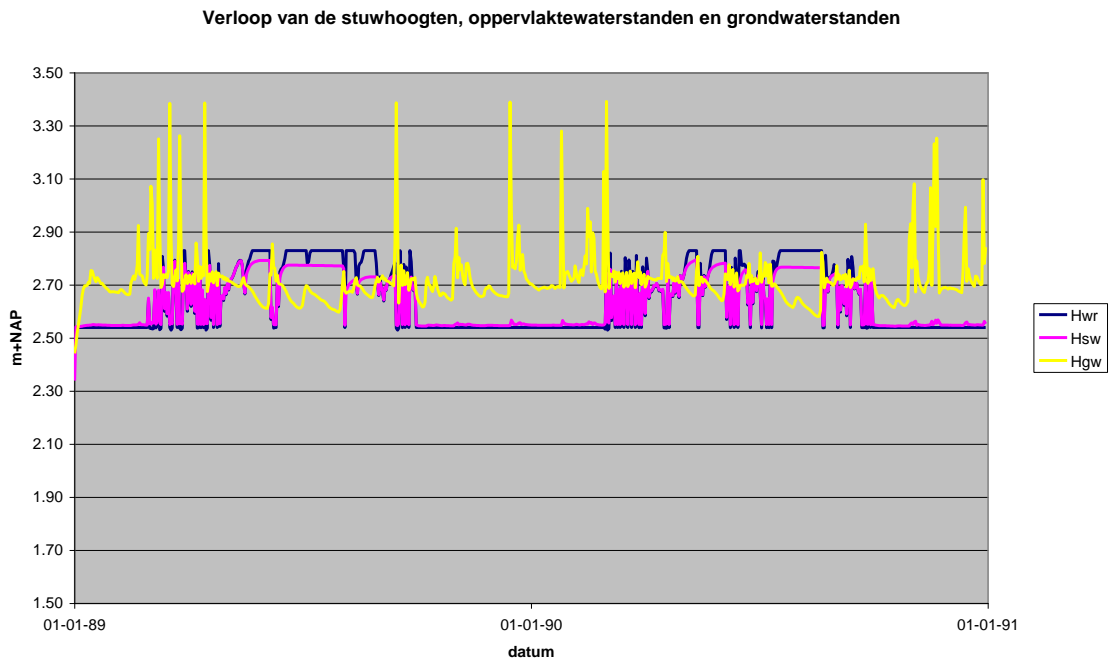
In Figuur 7 is een voorbeeld opgenomen van de reactie van de stuwhoogte op de grondwaterstanden voor DPG 11, dus in het minder natte noordoosten. Duidelijk is dat in het begin van 1989, maart en april, de kruinhoogte enkele keren verlaagd was vanwege de hoge piekgrondwaterstanden. Dit is dan van korte duur. De waterstanden in de drainageput zakken heel langzaam uit doordat een hoge infiltratieweerstand is aangenomen in het model.



Figuur 7. Verloop van de stuwhoogten, oppervlaktewaterstanden en grondwaterstanden in DPG 11

Het verloop voor DPG 21 is weergegeven in figuur 6. Duidelijk is dat ook in de zomer vaak ingegrepen moet worden om de grondwaterstand te verlagen.

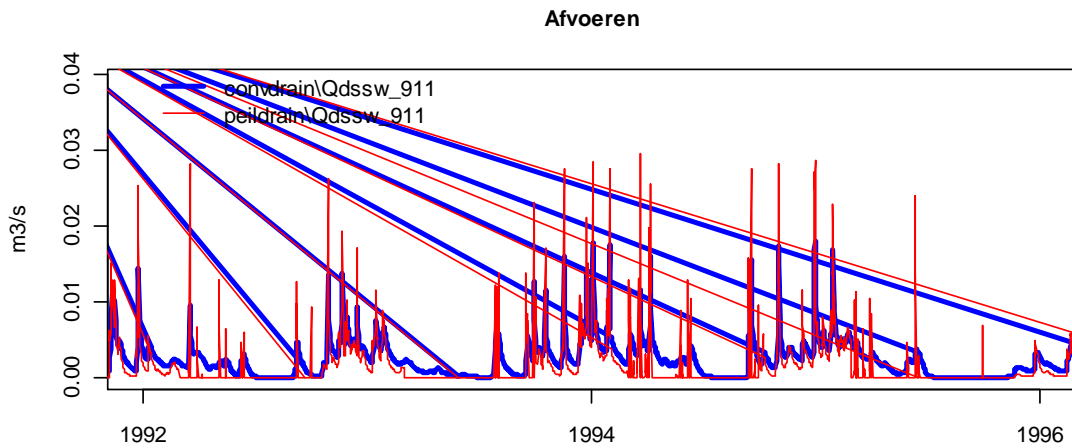




Figuur 8. Verloop van de stuwhoogten, oppervlaktewaterstanden en grondwaterstanden in DPG 21

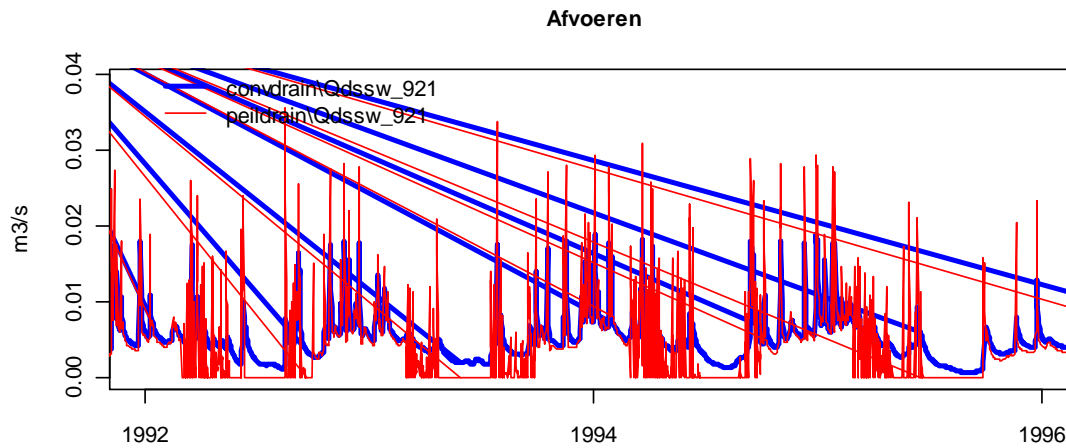
2.3.7 Afvoeren

Voor dezelfde peilvakken worden in onderstaande figuren de afvoeren van conventionele en klimaatadaptieve drainage gegeven



Figuur 19: Afvoer van conventionele en klimaatadaptieve drainage in dpg11





Figuur 20: Afvoer van conventionele en klimaatadaptieve drainage in dpg21

De hoge afvoeren van klimaatadaptieve drainage zijn duidelijk hoger dan die van conventionele drainage en wordt veroorzaakt door het verlagen van de stuw als de grondwaterstand hoger wordt dan 60 cm -mv.

2.3.8 Conclusies

Uit de rekenexperimenten blijkt de klimaatadaptieve drainage duidelijk beter op de grondwaterstanden te kunnen sturen: meer ontwateringscapaciteit door de intensievere drainage bij (veel te) hoge grondwaterstanden en betere sturing op de grondwaterstanden.

Uit de simulatieresultaten blijkt dat daarvoor frequent het ontwateringsniveau moet worden veranderd. Zonder sturing op afstand c.q. koppeling aan gemeten grondwaterstand is het sturen van de ontwateringsbasis een tijdrovende activiteit.

De afvoeren worden door klimaatadaptieve drainage duidelijk hoger dan conventionele drainage maar nooit hoger dan 15 mm/d. Daarbij moet worden opgemerkt dat het gedefinieerde peilbeheer volledig gericht is op voorkomen van vernatting in natte periodes. Het is relatief eenvoudig het peilbeheer zodanig te definiëren dat in perioden van hoge grondwaterstanden dit niet als schadeveroorzakend wordt ervaren.



3 Opzet detailberekeningen onderzoek en ontwikkelingstraject

3.1 Inleiding

Voor het Onderzoek en Ontwikkelingstraject van het project Klimaatadaptieve Drainage moeten locatie specifieke berekeningen worden uitgevoerd die laten zien dat de gevolgen van klimaatverandering op piekafvoeren, verdamping en wateraanvoer van landbouwgewassen haalbaar en betaalbaar kunnen worden gereduceerd. Een onderdeel is de effecten van toepassen van stuurbare drainage op de reductie van piekafvoeren en wateraanvoer te kwantificeren maar ook de eventuele positieve of negatieve effecten op de gewasverdamping (de hydrologische effecten) en die vervolgens om te zetten in maatschappelijke kosten en baten. Deze annex beschrijft hoe de hydrologische effecten locatie kunnen worden berekend tijdens een eventueel onderzoek en ontwikkelingstraject.

3.2 Werkwijze

3.2.1 Conceptuele analyse

De hydrologisch relevante eigenschappen van de standplaats van landbouwgewassen zijn:

- dikte (effectieve) wortelzone;
- bodemfysische eigenschappen wortelzone en onverzadigde ondergrond, uitgedrukt als pF en k(h)-relatie;
- de relatie met ontwateringsmiddelen zoals buisdrainage, sloten en hoofdwaterlopen, uitgedrukt als lekweerstand per ontwateringsmiddel;
- de relatie met grondwateronttrekkingen (permanent en niet-permanent): te berekenen als locatie van de winning en geohydrologische eigenschappen van onderscheiden lagen in het verzadigd grondwatersysteem (kD- en c-waarden) bekend zijn.

Gegeven deze eigenschappen (parameters) wordt de dynamiek van hydrologische variabelen zoals verdamping aan- en afvoer bepaald door de volgende randvoorwaarden. Wisselingen in weersomstandigheden maar ook door regionale hydrologische setting: de relatie met de omgeving via het lokale en regionale grondwatersysteem. Voor het lokale systeem kan de aan- en afvoer van een perceel naar drains en perceelssloten worden genomen; voor het regionale systeem de aan- en afvoer naar verder weg gelegen sloten en hoofdwaterlopen. Beide systemen moeten in beschouwing worden genomen.

Het in model te brengen perceel is uit de aard der zaak gedraineerd en deze drains zijn stuurbaar, dat wil zeggen het ontwateringsniveau is stuurbaar. Deze sturing moet dus in model gebracht worden. Daarnaast is er een afwateringssysteem in de vorm van een sloot. In eerst instantie kiezen we er voor dat de sloot ten alle tijden lager is dan de ontwateringsbasis van de drains zodat de sloot wat hydraulische werking buiten het te modelleren systeem kan worden geplaatst. Maar de sloot heeft ook een drainerende werking op het perceel. Daarom zal de sloot toch in het model moeten worden opgenomen.

Het regionale systeem kan als opgelegde randvoorwaarde worden beschouwd omdat het in dit onderzoek alleen gaat om de effecten van klimaatadaptieve drainage doorgevoerd op perceelsniveau op de aan- en afvoer en gewasverdamping van het betreffende perceel. Bij



toepassing van klimaatadaptieve drainage op grote schaal gaat deze aanname niet meer op omdat de stijghoogtes van het regionaal hydrologische systeem en de openwaterstanden worden beïnvloed. Uiteraard kan in een volgende fase de effecten per stroomgebied worden gesimuleerd.

3.2.2 Schematisatie

Op perceelsniveau kan de hydrologie op verschillende manieren **ruimtelijk** worden geschematiseerd:

- a. volledig 3-dimensionaal (x,y,z). Dit is voor verzadigd-onverzadigde systemen niet operationeel;
- b. 2-dimensionaal (x,z);
- c. quasi-1-dimensionaal verticaal (z+), waarbij de stroming naar de drains en open ontwateringsmodellen in een verticale kolom wordt voorgesteld als een flux die afhangt van de opbolling (grondwaterstand minus ontwateringsbasis) en waarbij die flux wordt verdeeld over het verzadigd deel van de kolom;
- d. 1-dimensionaal verticaal (z). Deze modellen zijn niet toepasbaar als drains moeten worden meegenomen.

Alleen opties b en c zijn aan hier aan de orde. Hierna zal alleen optie c worden uitgewerkt. De verticale kolom wordt aan de bovenkant begrensd door het maaiveld en aan de onderkant door de bovenkant van de eerste weerstandbiedende laag. Op basis van bodemkundige informatie wordt per bodemeenheid 1 : 50.000 een laagindeling gemaakt en per laag worden de bodemfysische eigenschappen uniform verondersteld.

De kolom is begroeid met een landbouwgewas dat potentieel verdampt tenzij de wortelzone (of delen van de wortelzone) te droog of te nat is. De gewasgroei gedurende het groeiseizoen (boven- en ondergronds) is onafhankelijk van de verdampingsreductie.

De wortelzone is de laag waar wortels water kunnen opnemen. De maximale dikte hangt af van gewas en bodemeenheid.

Het maaiveld zelf fungeert als bergings- en ontwateringsmiddel maar ook als filter voor de neerslag.

De drains liggen op een bepaalde diepte en de ontwateringsbasis kan daar boven liggen. Drains kunnen zowel infiltreren als draineren. De ontwateringsbasis is instelbaar (zie hoofdstuk III).

De perceelssloten hebben bepaalde afmetingen en de ontwateringsbasis is gelijk aan de bodemdiepte of kan daar boven liggen. De sloten kunnen infiltreren en draineren. De ontwateringsbasis is niet stuurbaar.

De gebruikelijke **temporele** schematisatie is te rekenen met een klimaatreeks van 30 jaar en daarbij dagwaarden te gebruiken. Omdat het ook gaat om piekafvoeren is het voorstel uurwaarden te gebruiken.

3.2.3 Randvoorwaarden

De bovenkant wordt begrensd door de atmosfeer en de metadata waarmee de potentiële evapotranspiratie wordt uitgerekend zijn onafhankelijk van de actuele gewasverdamping (Neumann type). De data worden ontleend aan KNMI-stations (voor het huidige klimaat) of zijn daar een bewerking van. Neerslag in de vorm van sneeuw wordt 'op zijn SWAPS' meegenomen. Geen berekening



De onderrand is de het tijdsverloop van de stijghoogte van het 1e watervoerende pakket (Dirichlet type). Wordt ontleend aan regionale stijghoogteinformatie.
De waterstand in de perceelssloot is afhankelijk van de gesimuleerde afvoer (Cauchy type).
De ontwateringsbasis van de drains is een opgelegde waarde (Dirichlet type) en wordt tijdens de simulatie volgens bepaalde regels aangepast. Zie volgende hoofdstuk.

3.2.4 Parameterisatie

De volgende parametergegevens zijn per model nodig (met tussen haakjes de vermoedelijke gegevensbron):

- seizoenverloop gewasbedekking en gewashoogte (experttabellen in SWAP)
- interceptieparameters gewas: experttabel SWAP.
- Seizoensverloop dikte wortelzone (experttabellen SWAP)
- berging op maaiveld (experttabel Walter)
- infiltratiecapaciteit (experttabel JvB).
- drainageweerstandrelatie maaiveld (experttabel Walter)
- pF en k(h)-relatie per bodemhorizont (Staringreeks)
- buisdrainageweerstandrelatie (Hooghoudtformule en karteerbare kenmerken k, d en drainafstand, L_d). geen hysteresis.
- diepte drainage: experttabel JvB
- drainageweerstandrelatie (Ernstformule en karteerbare kenmerken k, D (of d) en slootafstand, L_s), aangevuld met dikte sliblaag en k sliblaag. Geen hysteresis.
- slootafmetingen: diepte en talud (experttabel Massop)
- stromingsweerstand sloot (experttabel JvB, ontleend aan CV)
- weerstand c-laag: regionale informatie zo mogelijk geproduceerd door metamodel van regionaal hydrologisch model (zie Modelstudie Vasthouden)

3.2.5 Beginvoorwaarden

Begingrondwaterstand 100 cm -mv en evenwichtsprofiel.

3.3 Toepassen computercode en simuleren

Voorgesteld wordt SWAP te gebruiken om de volgende redenen:

- bekendheid
- profiel kan zeer gedetailleerd worden opgedeeld
- in staat snelle processen te simuleren
- veel opties voor typen randvoorwaarden
- koppeling gewasverdamping en gewasopbrengst mogelijk.

Door middel van aanpassing van de invoerfiles kunnen de parameters en randvoorwaarden worden gedefinieerd en hebben we daarmee een simulatiemodel voor het uitvoeren van de volgende berekeningen.

1. Uitgangssituatie I

De uitgangssituatie heeft de volgende kenmerken:



- een podzolgrond (Hn21) met lichte kwel (gemiddeld 0,5 mm/d), Te realiseren door combinatie van c-waarde en tijdreeks diepe stijghoogtes)
- landgebruik grasland (met constante gewashoogte?? en bodembedekking??)
- drains op 110 cm -mv
- geen sturing van de ontwateringsbasis van de buisdrainage. Wordt op 100 cm -mv gesteld)
- sloot 120 cm diep, bodembreedte 30 cm en talud 1 : 2.
- stromingsweerstandrelatie perceelssloot: tabel uit CV vertaald naar stuwformule
- huidig klimaat
- geen wateraanvoer

Vervolgens wordt de ontwateringsniveau afhankelijk gemaakt van:

- i. tijd in het jaar plus evt
- ii. gesimuleerde grondwaterstand plus evt
- iii. drukhoogte in midden wortelzone plus evt
- iv. weersvoorspelling. Bijvoorbeeld met de kennis achteraf is een perfecte weersvoorspelling tot zeg 3 dagen mogelijk en daarna neemt de weergenerator het steeds meer over.

2. Uitgangssituatie II

idem als I maar nu met onbeperkte wateraanvoer

De meeste inspanning zit is het slim kiezen van beheersregels (*trial and error*) en het beschikbaar krijgen van een historische reeks weersverwachtingen. Slim hangt af van doelstelling: piekreductie of verdampingsreductie (waterconservering) of reductie wateraanvoer of een mix van deze 2 of 3 doelstellingen. Ook levert de simulatie aanwijzingen over de inspanningen om betreffend beheer te realiseren, zowel qua aanleg als bediening. Je kunt nl ook handmatig beheer simuleren door maar 1 maal per week de ontwateringsbasis bij te stellen.

Ook is SWAP in de huidige vorm niet geschikt voor operationele toepassingen. Vereist dus aanpassing.

3. Klimaatscenario's

De gebruikte klimaatreeks wordt via bekende procedure omgezet in het W-scenario en het W+-scenario.

In de 1e tranche wordt gerekend zonder sturing en met de beheersregels die zijn afgeleid voor de huidige situatie. Dit levert effecten van slimme maar niet klimaatgeadapteerde klimaatadaptieve drainage voor W en W+.

In de 2e tranche worden gezocht naar een adaptatie in de beheersregels waarbij het succes weer afhangt van de doelstelling(en). Deze moeten wel consistent zijn met de uitgangssituatie. De adaptatie moet ook voor de huidige situatie worden doorgerekend om te onderzoeken dat het inderdaad een slimme adaptatie is. Het kan namelijk zo zijn dat de voorgestelde adaptatie ook voor het huidig klimaat ook slim blijkt te zijn. Als dat zo is, is onze uitgangssituatie dus niet correct gedefinieerd.



SWAP Code aanpassing

De afvoeren zijn eenduidig te koppelen aan de grondwaterstand en dat er geen maaiveldafvoer optreedt als gevolg van schijngrondwaterstanden en overschrijden infiltratiecapaciteit.

Situatie 1: Normaal peilbeheer

Het normale peilbeheer (waterconserveringspeilbeheer) is als volgt:

- winterpeil van 1/10 t/m 1/3 op 100 cm -mv
- zomerpeil tussenliggende periode op 70 cm -mv
- indien grondwaterstand hoger komt dan 70 cm -mv: zomerpeil verlagen naar winterpeil
- snelheid peilverlaging begrenst op 10 cm/d.

Belangrijk discussiepunt is welke grondwaterstand. Ik stel voor er vanuit te gaan dat het waterschap de goede grondwaterstand meet en zorgt dat die bij regelunit binnenkomt. In ons rekenvoorbeeld kunnen we daarvoor de door SWAP gesimuleerde grondwaterstand nemen. SWAP version 3.2 kan dit simuleren (geen aanpassing nodig)

Uit SWAP 3.2 Manual, blz 108/109

Box 5.5 Relation between groundwater and surface water levels in drainage file

```
*.DRA
*****
* choice for type of discharge relationship
*
SWQHR = 1 ! option for type of discharge relationship [1..2, I]
* 1 = exponential relationship (see part 4c)
* 2 = table (see part 4d)
*
*****
*
* Part 4c: exponential discharge relation (weir characteristics)
*
* If SWQHR=1 and for ALL periods specify:
*
SOFCU = 100.0 ! Size of the control unit [0.1..100000.0 ha, R]
*
* IMPER index of management period [1..NMPER, I]
* HBWEIR weir crest; levels above soil surface are allowed, but simulated
* surface water levels should remain below 100 cm above soil surface;
* the crest must be higher than the deepest channel bottom of the
* secondary system (ZBOTDR(1 or 2), [ALTCU-ZBOTDR..ALTCU+100 cm,R].
* If SWMAN = 2: HBWEIR represents the lowest possible weir position.
* ALPHAW alpha-coefficient of discharge formula [0.1..50.0, R]
* BETAW beta-coefficient of discharge formula [0.5..3.0, R]
IMPER_4c HBWEIR ALPHAW BETAW
1 -96.0 1.7 1.5
2 -45.0 1.7 1.5
... ..
33 -51.5 1.7 1.5
34 -66.5 1.7 1.5
*End_of_table
*****
*
* Part 4d: table discharge relation
*
* If SWQHR=2 and for ALL periods specify:
*
* IMPER index of management period [1..NMPER, I]
* ITAB index per management period [1..10, I]
* HTAB surface water level [ALTCU-1000..ALTCU+100 cm, R]
* (first value for each period = ALTCU + 100 cm)
* QTAB discharge [0..500 cm/d, R]
* (should go down to a value of zero at a level that is higher than
* the deepest channel bottom of secondary surface water system)
*
IMPER_4d IMPTAB HTAB QTAB
1 1 -75.0 2.0
*End_of_table
*****
```

Box 5.6 Automatic and soil moisture controlled Weir management – in drainage file



*.DRA

```
* Part 4e: automatic weir control
*
* For the periods when SWMAN=2 specify next two tables:
*
*** Table #1
*
* IMPER index of management period [1..NMPER, I]
* DROPR maximum drop rate of surface water level [0..100 cm/d, positive, R]
* if the value is set to zero, the parameter does not play any role at all
* HDEPTH depth in soil profile for comparing with HCRIT
* [-100..0 cm below soil surface, R]
*
IMPER_4E1 DROPR HDEPTH
1 0.0 -15.0
*End_of_table
*
*** Table #2
*
* IMPER index of management period [1..NMPER, I]
* IPHASE index per management period [1..10, I]
* WLSMAN surface water level of phase IPHASE [ALTCU-500.0..ALTCU cm,R]
* GWLCRIT groundwater level of phase IPHASE, max. value
* [-500..0 cm below soil surface, R]
* HCRIT critical pressure head, max. value, (at HDEPTH, see above)
* for allowing surface water level [-1000..0 cm, neg., R]
* VCRIT critical unsaturated volume (min. value) for all
* surface water level [0..20 cm, R]
*
* Notes: 1) The zero's for the criteria on the first record are in fact
* dummy's, because under all circumstances the scheme will set
* the surface water level at least to wlsman(imper,1)
* 2) The lowest level of the scheme must still be above the
* deepest channel bottom of the secondary surface water system
*
IMPER_4E2 IMPPHASE WLSMAN GWLCRIT HCRIT VCRIT
2 1 1114.0 0.0 0.0 0.0
2 2 1124.0 -80.0 0.0 0.0
2 3 1124.0 -90.0 0.0 0.0
2 4 1154.0 -100.0 0.0 0.0
3 1 1114.0 0.0 0.0 0.0
3 2 1124.0 -80.0 0.0 0.0
3 3 1124.0 -90.0 0.0 0.0
3 4 1154.0 -100.0 0.0 0.0
*End_of_table
*****
```

Peilbeheer is situaties met zowel kans op hoge afvoeren als daadwerkelijk hoge afvoeren
De regelunit krijgt informatie van waterschap over kans op hoge neerslagen en actuele
afvoerintensiteiten. In ons geval een file met neerslagverwachting en de door SWAP
gesimuleerde dagafvoer van laatst voltooid etmaal.
In dergelijke situaties wordt waterconserveringspeilbeheer overruled door
afvoerreductiepeilbeheer.

Rekenregels voor SWAP bij risico op hoge afvoeren (afvoerreductiepeilbeheer)

1. Aanmaken van file weersverwachting

Via Excel wordt een file aangemaakt waarin per dag wat de neerslagverwachting is voor de
komende 5 dagen (variabel maken).

Aangezien we gebruik maken van een historische reeks hebben we de perfecte
weersverwachter. Eventueel kunnen we daar een onzekerheidsvariatie op aanbrengen naar
oven en naar beneden. maar voor hoge afvoeren geldt dat we achteraf ten onrechte zijn
uitgegaan van te extreme verwachting beter is dan dat we achteraf zijn uitgegaan van te lage
verwachting. Dus wellicht alleen ook uitgaan van perfecte verwachting plus 20%.

2. Aanpassen rekenregels voor streefpeil

Situatie 2: kans op hoge afvoeren

Als er risico dreigt op hoge afvoeren moeten we daarop anticiperen, dus afvoeren als het nog
kan. want weg is weg en dat creëert ruimte voor de komende neerslaggolf. De trits afvoeren-
vasthouden-bergen-afvoeren dus.



We vergelijken actuele berging in profiel met neerslagverwachting mbt komende 5 dagen.

- 1) Indien verschil minder is dan zeg 20 mm dan dreigt er gevaar voor hoge grondwaterstanden en daarmee hoge afvoeren en wordt actie ondernomen.
 - a. streefpeil wordt verlaagd naar 30 cm -winterpeil.
 - b. indien actuele afvoeren reeds hoger zijn dan 10 mm/d dan overruled door situatie door rekenregels situatie 2.

Situatie 3: er treden daadwerkelijk hoge afvoeren op van meer dan maatgevende afvoer

Streefpeil wordt opgetrokken naar 10 cm boven maaiveld (volledig blokkeren van afvoeren)

Zodra afvoeren lager worden dan 10 mm/d en er is ook geen kans meer op hoge afvoeren (situatie 2) wordt overgegaan op normaal peilbeheer (Situatie 1). Verlaging van streefpeil is begrensd (is nu al invoergegeven) en dat voorkomt dat gesimuleerde afvoer daardoor sterk wordt verhoogd.

Implementatie

Situatie 2 en situatie 3 moeten worden geprogrammeerd met als instelbare setpoints:

- verschil neerslagverwachting en verzadigingstekort
- streefpeil bij risico op hoge afvoeren
- grenswaarde hoge afvoeren voor blokkeren afvoeren
- streefpeil voor blokkeren afvoeren.

En de volgende gesimuleerde variabelen:

- dagafvoeren laatst voltooid etmaal. We kunnen er voor kiezen deze vooraf te berekenen omdat we mogen veronderstellen dat op gebiedsniveau afvoerdichtheid min of meer onafhankelijk is van wat je op specifiek perceel doet.
- actuele grondwaterstand

Voor het inlezen van de invoerfile Neerslagverwachting moet code ook worden aangepast.

We beginnen met rekenen voor 1 jaar. In eerste instantie passen we subroutine *surfacewater.for* aan door na laatste *adapt iphase 2* keer te bekijken of we *wlstx* moeten overrulen.

```
compare H(nodhd(imper)) with HCRIT, adapt iphase
do while (h(nodhd(imper)).gt.hcrit(imper,iphase)
& .and.iphase.gt.1)
  iphase = iphase - 1
enddo
hwlman = h(nodhd(imper))

wlstx = wlsman(imper,iphase)
else
hier dus invoegen
! --- use old level
  wlstx = wlstarb
endif
```

! --- if the level must drop, then do not let it drop at more than



```
! --- the specified rate:
  if (wlstx .lt. wlstar .and. dropr(imper) .gt. 0.001d0) then
    wlstar = wlstar - dropr(imper)*dt
    if (wlstar .lt. wlstx) wlstar = wlstx
  else
    wlstar = wlstx
  endif
endif
```

Eerste mogelijke overruling als neerslagverwachting minus verzadigingstekort kleiner is dan 2 cm. In eerste instantie dit gegeven dus faken op tijdstip 100. Tweede mogelijke overruling als afvoer hoger is dan 1.0 cm/d. In eerste instantie op dag 110 en dag 111. Deze hoge afvoer ook faken.



4 Detail ontwerp regelputten

4.1 Regelput

De basis van de regelput in het klimaatadaptieve drainage systeem is een verticaal geplaatste buis. Deze buis heeft een doorsnede van 500 mm en een hoogte van 1500 mm. De drainagebuizen in het perceel lopen via een hoofdbuis naar deze verticaal geplaatste buis. Hierin wordt verticaal een vouwbalg geplaatst met een inwendige diameter van 160 mm. Aan de onderzijde is deze vouwbalg aangesloten aan een afvoerbuis met een doorsnede van 160 mm welke aan de zij-onderkant de verticaal geplaatste buis verlaat (tegenover de inlaat van de hoofdbuis).

Via de hoofdbuis loopt het water uit het perceel de verticaal geplaatste buis in. Het water stijgt in deze buis, totdat het de bovenkant van de vouwbalg heeft bereikt. Het meerdere loopt over de rand van de vouwbalg en via de afvoerbuis weg. De vouwbalg kan opgetrokken dan wel neergedrukt kan worden. Het grondwaterniveau in het perceel zal gelijk worden aan de hoogte van de bovenkant van de vouwbalg. Door de hoogte van de vouwbalg te variëren, kan het grondwaterniveau in het perceel gereguleerd worden. Het verschil tussen de hoogst en laagst mogelijke instelling is 600 mm.

De hoogte van de vouwbalg is instelbaar door middel van een 24 V motor. Er wordt een signaal teruggekoppeld in de vorm van een weerstandswaarde (0-10K Ω). Deze waarde geeft dan de ingestelde hoogte aan.

Vanwege het gering benodigd vermogen kan het systeem op zonne-energie uit zonnecellen functioneren. Het energie verbruik van de motor is ca. 12 Watt (ook hier zijn nog lichtere alternatieven mogelijk).

De motor zal in ca. 3 minuten van de bovenste stand naar beneden en weer terug gaan. Aannemende dat het energieverbruik van de elektronica ook laag is, is het dus goed mogelijk de installatie op een zonnepaneel en een accu te laten werken.

Globale kosteninschatting voor dit onderdeel tussen de € 800 en € 850 (bij afname van > 25 putten).

4.2 Besturing

Een zeer belangrijk aspect van klimaatadaptieve drainage is dat de drainagehoogte op eenvoudige wijze op afstand moet kunnen worden ingesteld. Telemetrie is daarvoor de aangewezen weg. Het TMX systeem is hiervoor uitermate geschikt en ruim bekend bij de waterbeheerders. Ongeveer de helft van de waterschappen heeft TMX systemen en de robuustheid is uitermate hoog.

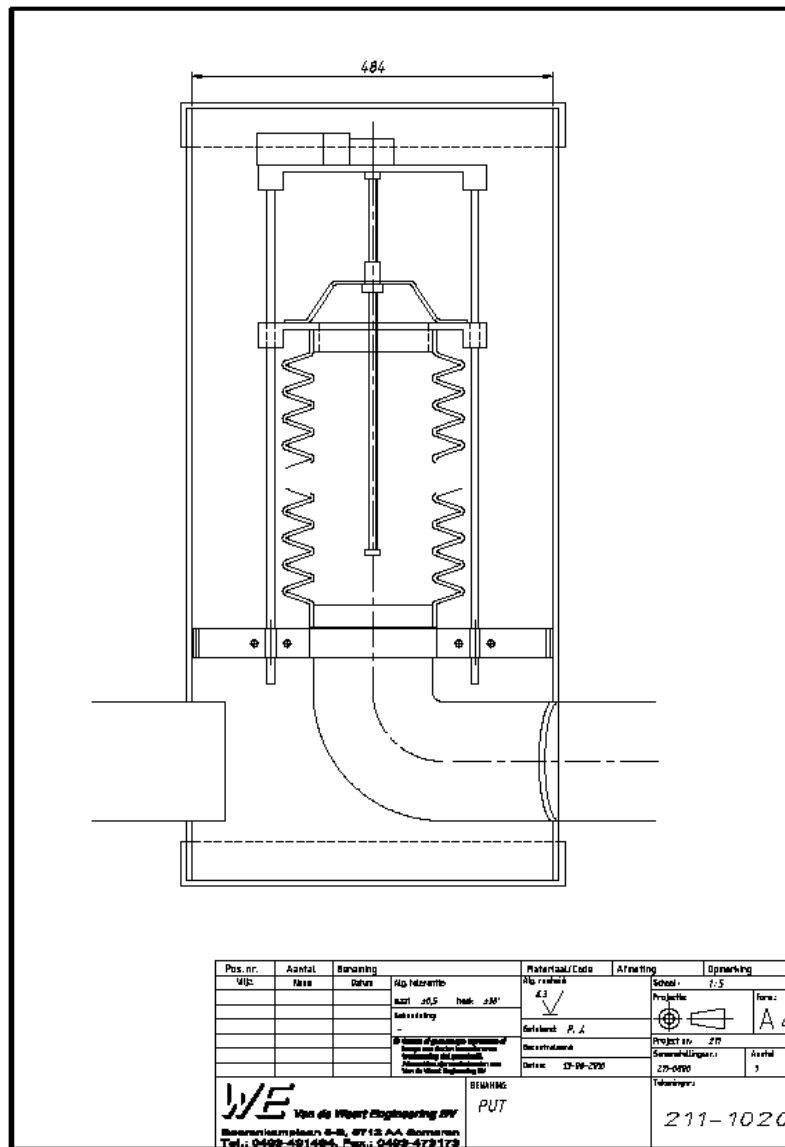
De besturing van de regelputten zal bestaan uit een sensor die de hoogte van het waterniveau in de regelput meet en een motor met sensor die de stand van de balg instelt. De hoogte-



instelling kan of door de gebruiker of automatisch via een klimaatmodel op afstand worden gerealiseerd.

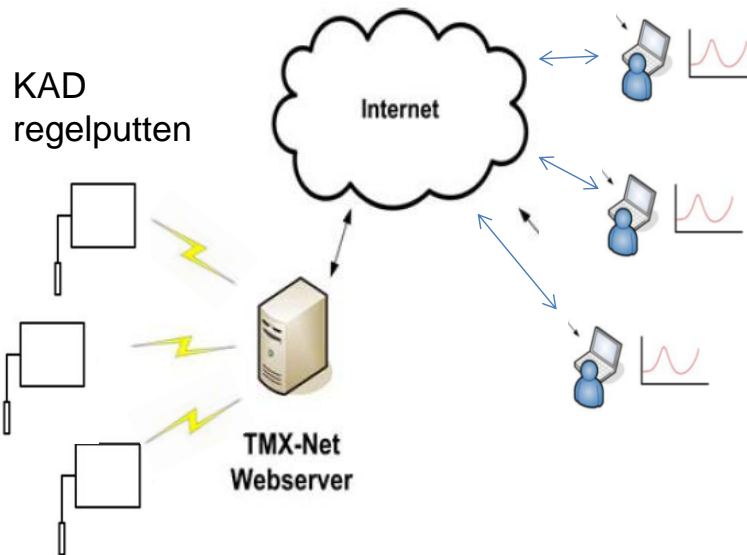
Er zal gebruik gemaakt gaan worden van het TMX-Net Pro systeem. Dit systeem maakt beheren van technische installaties op afstand economisch beschikbaar op abonnementsbasis. In plaats van zelf beheren van telemetrie hard- en software op een centrale locatie biedt TMX-Net Pro alle mogelijkheden kant en klaar als dienst via internet. Dit SaaS model (Software as a Service) maakt apparatuur op een eenvoudige manier toegankelijk via internet.

De totale aanschafkosten van dit besturingsgedeelte van de regelput is ongeveer € 2700. De totale kosten van één regelput is dus ongeveer € 3500. Gedurende de eventuele vervolg fase zullen een aantal regelputten worden gebouwd en kan op grond van die ervaringen een nauwkeurigere kosten raming worden gemaakt.



Figuur 9. Technisch ontwerp tekening van de regelput.





Figuur 10. SaaS (Software as a service) protocol voor het bedienen van de regelputten.



5 Economische haalbaarheid

5.1 Introductie

De technische haalbaarheid zoals beschreven in de voorgaande paragraaf laat zien dat klimaatadaptieve drainage een positief effect heeft op het verminderen van toegenomen piekafvoeren als gevolg van klimaatverandering. Voor de geteste situatie, die representatief kan worden gesteld aan gemiddelde omstandigheden in Nederland, zal de reductie in piekafvoer 7 mm bedragen. Dit betekent dat de extra piekafvoeren als gevolg van klimaatverandering voor het grootste gedeelte opgevangen kunnen worden. In dit hoofdstuk zal worden bekeken in hoeverre dit ook financieel en juridisch/organisatorisch haalbaar is.

5.2 Financiële haalbaarheid

De financiële haalbaarheid van klimaatadaptieve drainage is bepalend of er een vervolgtraject wordt ingezet van onderzoeks- en ontwikkeling, gevolgd door commerciële implementatie. Gedurende dit haalbaarheidsonderzoek is een versimpelde economische analyse uitgevoerd, die gedurende het onderzoeks- en ontwikkelingstraject kan worden getest en verfijnd.

Uitgangspunt van de huidige economische analyses is gebaseerd op:

- de kosten van klimaatverandering als er niets wordt gedaan
- de baten indien klimaatadaptieve drainage wordt toegepast
- de kosten van aanleg en onderhoud van klimaatadaptieve drainage

De kosten als gevolg van klimaatverandering voor het waterbeheer zijn de te verwachte extra piekafvoeren. In principe zijn er twee mogelijkheden om deze piekafvoeren te verwerken: (i) extra afvoercapaciteit en (ii) water tijdelijk bergen in overloopgebieden. De extra afvoercapaciteit heeft een component gemaalcapaciteit en een component sloten/kanalen. De kosten van het aanleggen van extra sloten/kanalen is zeer gebiedsafhankelijk: in sommige gebieden is deze capaciteit voldoende, terwijl in andere gebieden enorm geïnvesteerd zal moeten worden. Gezien de grote gebiedsafhankelijkheid, is in dit haalbaarheidsonderzoek alleen uitgegaan van de extra kosten voor uitbreiding van gemaalcapaciteit. Dit houdt in dat de huidige kosten de ondergrens laten zien en dus relevant zijn voor gebieden waar voldoende kanaalcapaciteit is. Bij de definitieve gebiedskeuze zullen genoemde eventuele kosten wel worden meegenomen. In Tabel 5 staan de gemiddelde kosten voor gemaalcapaciteit, uitgaande van de vuistregel dat elke $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ gemaalcapaciteit één miljoen euro bedraagt.

Tabel 5. Kosten van inzet voor gemaal om piekafvoeren af te voeren.

Gemaal	
Aanleg (€ per m ³)	12.50
Afschrijving (25 j)	0.50
Onderhoud/brandstof (€ per m ³)	0.15
Totale kosten (€ per m³)	0.65

Als alternatief kunnen de extra piekafvoeren als gevolg van klimaatverandering opgevangen worden door het creëren van bergingsgebieden. Momenteel zijn er verschillende bergings-



gebieden ingericht. De kosten van deze bergingsgebieden variëren, maar een gemiddelde kostprijs ligt rond de € 0,70 per m³ (Tabel 6).

Tabel 6. Kosten van bergingsgebieden om piekafvoeren tijdelijk te bergen.

Berging	
Aanleg (€ per m ³)	5.00
Afschrijving (25 j)	0.20
Onderhoud (€ per m ³ per j)	0.50
Totale kosten (€ per m³)	0.70

Uit bovenstaande blijkt dat gesteld kan worden dat de prijs om een extra m³ water als gevolg van verhoogde piekafvoeren op te vangen rond de € 0,70 ligt. Indien klimaatadaptieve drainage tegen een lagere prijs kan worden aangelegd, zou het financieel aantrekkelijk zijn om klimaatadaptieve drainage in te voeren. Aangezien de kosten van klimaatadaptieve drainage zowel vaste als variabele componenten hebben, zal een voorbeeldberekening worden gemaakt uitgaande van een inzet op 1000 ha, wat overeenkomt met ongeveer 20 boeren. De kosten van deze inzet zijn te zien in Tabel 7. De kosten bestaan uit het fysiek plaatsen en onderhouden van de putten en het management aspect van klimaatadaptieve drainage. Er is hierbij uitgegaan dat een conventioneel systeem van drainage al aanwezig is of tijdens de klimaatadaptieve drainage als algemene verbetering wordt aangelegd.

Tabel 7. Kosten van de inzet van klimaatadaptieve drainage op 1000 ha.

Kosten	€ per jaar
Opperlakte KAD (ha)	1000
Putten	
Putten (€ / put)	3500
Afschrijving (15 j)	233
Onderhoud (€ per j)	50
Totale kosten put (€ per j)	283
Benodigde putten (1 put / per 10 ha)	100
Putten (€ / j)	28,333
Management	
Aanloop (€)	10,000
Afschrijving (15 j)	667
Fixed (€ / j)	2,000
Per put (€ / j)	100
Management (€ / j)	12,667
Totaal	41,000

De baten van klimaatadaptieve drainage zijn vooral het verminderen van piekafvoeren. Uit de technische haalbaarheid uit het voorgaande hoofdstuk blijkt dat een piekafvoerreductie van globaal 7 mm realistisch is. Daarnaast heeft klimaatadaptieve drainage als bijkomende positieve eigenschap dat de agrariër het systeem in kan zetten om extra droogte als gevolg van klimaatverandering te verminderen. Deze positieve eigenschap is gewas en bodem afhankelijk en is daarom zeer behoudend ingeschat op 50 mm per jaar. De water productiviteit varieert ook per gewas, maar is voor de meeste gewassen minstens € 0,05 per m³. Uitgaande van wederom 1000 ha zijn de baten € 74.000 (Tabel 8).

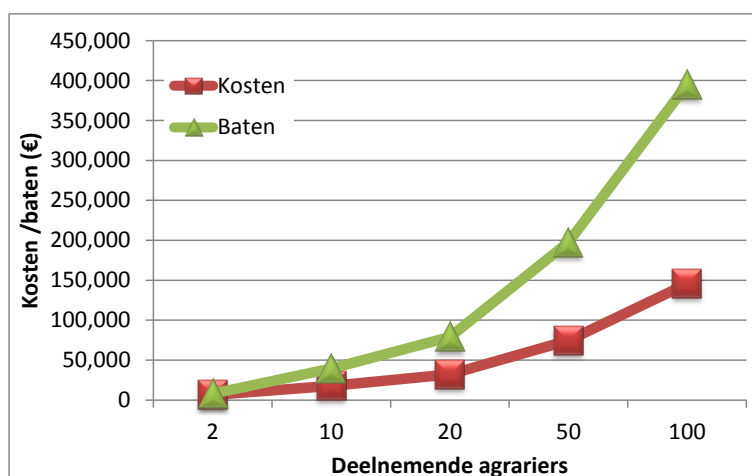


Tabel 8. Baten van de inzet van klimaatadaptieve drainage op 1000 ha.

Baten		€ per jaar
Piekafvoer		
Berging/gemaal (€ per m3)	0.70	
Piekafvoer reductie (mm)	7	
OpperMak (ha)	1000	
Piekafvoer reductie (m3)	70000	
Piekafvoer reductie (€ per jaar)		49,000
Droogte reductie		
Droogte baten (€ per m3)	0.05	
Droogte reductie (mm)	50	
OpperMak (ha)	1000	
Droogte reductie (m3)	500000	
Droogte reductie (€ per jaar)		25,000
Totaal		74,000

Samenvattend kan geconcludeerd worden dat uit de financiële kosten-baten analyse een positief saldo van € 33.000 kan worden behaald bij inzet op 1000 ha (kosten: € 41.000 en baten € 74.000). Hierbij is uitgegaan van een conservatieve schatting. Met name als eventuele kosten van extra kanalen/sloten noodzakelijk zijn, valt de kosten-baten analyse nog veel positiever uit.

In bovenstaande voorbeeldberekening is uitgegaan van 1000 ha. Een compleet klimaat-adaptieve drainage systeem zal echter een grootte hebben van 2500 tot 5000 ha, wat overeenkomt met 50 tot 100 agrariërs. Op deze grotere schaal zal de kosten/baten analyse aanzienlijk positiever zijn (Figuur 11).



Figuur 11. Kosten-baten analyse als functie van aantal deelnemende agrariërs (uitgaande van 50 ha per agrariër).

5.3 Juridische/organisatorische haalbaarheid.

Een belangrijk punt van aandacht is of klimaatadaptieve drainage juridisch en organisatorisch haalbaar is. Twee punten zijn hierbij van belang. Als eerste is de vraag of het waterschap op enige manier kan vastleggen dat agrariërs inderdaad hun drainage peil hoog zetten ten tijde

van hevig neerslag om piekafvoeren te voorkomen? Hieraan gerelateerd is de vraag of vergoedingen betaald mogen worden aan agrariërs volgens Europese Unie richtlijnen.

Twee oplossingsrichtingen zijn mogelijk: blauwe diensten en dwingende regelingen.

5.3.1 *Blauwe diensten*

Een service leveren door agrariërs aan een waterschap is een bekend fenomeen en staat bekend onder de term Blauwe Dienst. Er zijn vele blauwe diensten of afgeleiden daarvan, die met wisselend succes zijn uitgevoerd. Vanuit verschillende kanten (Min. van LNV, Alterra, Unie van Waterschappen) wordt echter aangegeven dat de tijd nu rijp is om blauwe diensten op grote schaal te gaan implementeren. Een beleidsstuk van het CLM (Centrum van Landbouw en Milieu) concludeert:

“Over blauwe diensten wordt veel gepraat, geschreven en gestudeerd maar nog weinig in praktijk gebracht. De tijd is rijp om de ontwikkeling door te zetten. Wij pleiten ervoor de term ‘blauwe diensten’ te reserveren voor vormen van samenwerking tussen waterbeheerders en grondgebruikers waarbij de laatsten een wezenlijke, serieuze bijdrage leveren aan een beter waterbeheer. Dat vergt een concrete aanpak en goede klimaatadaptieve drainageers waarmee lange termijn afspraken kunnen worden vastgelegd met garanties voor beide kanten. Blauwe diensten kunnen leiden tot een intensievere samenwerking tussen boeren, burgers en regionale overheden. Ze bieden perspectief voor een efficiënter beheer tegen lagere maatschappelijke kosten. Het zou jammer zijn die kansen te laten liggen.”

In principe kunnen grondeigenaren op vier verschillende manieren worden vergoed voor blauwe diensten:

1. Via producten. Vergoedingen kunnen via de prijs voor producten worden verrekend. De voorwaarde is dat de keten, en uiteindelijk de consument, bereid is om een meerprijs voor het product te betalen. Er zijn voorbeelden die bewijzen dat het kan (biologische landbouw, streekproducten), maar de praktijk leert dat de consument geringe bereidheid heeft een meerprijs te betalen, en dan alleen voor producten met een aantoonbare meerwaarde voor kwaliteit, gezondheid of milieu. Omdat de relatie product-waterbeheer door de consumenten niet herkend zal worden, biedt meerprijs voor producten geen perspectief.
2. Financieel. Blauwe diensten kunnen via het inkomen worden verrekend, maar een opslag op het inkomen zal door de Nederlandse en Europese overheden al snel worden beschouwd als oneigenlijke inkomenssteun. Aangezien de agrariër extra schade kan verwachten doordat water gemiddeld één keer per jaar langer dan noodzakelijk op het land staat, is er geen sprake van staatssteun, maar van compensatie van inkomensderving. Het gaat hierbij dan dus om een zakelijke dienstverlening tegen een eerlijke prijs.
3. Via grond. Omdat diensten aan grond gekoppeld zijn, kan vergoeding via de grondprijs worden verrekend. Dit gebeurt al bij waterbergingsgronden waar de waardedaling voor een vastgestelde periode door het waterschap wordt afgekocht. Ten behoeve van landschapsbeheer in de veenweidegebieden wordt gesproken over de Europese regeling Landbouw met een natuurlijke handicap, waarmee een hectarevergoeding kan worden verrekend. Er zijn meer perspectieven, maar verrekening via grond is buitengewoon complex en gaat met gevoeligheden gepaard.



Samenvattend is een financiële compensatie waarschijnlijk de meest gewenste vorm van blauwe dienst voor klimaatadaptieve drainage.

5.3.2 *Dwingende regelingen*

Klimaatadaptieve drainage zou eventueel ook kunnen worden gekoppeld aan de nu al bestaande vergunningsverlening voor drainage. Er zou een besluit van het waterschap kunnen worden genomen dat drainage alleen mag worden aangelegd als voor een klimaatadaptief drainage systeem wordt gekozen. Vergelijkbare constructie met beregening werken erg effectief in onder andere Brabant en Limburg. Deze dwingende regelingen kunnen worden verantwoord doordat de agrariërs ook baat hebben bij klimaatadaptieve drainage. Gedurende het gehele jaar hebben ze een flexibel systeem dat zelf kunnen regelen en zodoende water kunnen conserveren naar eigen inzicht.





6 Brieven

Twee belangrijke partijen voor klimaatadaptieve drainage hebben ondersteunende formele brieven geschreven: een waterschap en de land- en tuinbouworganisatie. Kopieën zijn hieronder weergegeven.



ARCHIEF

i.a.a. jape



2010.13296



Waterschap
Peel en Maasvallei

Future Water

uw kenmerk: -
ons kenmerk: ka/jape2010-13296
uw brief van: -
datum: 15 september 2010
verzonden: 15 SEP 2010

onderwerp: Klimaatadaptieve Drainage

L.s.,

Wij hebben met veel belangstelling kennis genomen van uw initiatief om middels klimaatadaptieve drainage, plekafvoeren en watertekorten te verminderen.

Als waterschap zien wij nog steeds dat te veel water zonder reden wordt afgevoerd uit het landelijk gebied, ondanks het feit dat we hierin de afgelopen jaren al behoorlijke slagen gemaakt hebben. Zo hebben wij grootschalig waterconserveringsstuwen in ons beheersgebied geïntroduceerd en ondersteunen wij actief het concept van de peilgestuurde drainage.

Gezien de verwachte klimaatveranderingen, voorzien wij dat nóg meer inspanning op dit gebied geboden is. Wij denken dat verdere technische innovatie, zoals u ondermeer voorstelt, daarbij een belangrijke rol kan spelen.

Welke rol het waterschap hier in de toekomst in moet spelen, bijvoorbeeld in de vorm van de inrichting van een financieel systeem, kunnen wij op dit moment niet zeggen. Wij wachten uw analyse op dit vlak met veel interesse af.

Voor meer informatie kunt u contact opnemen met Jac Peerboom, via (077) 38 91 188 of stuur een e-mail naar jac.peerboom@wpm.nl.

Met vriendelijke groet,
namens het dagelijks bestuur van Waterschap Peel en Maasvallei,

ir. A. (Alfred) Paarlberg,
hoofd van de afdeling Kennis en Advies

Drie Decembersingel 48
5921 AC Venlo

Postbus 3390
5902 RJ Venlo

T 077- 3891111
F 077- 3873605

E info@wpm.nl
I www.wpm.nl

