



Methode voor het selecteren van lokale zoetwateroplossingen en het afwegen van hun effecten 'Fresh Water Options Optimizer'

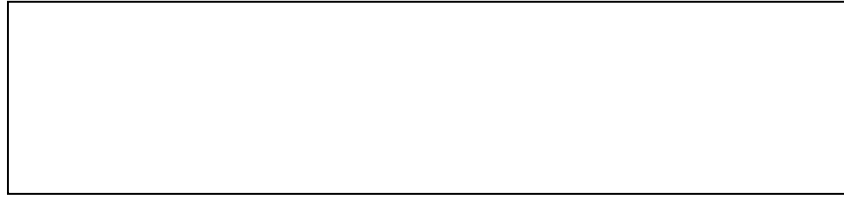


hoogheemraadschap
**Hollands
Noorderkwartier**

stowa



Copyright ©
2014



Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat (KvK). Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd, in geautomatiseerde bestanden opgeslagen en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, geluidsband of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat. In overeenstemming met artikel 15a van het Nederlandse auteursrecht is het toegestaan delen van deze publicatie te citeren, daarbij gebruik makend van een duidelijke referentie naar deze publicatie.

Aansprakelijkheid

Hoewel uiterste zorg is besteed aan de inhoud van deze publicatie aanvaarden de Stichting Kennis voor Klimaat, de leden van deze organisatie, de auteurs van deze publicatie en hun organisaties, noch de samenstellers enige aansprakelijkheid voor onvolledigheid, onjuistheid of de gevolgen daarvan. Gebruik van de inhoud van deze publicatie is voor de verantwoordelijkheid van de gebruiker.

Fresh Water Options Optimizer

Auteurs

Marco Hoogvliet (Deltares)

Lodewijk Stuyt (Alterra WUR)

Jan van Bakel (De Bakelse Stroom)

Jouke Velstra (Acacia Water)

Perry de Louw (Deltares)

Harry Massop (Alterra WUR)

Lieselotte Tolk (Acacia Water)

Cheryl van Kempen (Deltares)

Melle Nikkels (student Vrije Universiteit Amsterdam)



Stowa rapportnummer 2014-43

KvK rapportnummer KvK141/2014

ISBN 978.90.5773.650.6

Dit onderzoeksproject wordt uitgevoerd in het kader van het Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat (www.kennisvoorklimaat.nl). Dit onderzoeksprogramma wordt medegefinancierd door het Ministeries van Infrastructuur en Milieu, Energie en van Landbouw en Innovatie, STOWA, provincies Zuid-Holland en Zeeland., Rijkswaterstaat Zuid-Holland, de gemeente Rotterdam, de waterschappen Rijnland, Delfland, Schieland & de Krimpenerwaard en Scheldestromen.



Inhoudsopgave

| | | |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| Samenvatting..... | 7 | |
| 1 | Inleiding | 14 |
| 1.1 | Achtergrond..... | 14 |
| 1.2 | Identificeren van kansen en opschalen | 14 |
| 1.3 | Toepassingsmogelijkheden..... | 15 |
| 1.4 | Leeswijzer | 16 |
| 2 | Kansenkaarten geschiktheid ondergrond voor oplossingen | 17 |
| 2.1 | Drains2buffer | 18 |
| 2.2 | Regelbare drainage en klimaatadaptieve drainage | 23 |
| 2.3 | Kreekruginfiltratie..... | 25 |
| 2.4 | Freshmaker | 32 |
| 2.5 | Verticale ASR..... | 38 |
| 2.6 | Waterconservering door stuwen..... | 43 |
| 2.7 | Waterconservering door slootbodemverhoging | 50 |
| 3 | Afwegingskader wateropbrengst en omgevingseffecten..... | 54 |
| 3.1 | Effecten uitgedrukt in verandering van doelvariabelen | 55 |
| 3.2 | Raming van zoetwateropbrengst..... | 59 |
| 3.2.1 | Toename van zoetwaterlensdikte en grondwaterstand (1D) . | 60 |
| 3.2.2 | Extra volume zoetwater op de oplossinglocatie (3D) | 63 |
| 3.3 | Uitstralingseffecten van oplossingen naar de omgeving..... | 66 |
| 3.4 | Interferentie tussen oplossingen..... | 71 |
| 4 | Toets van kaarten en afwegingskader in casegebied | 73 |
| 4.1 | Het casegebied: Wieringen/Wieringermeerpolder | 73 |
| 4.2 | Verfijning van kansenkaarten voor casegebied..... | 75 |
| 4.3 | Raming van verandering van doelvariabelen | 89 |
| 4.4 | Effecten van oplossingen op (grond)waterberging | 91 |
| 4.4.1 | Aanpak van en uitgangspunten voor de toets..... | 91 |
| 4.4.2 | Resulterende veranderingen in kwel en waterberging..... | 99 |
| 4.5 | Effecten van oplossingen op oppervlaktewater- en zoutbalans | 118 |
| 4.5.1 | Aanpak van en uitgangspunten voor de toets..... | 118 |
| 4.5.2 | Resulterende verandering van oppervlaktewaterbalans..... | 121 |
| 4.5.3 | Resulterende verandering van zoutbalans | 124 |
| 4.6 | Optimalisatie oplossingenkeuze en totale zoetwaterberging | 130 |
| 4.6.1 | Waterberging door verhoging GVG | 130 |
| 4.6.2 | Waterberging in oppervlaktewater | 136 |
| 4.6.3 | Waterberging door toename zoetwaterlensdikte | 138 |

| | | |
|-------|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.6.4 | Totale zoetwaterberging in casegebied..... | 142 |
| 5 | Handreiking Fresh Water Options Optimization | 144 |
| | Bijlage 1: Voorbeeldanalyse van uitstralingseffecten op grondwater | 150 |
| | Bijlage 2: Afdelingen in casegebied..... | 157 |
| | Bijlage 3: Waterbalansberekeningen per afdeling | 158 |
| | Literatuur..... | 174 |



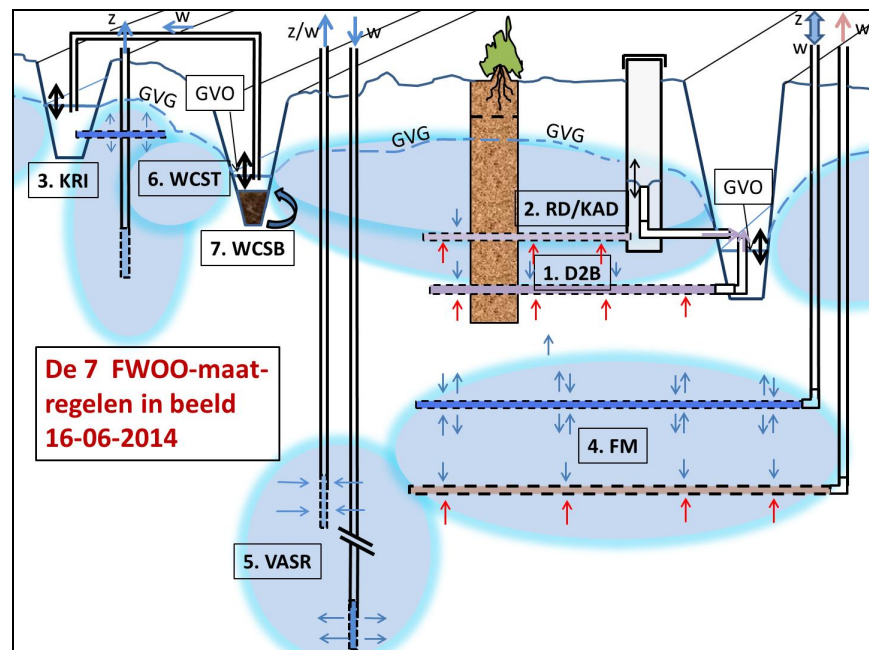
Samenvatting

Verkennen van grootschalige potentie van kleinschalige oplossingen

Binnen Kennis voor Klimaat worden kleinschalige oplossingen ontwikkeld om de zoetwatervoorziening te verbeteren. In deze studie zijn middelen gemaakt waarmee de potentie van dergelijke oplossingen op het schaalniveau van een groter gebied kan worden verkend. Naast dit rapport is een website gemaakt waarop de kaarten en uitgebreide informatie over de oplossingen kunnen worden geraadpleegd: klimaat-effectatlas.wur.nl/fwoo/

Kaarten en een methodiek

Opschalingmogelijkheden zijn op de eerste plaats afhankelijk van de fysische eigenschappen van het water en bodemsysteem. Voor een selectie van oplossingen zijn deze fysische eigenschappen nauwkeurig bepaald. Het gaat om de oplossingen (1) drains2buffer (D2B), (2) regelbare en klimaatadaptieve drainage (RD/KAD), (3) kreekruuginfiltratie (KRI), (4) freshmaker (FM), (5) verticale ASR (VASR), (6) waterconservering door stuwen (WCST) en (7) waterconservering door slootbodemverhoging (WCSB). Onderstaande figuur geeft de werking van deze oplossingen schematisch weer.



Voor de oplossingen zijn landsdekkende kaarten gemaakt die aangeven waar de fysische omstandigheden meer of minder gunstig zijn. Deze 'kansenkaarten'

zijn bruikbaar voor een eerste verkenning van de mogelijkheden om de zoetwatervoorziening in een gebied te vergroten.

Er zijn echter ook andere factoren die de mate van succes bepalen. In aanvulling op de kaarten is daarom in een afwegingssystematiek beschreven welke effecten bij welke oplossingen kunnen worden verwacht, en hoe deze effecten moeten worden beoordeeld bij het selecteren van kansrijke oplossingen. Een op een casegebied uitgevoerde toets dient daartoe als voorbeeld.

Kansenkaarten

De karakteristieken van de ondergrond bepalen in hoge mate de toepasbaarheid van concepten voor ondergrondse waterberging. Daarom bestaat de eerste stap uit het toetsen van de ondergrondkenmerken aan de eisen die het functioneren van de concepten stellen. De uitkomst daarvan is in landsdekkende kansenkaarten verwerkt.

De methodiek is zo eenvoudig en transparant mogelijk gehouden zodat duidelijk valt te herleiden hoe een kaart tot stand is gekomen en deze reproduceerbaar is, bijvoorbeeld wanneer gedetailleerdere basisinformatie beschikbaar komt op een regionaal of lokaal schaalniveau.

Voorbeeld van aanpak kaartvervaardiging: kreekruuginfiltratie

De volgende factoren zijn bepalend voor de geschiktheid van de ondergrond voor kreekruuginfiltratie:

1. Aanwezigheid zandige, hoger gelegen kreekrug of oude geul
2. Ligging in zout gebied
3. Aanwezigheid infiltratie
4. Bodemgeschikt voor infiltratie via drainagebuizen
5. Voldoende diepe grondwaterstand
6. Aanwezigheid van klei- en veenlagen die de lensgroei belemmeren

Elke factor is tot uiting gebracht in een separate kaart die aanduidt waar de fysische omstandigheden wel of niet geschikt zijn. Onderstaande kaart geeft daarvan een voorbeeld voor de factor 'Aanwezigheid infiltratie'.



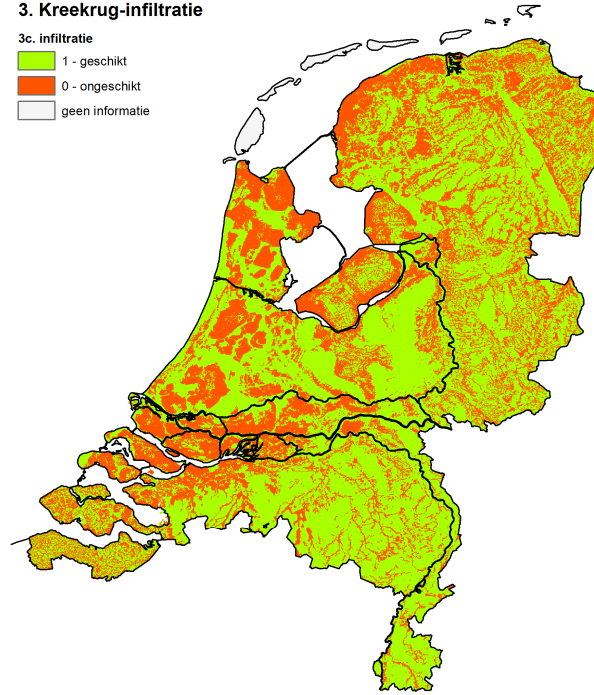
3. Kreekrug-infiltratie

3c. infiltratie

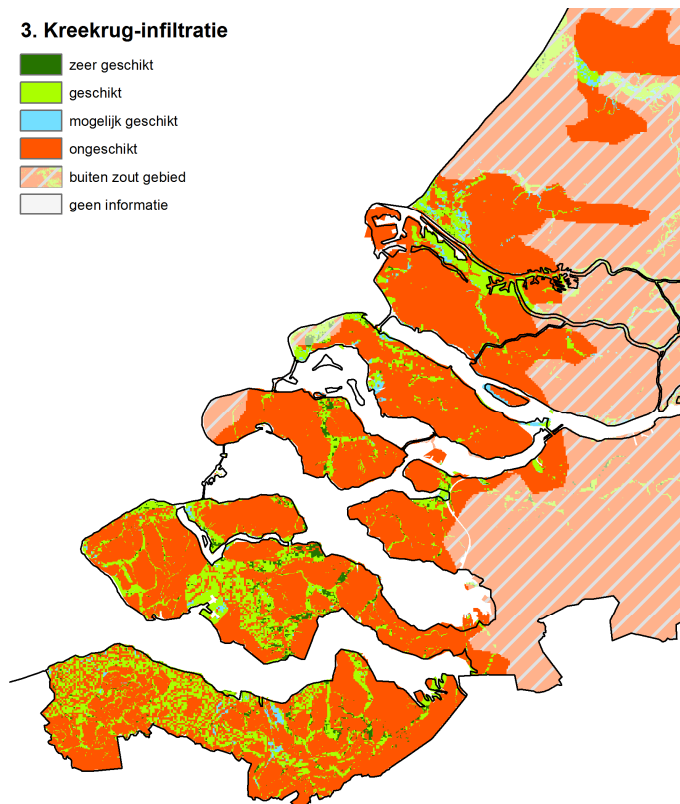
1 - geschikt

0 - ongeschikt

geen informatie



Door vervolgens de zes factoren bij elkaar op te tellen, waarbij de factoren verschillend worden gewogen, ontstaat een totaalbeeld. Navolgende kaart toont dit beeld voor de Zuidwestelijke delta.



Additionele criteria: doelvariabelen en uitstralingseffecten

De toepassing van de oplossingen betekent dat de waterhuishouding wordt aangepast om daarmee de zoetwaterbeschikbaarheid te vergroten. Aanpassingen veranderen 'doelvariabelen'. Dit zijn meetbare of berekenbare hydrologische variabelen: verandering in de grondwaterstand, oppervlaktewaterstand, zoetwatervolume, waterkwaliteit en waterafvoer. Hierbij is het van belang om een onderscheid te maken tussen de winter- en voorjaarsituatie. Per oplossing is bepaald hoe welke variabele wijzigt.

Daarnaast stellen oplossingen ook eisen aan de omgeving. Zo is er voor een aantal oplossingen bijvoorbeeld in een deel van het jaar aanvoer van zoetwater nodig. Een oplossing kan andersom ook de waterhuishouding van de omgeving beïnvloeden.

Resultierend stappenplan

Bij de afweging van de mogelijkheden voor kleinschalige oplossingen kan het volgende stappenplan worden doorlopen (praktische handreikingen voor het uitvoeren van de stappen zijn in het rapport vermeld, in hoofdstuk 5 zijn deze samengevat):

1. Bepaal het huidige en toekomstige zoetwatertekort



2. Bepaal welke oplossingen mogelijk en kansrijk zijn, uitgaande van ondergrond- en watersysteemkarakteristieken. Gebruik daarbij kanskaarten
3. Beoordeel de invloed van oplossingen op het oppervlaktewater
4. Beoordeel welke interactie plaatsvindt met de omgeving en tussen oplossingen onderling.
5. Raam de maximaal mogelijke toename van de zoetwatervoorraad op locatieniveau
6. Bepaal de totale toename van de zoetwaterberging in het gebied waarbinnen oplossingen worden toegepast.

Toetsing van kaarten en methodiek in casegebied

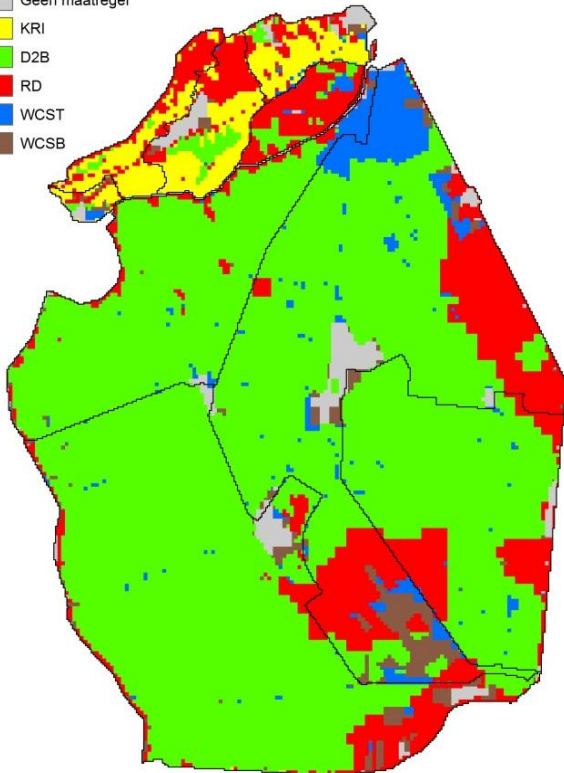
De kaarten en afwegingssystematiek zullen naar verwachting vooral worden toegepast op een regionale schaal, om te verkennen welke oplossingen in een gebied kansrijk zijn en hoeveel water dit oplevert. Daarom zijn zij getoetst voor een hierbij passend casegebied: Wieringen/Wieringermeerpolder, binnen het beheersgebied van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.

Belangrijk is te vermelden dat primair is getoetst op de technische uitvoerbaarheid van de methodiek. Er is daarom gebied gekozen met heterogene ondergrond en watersysteem kenmerken, waarin allerlei kansen en technische beperkingen naar voren komen. Bij de toets is geen rekening gehouden met beleidsmatige en juridische beperkingen of voorschriften die in het gebied gelden. Denk daarbij bijvoorbeeld aan vergunningen, peilbesluiten, grondwaterbeschermingsgebieden en vigerende waterbeheerplannen. Het kan daarom voorkomen dat een gebied in de toets als 'kansrijk' is aangemerkt, terwijl in dat gebied momenteel vanuit beleidswege een verbod of negatief advies geldt. Het is de taak van regionale stakeholders om af te wegen of kans op succesvol toepassen van oplossingen aanleiding vormt voor het aanpassen van beleid en regelgeving. Deze 'governance stap' valt buiten het kader van de in dit rapport gepresenteerde methodiek. De methodiek geeft wel input voor het maken van deze stap.

De aanpak van de toets bestond uit het uitvoeren van de hierboven beschreven stappen, gebruik makend van specifieke informatie en data van de gebiedsbeheerder en praktijkkennis uit het gebied. Een aansprekende uitkomst is de kaart waarop is aangegeven welke oplossingen waar in het casegebied de meeste potentie (kansrijk en hoge wateropbrengst) hebben:

Legenda

- Geen maatregel
- KRI
- D2B
- RD
- WCST
- WCSB



Uit de toets is gebleken dat de landelijke kaarten 'conservatief' kunnen zijn t.a.v. kansen. Na analyse van de lokale situatie en constructie van gedetailleerdere kaarten, kan meer mogelijk blijken dan wat de landelijke kaarten aanduiden.

In de toets is tevens geëxperimenteerd met het gebruik van rekenmodellen (NHI, MODFLOW, SWAP) voor het rammen van effecten op het kwel/infiltratie regime, op de grondwaterstand en op de zoutbalans van het oppervlaktewater. Het is niet strikt noodzakelijk om voor deze ramingen dergelijke modellen in te zetten. Ook door met expertkennis en gebiedskennis de verandering in de doelvariabelen te schatten kan een raming van de zoetwateropbrengst worden gemaakt. Indien modellen beschikbaar zijn is het evenwel zinnig deze te gebruiken. De modeluitkomsten kunnen namelijk ook de ruimtelijke variatie in verandering van doelvariabelen inzichtelijk maken. Dit helpt bij het verkrijgen van nadere kennis over kansen en uitstralingseffecten. In de toets is de ruimtelijke verfijning uitgevoerd op het schaalniveau van de waterbeheer afdelingen/deelgebieden in het casegebied.

Uit de ramingen volgt dat in het casegebied een voorraad zoetwater van circa 16 miljoen m³ kan worden aangelegd. Uitgaande van het totale oppervlak van het casegebied is dit gemiddeld 72 mm. Het neerslagtekort gedurende het groeiseizoen in het casegebied wordt geraamd op 200 mm in een 1/10 droog jaar. Het volledige neerslagtekort kan middels de oplossingen dus niet worden



afgeheven. Anderzijds blijkt uit de waterbalans van de Wieringermeerpolder dat hier in het zomerhalfjaar zo'n 11 miljoen m³ water wordt ingelaten. Dit is minder dan de opbrengst van de beschouwde oplossingen.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Binnen Kennis voor Klimaat worden kleinschalige oplossingen om de zoetwatervoorziening voor de landbouw te verbeteren ontwikkeld. Hiervoor lopen pilotprojecten waarin bijvoorbeeld de drainage wordt geoptimaliseerd om verzilting terug te dringen en worden oplossingen als 'aquifer storage and recovery' (ASR), kreekruuginfiltratie en de freshmaker getest om de bestaande ondergrondse voorraad zoetwater te vergroten. Deze kleinschalige, decentrale oplossingen dragen bij aan een robuustere zoetwatervoorziening van de landbouw.

In dit project is de opschaalbaarheid van dit soort oplossingen naar grotere gebieden beschouwd. Hiermee wordt inzicht gegeven in de potentie van de verschillende technieken om de watervoorziening met lokale oplossingen te verbeteren. Dit sluit bijvoorbeeld aan bij de strategische beslissingen die in het kader van het Deltaprogramma worden genomen, en waarbij in Nederlandse regio's wordt ingezet op meer zelfvoorzienendheid of het stabiliseren van de vraag van de regio (Deltaprogramma Zoetwater, 2013).

1.2 Identificeren van kansen en opschalen

De opschalingmogelijkheden zijn op de eerste plaats afhankelijk van de fysische eigenschappen van de ondergrond die noodzakelijk zijn om de oplossingen te kunnen implementeren. Voor een selectie van oplossingen zijn deze fysische eigenschappen nauwkeurig bepaald. Deze vereisten zijn vervolgens vertaald naar criteria die kunnen worden toegepast op landelijk beschikbare informatie. Hiermee zijn kaarten voor heel Nederland gemaakt die aangeven waar verschillende oplossingen kunnen worden toegepast: kansenkaarten. De kaarten zijn bruikbaar voor een eerste verkenning van potentieel kansrijke mogelijkheden om de zoetwatervoorziening in een gebied te vergroten.

Voor het maken van de kaarten zijn zeven oplossingen geselecteerd die worden getest binnen het Kennis voor Klimaatprogramma (GO-FRESH en CARE). Deze oplossingen zijn (1) drains2buffer, (2) regelbare drainage, (3) kreekruuginfiltratie, (4) freshmaker, (5) verticale ASR, (6) waterconservering door stuwen en (7) waterconservering door slootbodempverhoging. Maar ook voor andere kleinschalige oplossingen kunnen in principe vergelijkbare kaarten worden gemaakt.

Om tot een keuze te komen voor toepassing van deze oplossingen is alleen de fysische geschiktheid niet voldoende. Zeker wanneer veel van deze kleinschalige oplossingen worden toegepast zal het belangrijk zijn om zogenaamde uitstralingseffecten van de oplossingen mee te nemen in de selectie en de plan-



ning. Het implementeren van kleinschalige oplossingen kan namelijk leiden tot veranderingen in het grondwater en het oppervlaktewater. Vanwege het uitstralingseffect kunnen oplossingen elkaar versterken of verzwakken, en daardoor kunnen kansen worden gemist of kan worden voorkomen dat ongewenste bijeffecten in een later stadium tot beperkingen in de zoetwateroptimalisatie leiden.

In aanvulling op de kaarten met de fysische geschiktheid is in deze studie daarom een methodiek ontwikkeld waarmee in beeld kan worden gebracht op welke wijze de oplossingen niet alleen het watersysteem op de toepassingslocatie, maar ook in de omgeving beïnvloeden. De factoren die bepalend zijn voor deze uitstraling zijn, net als voor de kansenkaarten, vertaald in criteria en rekenregels die kunnen worden gebruikt met landelijk of regionaal beschikbare informatie.

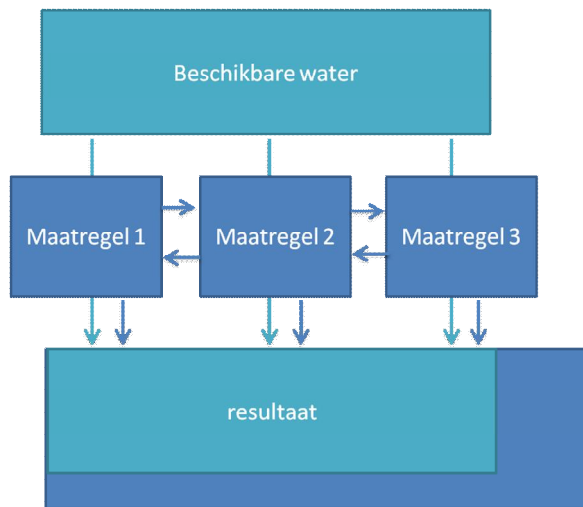
1.3 Toepassingsmogelijkheden

De combinatie van de in deze studie ontwikkelde geschiktheidskaarten en methodiek om de uitstralingseffecten naar de omgeving te bepalen, legt de basis voor een afwegingskader voor de implementatie van de kleinschalige oplossingen.

De methodiek sluit aan op, en maakt gebruik van het bestaande instrumentarium, zoals het NHI, en zorgt voor een aanvulling op bestaande afwegingsinstrumenten als de €ureyeopener en de Blokkendoos Zoetwatervoorziening.

De informatie die in deze studie is ontwikkeld kan worden toegepast in gebiedsprocessen, waarbij het zorgt voor onderbouwing van verschillende oplossingsrichtingen. Dit is onder meer interessant voor de waterschappen, die mede een afweging zullen moeten maken tussen de oplossingen waarop wordt ingezet, en die bijvoorbeeld door middel van vergunning- of subsidieverlening voor de oplossingen sturend kunnen zijn in de implementatie van oplossingen.

Voor agrariërs biedt deze aanpak inspiratie over de mogelijke oplossingen waar in een bepaalde regio aan gedacht kan worden. Er moet vervolgens nog wel een **analyse van de precieze mogelijkheden op perceelniveau** worden uitgevoerd, aangezien de landelijke gegevens te grof zijn om op het schaalniveau van een perceel voldoende nauwkeurige uitspraken te doen. Er blijkt dan wellicht meer mogelijk dan wat de landelijke kaarten aanduiden.



Figuur 1 Schematische weergave van hoe kleinschalige oplossingen kunnen worden ingezet om met het beperkt beschikbare zoetwater het resultaat te vergroten. Hiervoor is een selectie van de oplossingen op basis van de fysieke geschiktheid, en inzicht in de interactie van de verschillende oplossingen nodig.

1.4 Leeswijzer

Dit document bevat zowel de rapportage van de studie die is uitgevoerd naar bruikbare kanskaarten (hoofdstuk 2), de totstandkoming van een afwegingsmethodiek (hoofdstuk 3) en praktijktoets daarvan (hoofdstuk 4), als een instructie voor het reproduceren van geschiktheidskaarten en het toepassen van de ontwikkelde methodiek. Deze instructie is gegoten in de vorm van een stapsgewijze, samenvattende Handreiking Fresh Water Options Optimization (hoofdstuk 5). Voor een 'snelle, koude start' kan begonnen worden met het doornemen van deze handreiking.

In het rapport worden verschillende kentallen geïntroduceerd en gebruikt in voorbeeldberekeningen. Deze kentallen zijn afkomstig uit achtergrondonderzoek, zijn aangereikt door experts die zich bezig houden met de verschillende typen oplossingen, of zijn de uitkomsten van overleggen tussen experts op het gebied van ondergrond, hydrologie en landbouwtechniek.



2 Kansenkaarten geschiktheid ondergrond voor oplossingen

De karakteristieken van de ondergrond bepalen in hoge mate de toepasbaarheid van concepten voor ondergrondse waterberging. Daarom bestaat de eerste stap uit het toetsen van de ondergrondkenmerken aan de eisen die het functioneren van de concepten stellen. De uitkomst daarvan is in landsdekkende 'kansenkaarten' (of 'geschiktheidskaarten') verwerkt.

Er zijn zeven lokale maatregelen in deze studie beschouwd:

1. drains2buffer
2. regelbare drainage en klimaatadaptieve drainage
3. kreekruuginfiltratie
4. freshmaker
5. verticale ASR
6. waterconservering door stuwen
7. waterconservering door slootboderverhoging.

Voor elke oplossing is op basis van uitkomsten van proefopstellingen en in overleg met specialisten die met deze oplossing werken, vastgesteld welke ondergrondkenmerken bepalend zijn voor het succes van de oplossing. Vervolgens is gezocht naar de meest nauwkeurige informatiebronnen met een landelijke dekking die bruikbaar zijn om de succesfactoren uit te karteren.

De aanpak van de kartering is zo eenvoudig mogelijk gehouden, zodat duidelijk valt te herleiden hoe de kaarten tot stand zijn gekomen en ze reproduceerbaar zijn. De rapportage beschrijft daarom ook de afwegingen en keuzes die bij de totstandkoming van de aanpak moesten worden gemaakt.

Er dient te worden opgemerkt dat de resulterende kaarten een globaal beeld geven van de fysische geschiktheid op basis van landsdekkende informatie en zo dienen ze dan ook te worden geïnterpreteerd en gebruikt. Op lokale schaal is vaak nauwkeuriger informatie beschikbaar op basis waarvan de fysische geschiktheid beter kan worden bepaald én waarbij meerdere relevante factoren kunnen worden meegenomen. De kaarten kunnen dan, gebruik makend van de

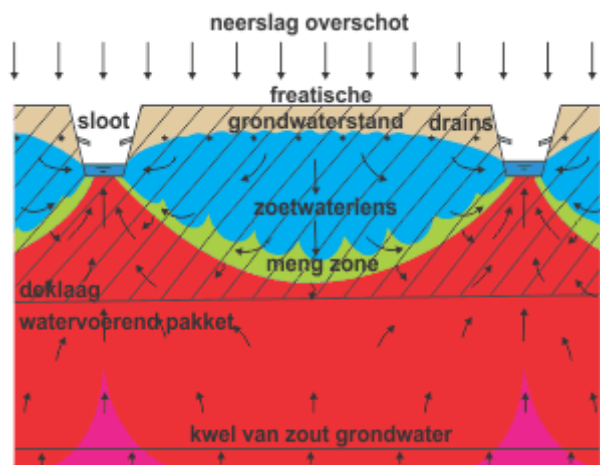
nauwkeuriger informatie, met de hier gepresenteerde werkwijze worden gereproduceerd.

In de navolgende paragrafen wordt per oplossing beschreven hoe de daarvoor geldende kanskaart is vervaardigd.

2.1 Drains2buffer

Beschrijving oplossing

De werking van drains2buffer is afgestemd op gebieden met dunne regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden. In een deel van de zoute kwelgebieden (zuidwestelijke delta en het noordelijk kustgebied) zijn de regenwaterlenzen direct onder het maaiveld nu al zo dun dat via capillaire opstijging zout in de wortelzone kan komen. De regenwaterlenzen zijn daarom erg kwetsbaar voor drogere klimaatomstandigheden. Om die kwetsbaarheid te verminderen worden bij drains2buffer dieper gelegen, regelbare drains aangelegd. Deze voeren zout grondwater af, wat ruimte creëert voor berging van regenwater en groei van de zoete regenwaterlens. De kans op het doordringen van zout naar de wortelzone neemt hierdoor af. De oplossing wordt momenteel getest op Schouwen-Duiveland (project Go-Fresh).



Figuur 2 Schematische weergave werking Drains2buffer

Geschiktheidsfactoren en informatiebronnen

De volgende 3 factoren zijn van belang bij het bepalen van de geschiktheid van de ondergrond voor drains2buffer op een landelijk schaalniveau.



Factor A: diepte brak-zout grensvlak (Cl = 1000 mg/l) ondieper dan 5 m beneden maaiveld.

Informatiebron: brak-zout grensvlak van TNO, <http://www2.dinoloket.nl/nl/DINOMap.html> (raster 250x250 m)

Factor B: optreden van kwel.

Informatiebron: GIS-bestand gemiddelde kwel-infiltratie flux van NHI (raster 250x250 m)

Factor C: geschiktheid voor diepere regelbare drainage.

Informatiebron: GIS-bestand geschiktheidskaart samengestelde regelbare (klimaat adaptieve) drainage van Future Water (raster 250x250 m)

De combinatie van factor A en B bepaalt het voorkomen van dunne regenwaterlenzen. Onderzoek heeft aangetoond dat zoute kwel de dikte van regenwaterlenzen beperkt tot 1-3 meter en vaak is zelfs zoet grondwater afwezig (De Louw, 2013). De landelijke informatie over de diepte van het brak-zout grensvlak is niet nauwkeurig genoeg om hieruit direct de dikte van de regenwaterlens te bepalen, vandaar dat de combinatie met het voorkomen van kwel wordt gebruikt. Een permanente kwelstroom vanuit het eerste watervoerende pakket in de deklaag, ongeacht de flux, is de belangrijkste oorzaak voor het ontstaan van dunne regenwaterlenzen. Het voorkomen van deze dunne lenzen beperkt zich dan namelijk tot de deklaag van slechtdoorlatende kleiige, en veenige afzettingen. De grootte van de kwelflux bepaalt daarna in samenhang met drainagediepte en neerslag- en verdamping dynamiek de verdere karakteristieken (dikte en diepte mix-zone tussen regenwater en zout kwelwater) van deze dunne regenwaterlenzen.

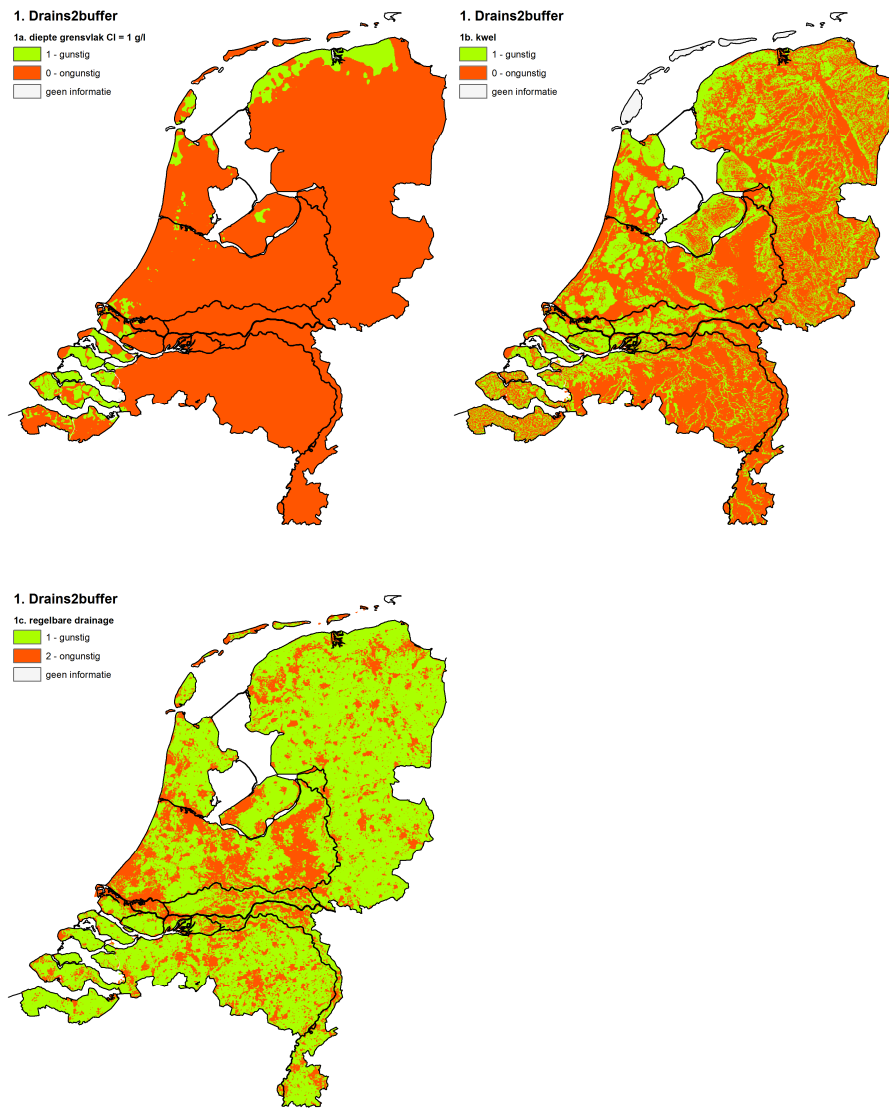
FutureWater heeft recentelijk een landelijke geschiktheidskaart opgesteld voor samengestelde regelbare (en klimaat adaptieve) drainage die over het algemeen dieper ligt dan conventionele drainage. Voor drains2buffer wordt een gelijksoortig drainagesysteem toegepast en daarom is voor factor C de geschiktheidskaart van FutureWater gebruikt (Van Bakel et al., 2013).

Score en weging van factoren

De score toekenning voor de individuele factoren en de geschiktheidsbepaling voor drains2buffer is in de onderstaande tabellen samengevat. De scores worden naar kaartbeelden vertaald door de legenda's van de informatiebronnen opnieuw te classificeren.

| | Criteria | Score | Criteria | Score |
|----------|---------------------------------|-------|---------------------------------|-------|
| Factor A | Grensvlak Cl = 1 g/l < 5 m - mv | 1 | Grensvlak Cl = 1 g/l > 5 m - mv | 0 |
| Factor B | Kwel | 1 | Infiltratie | 0 |
| Factor C | Geschikt voor RD | 1 | Niet geschikt voor RD | 0 |

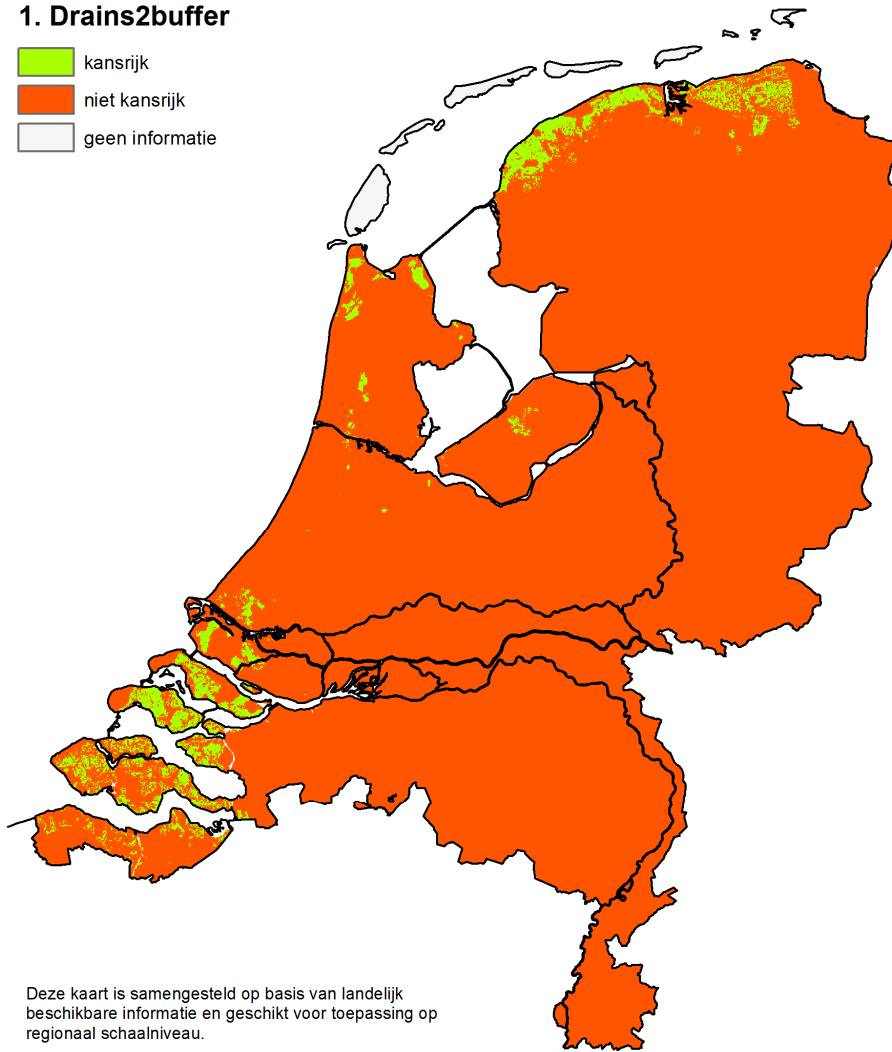
| Geschiktheid drains2buffer | Score |
|----------------------------|---------------|
| kansrijk | A + B + C = 3 |
| niet kansrijk | A + B + C < 3 |



Figuur 3 De score van de verschillende fysische factoren die de geschiktheid voor de oplossing Drains2buffer bepalen.

1. Drains2buffer

-  kansrijk
-  niet kansrijk
-  geen informatie



Deze kaart is samengesteld op basis van landelijk beschikbare informatie en geschikt voor toepassing op regionaal schaalniveau.

Figuur 4 Kansen voor Drains2buffer, uitgaande van de geschiktheid van de ondergrond.



2.2 Regelbare drainage en klimaatadaptieve drainage

Beschrijving oplossing

Regelbare drainage (RD) is uitgerust met een technische voorziening waarmee de grondwaterstand in een gedraineerd perceel - binnen een bepaald bereik - op elk gewenst niveau kan worden ingesteld, dus ook boven de uitstroomopeningen van de drains in de sloot. Als de ingestelde hoogte samenvalt met het gemiddelde maaiveld is de drainage in feite uitgeschakeld. Als de hoogte beneden het niveau van de drains wordt ingesteld, ontstaat een conventioneel werkend drainagesysteem. In het regelbereik tussen deze twee uitersten zal de drainage alleen water afvoeren als het grondwaterniveau boven de ingestelde hoogte van een stuwte in een perceelsloot of een stelpijp in een regelput uitkomt.). Wanneer op een droge periode moet worden geanticipeerd kan de ontwateringsbasis (tijdelijk) worden verhoogd om zoveel mogelijk water vast te houden. Wanneer onder droge omstandigheden zoet water van elders kan worden aangevoerd, kan een regelbaar drainagesysteem worden gebruikt om dit water ondergronds, via de drains, naar de wortelzone te brengen en hogere grondwaterstanden te realiseren. Wanneer de drainagebasis traploos en op afstand kan worden geregeld en daardoor snel kan worden geanticipeerd op weersveranderingen, wordt gesproken van KlimaatAdaptieve Drainage (KAD). Meer informatie: <http://www.stowa.nl/upload/publicaties/2012-33lowres.pdf>

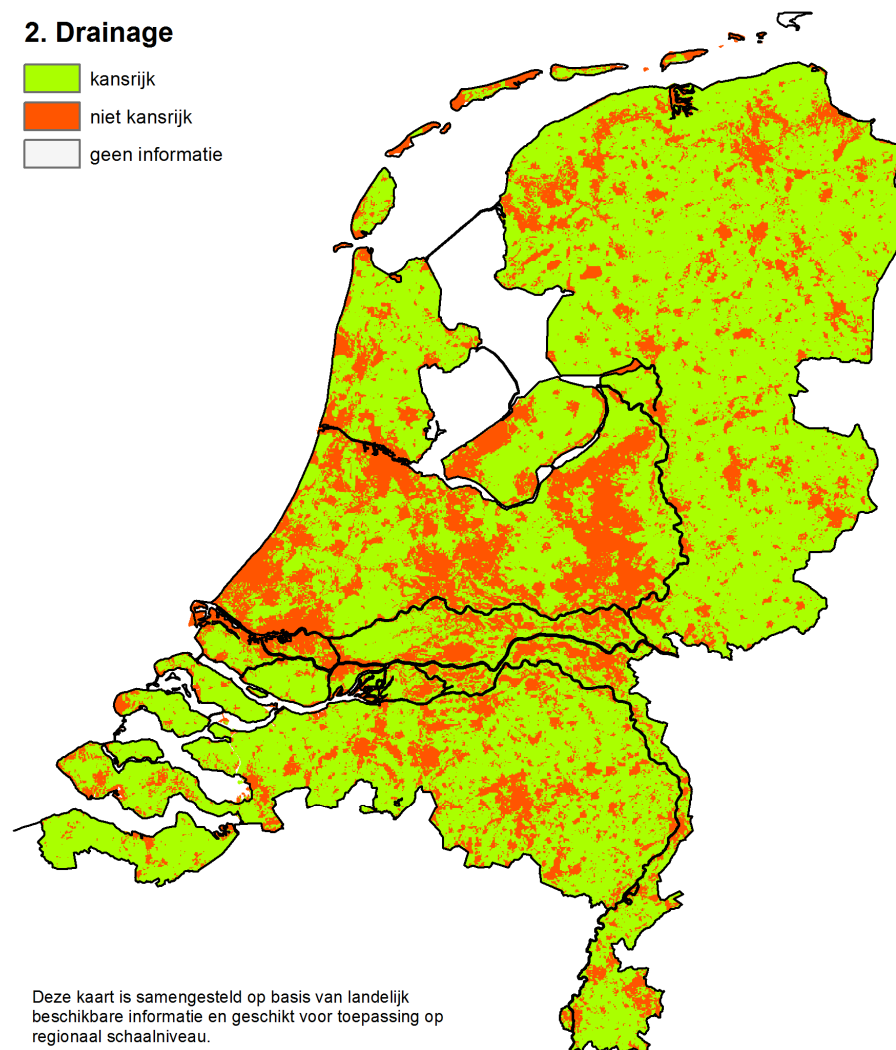
Geschiktheidsfactoren

De factoren die van belang zijn voor de geschiktheid van samengestelde regelbare drainage (en KAD) zijn:

- Doorlatendheid van de bodem op de diepte van de drainbuizen
- Aanwezigheid van keileem in het ondiepe bodemprofiel (keileem is slecht doorlatend en daarom ongunstig voor drainage)
- Aanwezigheid van ijzer in het bodemprofiel of in kwelwater (aanwezigheid van ijzer kan leiden tot verstopping van drainagebuizen)
- Hydrologische situatie ter plekke: kwel vanuit of wegzijging naar regionale grondwatersysteem (de effectiviteit van RD neemt af met een grotere wegzijging)
- Drooglegging van het perceel i.c. de ontwateringsbasis in de directe buurt van het perceel.

Weging van factoren

Future Water heeft in 2013 een nationale geschiktheidskaart gemaakt voor (samengestelde) regelbare drainage (incl. KAD); deze kaart is voor dit FWOO-project overgenomen. Uitgebreide informatie over de totstandkoming van de kaart wordt gegeven in Van Bakel et al., 2013 (http://www.futurewater.nl/wp-content/uploads/2013/04/KAD_WP3_landelijke_geschiktheid_20130207.pdf).



Figuur 5 Kansen voor Regelbare Drainage, uitgaande van de geschiktheid van de ondergrond.



2.3 Kreekruginfiltratie

Beschrijving oplossing

Deze oplossing is er op gericht om door actieve infiltratie via drains van beschikbaar zoetwater de grondwaterstand te verhogen in hoger gelegen zandlichamen (kreekruggen of oude zandgeulen) en daarmee de zoetwaterlens te vergroten volgens het Badon Ghyben-Herzberg (BGH) principe.



Figuur 6 Schematische weergave kreekruuginfiltratie

De mogelijkheden van deze oplossing worden in het veld met een pilot op Walcheren (Go-Fresh project). Volgens het BGH-principe leidt een verhoging van de grondwaterstand tot een dikkere zoetwaterlens. Onder ideale omstandigheden (o.a. homogeen watervoerend pakket, zoetwaterlens in zeewater, stationaire situatie) zal volgens het BGH-principe de dikte van de zoetwaterlens toenemen met 40 maal de gerealiseerde grondwaterstandsverhoging. Dit zal echter nooit worden bereikt omdat (1) ideale omstandigheden zich niet voordoen, (2) de grondwaterstandsverhoging niet jaarrond kan worden gehandhaafd en (3) de zoetwaterlens in de zomer zal worden geëxploiteerd.

De grondwaterstand kan ook worden verhoogd door gebruik te maken van de neerslag die op het perceel valt door de drainagebasis van drains en/of sloten te verhogen. De groei van de lens zal dan echter veel trager gaan. Tevens is de exploitatie van de lens dan vermoedelijk niet duurzaam.

Geschiktheidsfactoren en informatiebronnen

De volgende 5 factoren zijn bruikbaar voor het bepalen de geschiktheid van de ondergrond voor kreekrug-infiltratie op landelijke schaal.

Factor A: aanwezigheid zandige, hoger gelegen kreekrug of oude geul

De ligging van oude (zandige) krekken en geulen is in kaart gebracht voor het huidige Geotop-gebied dat de westelijke provincies Noord- en Zuid Holland en Zeeland en het riviergebied beslaat. Voor het overige gebied (o.a. Friesland, Groningen, Flevoland) is deze informatie niet beschikbaar. Bron: Geotop.

Factor B: ligging in zout gebied

Op basis van het brak-zout grensvlak van TNO (DinoLoket) is een gebied omlijnd waarbij het grensvlak ondieper ligt dan 25 m diepte. Dit gebied wordt aangeduid als het zoute gebied.

Factor C: het voorkomen van infiltratie

Informatiebron: GIS-bestand gemiddelde kwel-infiltratie flux van NHI (raster 250x250 m)

Factor D: bodem geschikt voor infiltratie via drainagebuizen

Informatiebron: GIS-bestand geschiktheidskaart samengestelde regelbare (klimaat adaptieve) drainage van Future Water (raster 250x250 m)

Factor E: voldoende diepe grondwaterstand

Informatiebron: GIS-bestand GHG uit NHI (raster 250x250 m)

Factor F: het voorkomen van klei- en veenlagen die de lensgroei belemmeren

Informatiebron: GIS-bestand NL-3D (Dino): voor de bovenste 15 m is voor elke meter bekend wat de lithologie is. Voor het traject 15 tot 20 m diepte is REGIS gebruikt.

De kaart met oude zandige krekken en geulen (factor A) geeft niet aan of de zandrug hoger ligt dan zijn omgeving, wat een belangrijke factor is voor de geschiktheid voor infiltratie. Om dit gemis in te vullen wordt gekeken naar de



aanwezigheid van infiltratie, omdat het optreden van infiltratie wijst op een zandrug die hoger ligt dan zijn omgeving.

Kreekruggen en oude zandgeulen jonger dan 2500 jaar zijn geselecteerd met als reden dat oudere kreekruggen veelal bedekt zijn met jongere sedimenten. Voor de groei van de lens volgens het BGH-principe is dit essentieel. Beide condities moeten aanwezig zijn, anders wordt het gebied als ongeschikt aangegeven.

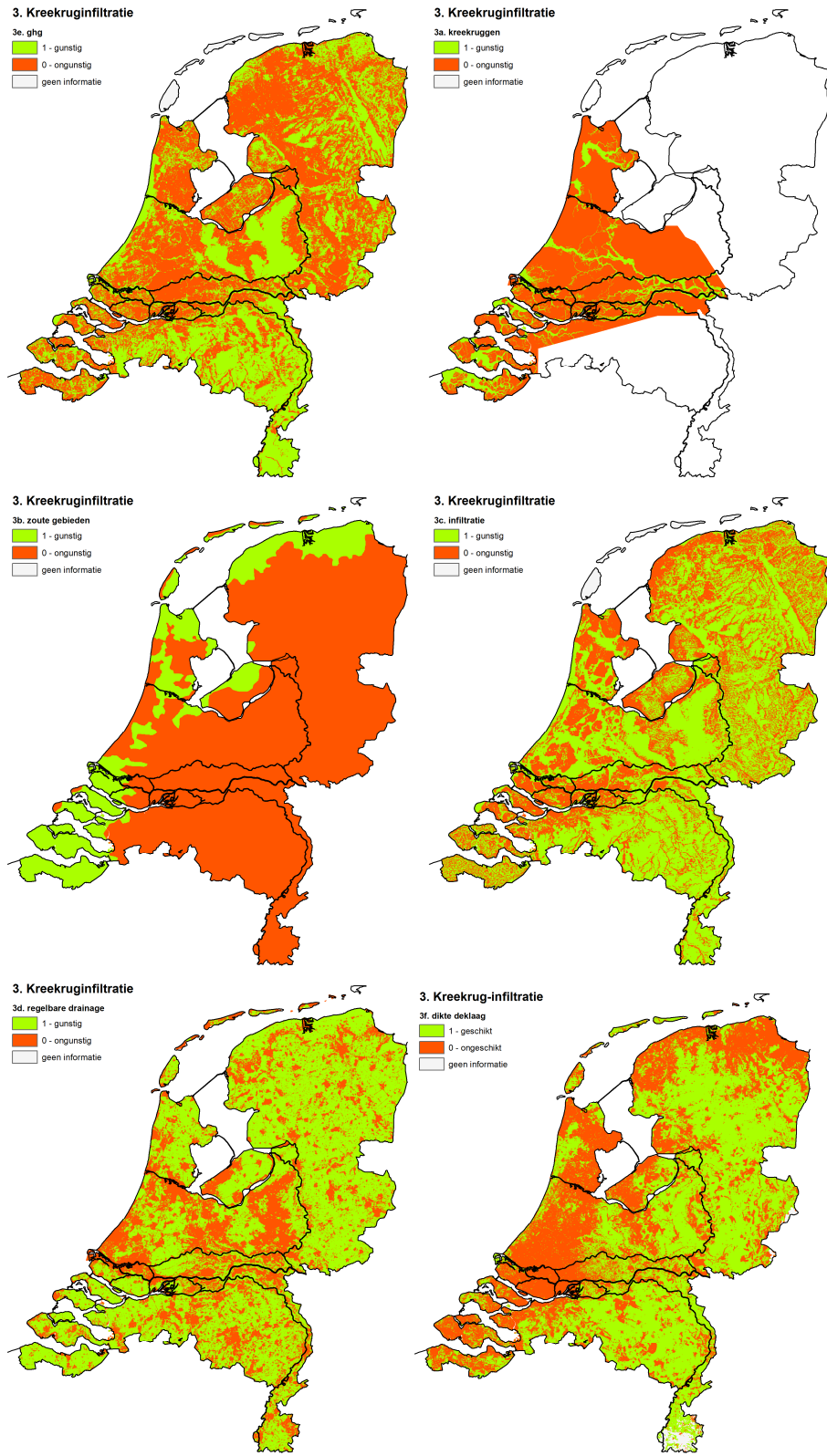
Factor B geeft aan of de kreekrug in een zout gebied ligt. Deze factor wordt niet als bepalende factor meegenomen maar als masker (gearceerd) zodat de geschiktheid voor kreekrug-infiltratie ook buiten het zoute gebied kan worden bekeken. Hoewel de oplossingen in principe in allerlei zandige bodemtypen kan worden toegepast, is het vergroten van een zoetwaterlens primair bedoeld als oplossing in gebieden met zout grondwater.

Factor D bepaalt in hoeverre de bodem geschikt is voor de actieve infiltratie van zoetwater via infiltratiedrains. Infiltratiedrains zullen over het algemeen dieper worden geplaatst dan traditionele drainage en voor factor D is daarom de geschiktheidskaart voor diepere regelbare drainage gebruikt.

Factor E bepaalt hoeveel de grondwaterstand nog kan stijgen. Hoe meer de grondwaterstand stijgt, hoe dikker de zoetwaterlens kan worden.

Het voorkomen van klei- en veenlagen beperkt de groei van de lens (factor F). In eerste instantie werd de conditie opgelegd dat er geen enkele slecht doorlatende laag aanwezig mocht zijn. Echter, met de gegevens op landelijk schaalniveau bleek bijna geen enkel gebied aan deze voorwaarde te voldoen en daarom is deze factor iets versoepeld. Het schaalniveau waarop de gebruikte informatie (NL-3D Dino) beschikbaar is, is hier een belangrijke oorzaak voor. Kreekruggen hebben vaak een afwijkende lithologische opbouw dan hun directe omgeving, ze zijn vaak zandiger ontwikkeld. Zeker bij de kleine kreekruggen is deze lokale ruimtelijke variatie door het schaalniveau niet beschikbaar in het NL-3D bestand. Echter, voor het gekarteerde Geotop-gebied is wel veel gedetailleerdere informatie van de ondiepe ondergrond beschikbaar waarbij de ruimtelijke variatie veel beter is meegenomen. Zo kan voor kreekruggen beter worden bepaald of bepaalde kleilagen wel of niet binnen 20 m diepte voorkomen. Het Geotop bestand is nog niet landsdekkend. In deze studie is daarom nog gewerkt met NL-3D.

Een belangrijke randvoorwaarde voor deze oplossing is de beschikbaarheid van zoetwater voor infiltratie. Dit is echter niet een aan de ondergrond gerelateerde factor. De beschikbaarheid van zoetwater komt als additionele afwegingsfactor terug in de methodiek (hoofdstuk 3). In onderstaande kaarten worden de scores weergegeven voor de 6 fysische factoren.



Figuur 7 De score van de verschillende fysieke factoren die de geschiktheid voor de oplossing Kreekrug-infiltratie bepalen.



Score geschiktheidskaart

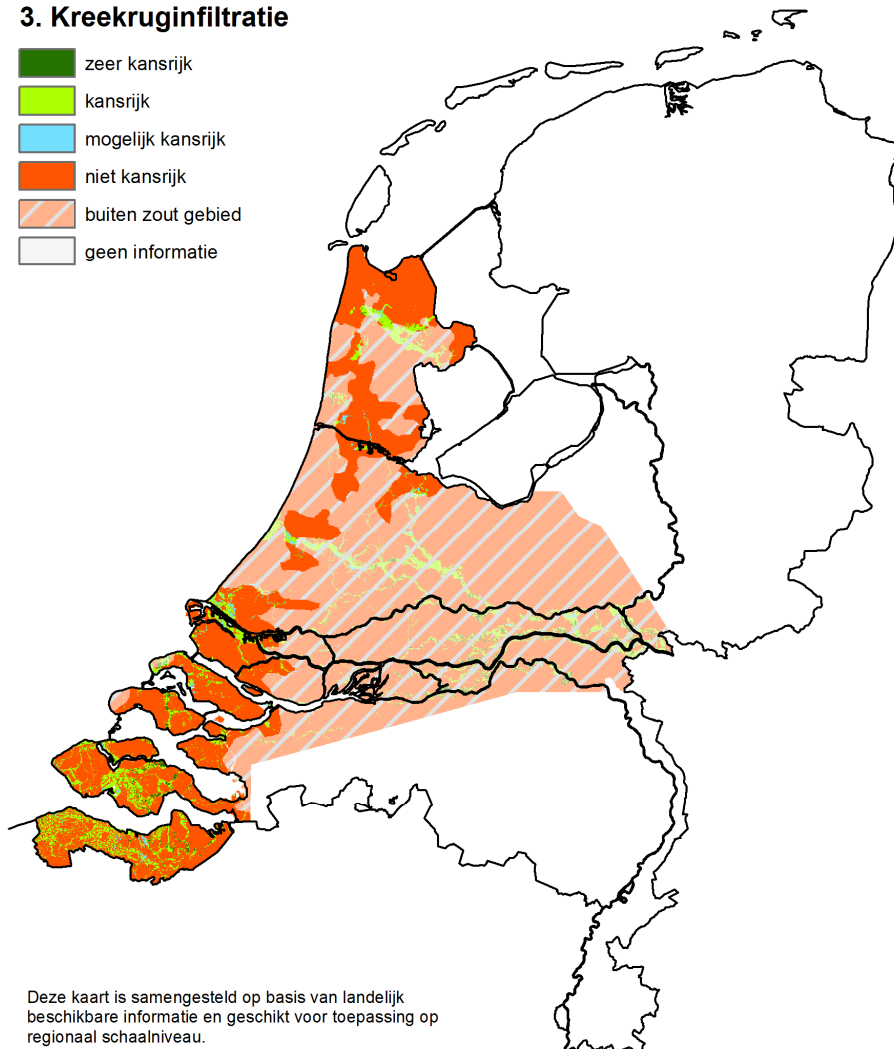
De score toekenning voor de individuele factoren en de geschiktheidsbepaling voor kreekruuginfiltratie is in de onderstaande tabellen samengevat.

| | Criteria | Score | Criteria | Score |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------|------------|
| Factor A | kreekrug, zandbaan | 1 | geen kreekrug, zandbaan | 0 |
| Factor B | Zout gebied | 1 via mask | Geen zout gebied | 0 via mask |
| Factor C | infiltratie | 1 | kwel | 0 |
| Factor D | Bodem geschikt voor infiltratie | 1 | Bodem niet geschikt voor infiltratie | 0 |
| Factor E | GHG > 0.85 m-mv | 1 | GHG < 0.85 m-mv | 0 |
| Factor F | Cum. dikte klei/veenlagen traject 2-15 m diepte ≤ 2.0 m en cum dikte traject 15-20 m diepte ≤ 1 m. | 1 | overig | 0 |

| Geschiktheid kreekruuginfiltratie | Score |
|-----------------------------------|------------------------------------------|
| zeer kansrijk | Als A = 1 en C = 1 en D + E + F = 3 |
| kansrijk | Als A = 1 en C = 1 en D + E + F = 1 of 2 |
| mogelijk kansrijk | Als A = 1 en C = 1 en D + E + F = 0 |
| niet kansrijk | Als A = 0 of C = 0 |

3. Kreekruginfiltratie

-  zeer kansrijk
-  kansrijk
-  mogelijk kansrijk
-  niet kansrijk
-  buiten zout gebied
-  geen informatie



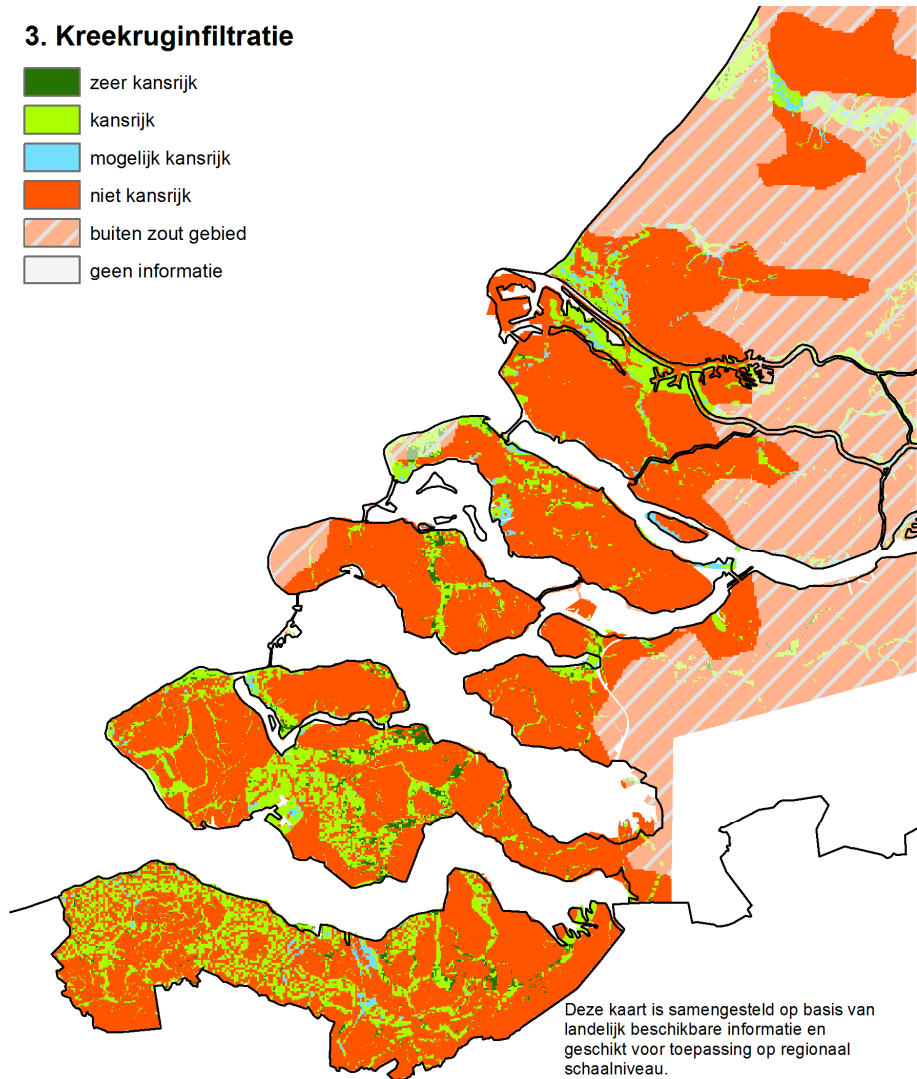
Deze kaart is samengesteld op basis van landelijk beschikbare informatie en geschikt voor toepassing op regionaal schaalniveau.

Figuur 8 Kansen voor Kreekrug-infiltratie, uitgaande van de geschiktheid van de ondergrond. Voor Friesland, Groningen en Flevoland is de ligging van zandige geulen / kreekruggen niet bekend.



3. Kreekruginfiltratie

-  zeer kansrijk
-  kansrijk
-  mogelijk kansrijk
-  niet kansrijk
-  buiten zout gebied
-  geen informatie



Figuur 9 Kansen voor Kreekruginfiltratie, uitgaande van de geschiktheid van de ondergrond. Zuidwestelijke Delta.



Deze factor wordt niet afzonderlijk bepaald maar volgt al uit factor C.

Factor B: dikte van de deklaag.

GIS-bestand: cumulatieve dikte van Holocene klei en veenlagen uit DINO.

Factor C: het voorkomen van klei- en veenlagen in het Freshmaker traject (5 tot 20 m-mv)

Informatiebron: GIS-bestand NL-3D (Dino): voor het traject 5 tot 15 m-mv is voor elke meter bekend wat de lithologie is. Voor het traject 15 tot 20 m diepte is REGIS gebruikt.

Factor D: kleilaag in traject 20-40 m-mv.

Informatiebron: GIS-bestand uit Regis.

Factor E: Aanwezigheid zoetwaterlens van 3 tot 15 m dikte

Informatiebron: GIS-bestand gemiddelde kwel-infiltratie flux van NHI (raster 250x250 m)

Factor F: horizontale stroomsnelheid van belang voor afdrijving van zoetwaterlens.

Informatiebron: GIS-bestand uit Nationaal Hydrologisch Instrumentarium; de gemiddelde horizontale flux van het eerste watervoerende pakket. Deze is omgerekend naar gemiddelde stroomsnelheid.

Factor G: ligging in zoutgebied

Op basis van brak-zout grensvlak van TNO (DinoLoket) is globaal een gebied omliggend waarbij het grensvlak ondieper ligt dan 25 m diepte. Dit gebied wordt aangeduid als het zoute gebied.

Het bereik tussen de diepe put (max. 20 m-mv) en ondiepe put moet groot genoeg zijn. De ondiepe put mag niet dieper liggen dan 5 tot 10 m-mv. De deklaag moet liefst dunner zijn dan 5m (factor B) omdat infiltreren in de deklaag niet goed verloopt.

Het voorkomen van klei- en veenlagen beperkt de groei van de lens (factor C). In eerste instantie werd de conditie opgelegd dat er geen enkele slecht doorlatende laag aanwezig mocht zijn. Echter, met de gegevens op landelijk schaalni-

veau bleek geen enkel gebied aan deze voorwaarde te voldoen. Daarom is de grens gelegd bij een cumulatieve dikte van 2,0 m tussen 5 en 15 m-mv (NL3D) en 1,0 m tussen 15 en 20 m-mv (REGIS). Als aan deze factor wordt voldaan dan is de ondergrond in het freshmaker-traject geschikt als opslagmedium (factor A).

De aanwezigheid van een significante kleilaag onder de diepe HDDW is gunstig omdat deze opkegeling van dieper, zouter water belemmert waardoor een lager onttrekkingsdebiet kan worden gehandhaafd voor de diepe HDDW (Factor D).

De aanwezigheid van een zoetwaterlens is niet noodzakelijk maar wel zeer gunstig voor de Freshmaker omdat de natuurlijke situatie dan alleen nog maar versterkt dient te worden. Dikkere zoetwaterlenzen dan 3 m komen in het zoute gebied alleen voor in de infiltratiegebieden. Daarom is voor deze factor (factor E) het voorkomen van infiltratie gebruikt.

Een te grote horizontale stroomsnelheid leidt tot afdrijving van het zoete grondwater. De kritieke horizontale snelheid is mede afhankelijk van de lengte van de HDDW-put, namelijk hoe langer de ondiepe HDDW-put (in richting van de stroomsnelheid), hoe groter de horizontale stroming mag zijn (Factor F). Bij de verticale ASR wordt een lagere kritieke stroomsnelheid gehanteerd omdat de horizontale afdrijving veel sneller tot een grotere afstand van de onttrekkingsput leidt dan bij de horizontale HDDW-putten.

De Freshmaker is bedoeld voor de berging van zoetwater in gebieden met zout grondwater omdat de Freshmaker voorkomt dat de zoetwaterbel opdrijft door de opwaartse kracht van het zoute omgevingswater (Factor G). In zoete gebieden kan worden volstaan met normale ASR (zonder onttrekking dieper zoutwater).

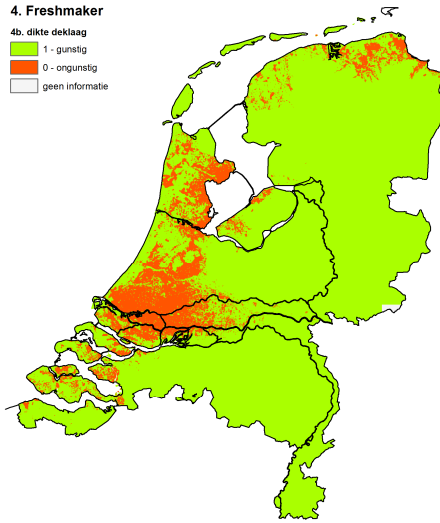
Een belangrijke randvoorwaarde voor deze oplossing is de beschikbaarheid van zoetwater voor infiltratie. Dit is echter niet een aan de ondergrond gerelateerde factor. De beschikbaarheid van zoetwater komt als additionele afwegingsfactor terug in de methodiek (hoofdstuk 3).

In onderstaande kaarten staan voor de 6 fysische factoren de scores weergegeven.



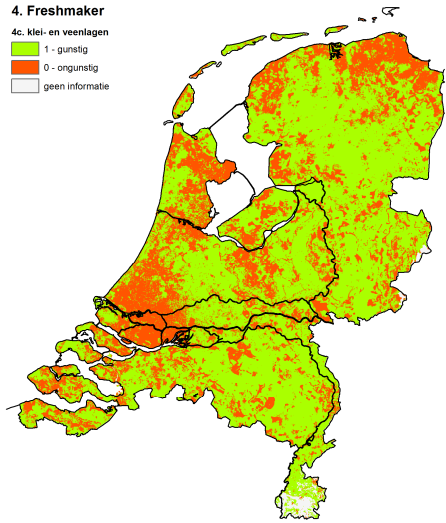
4. Freshmaker

4b. dikte deklaag
1 - gunstig
0 - ongunstig
geen informatie



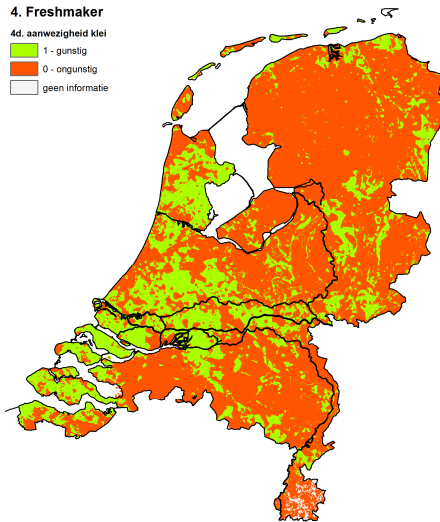
4. Freshmaker

4c. klei- en veenlagen
1 - gunstig
0 - ongunstig
geen informatie



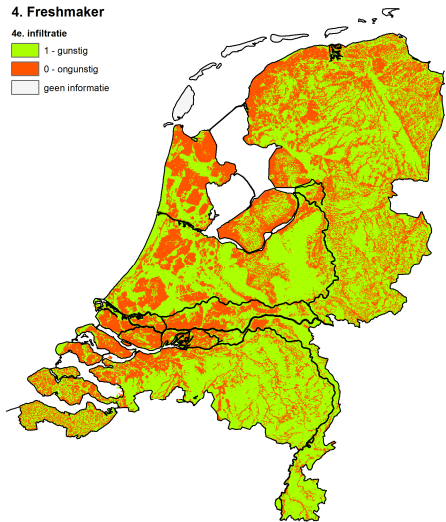
4. Freshmaker

4d. aanwezigheid klei
1 - gunstig
0 - ongunstig
geen informatie



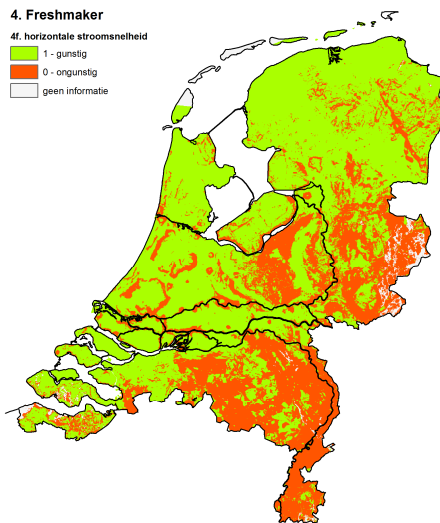
4. Freshmaker

4e. infiltratie
1 - gunstig
0 - ongunstig
geen informatie



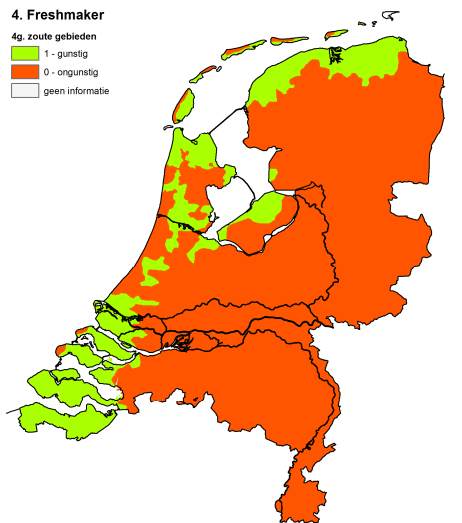
4. Freshmaker

4f. horizontale stroomsnelheid
1 - gunstig
0 - ongunstig
geen informatie



4. Freshmaker

4g. zoute gebieden
1 - gunstig
0 - ongunstig
geen informatie



Figuur 11 De score van de verschillende fysische factoren die de geschiktheid voor de oplossing freshmaker bepalen.

Score geschiktheidskaart

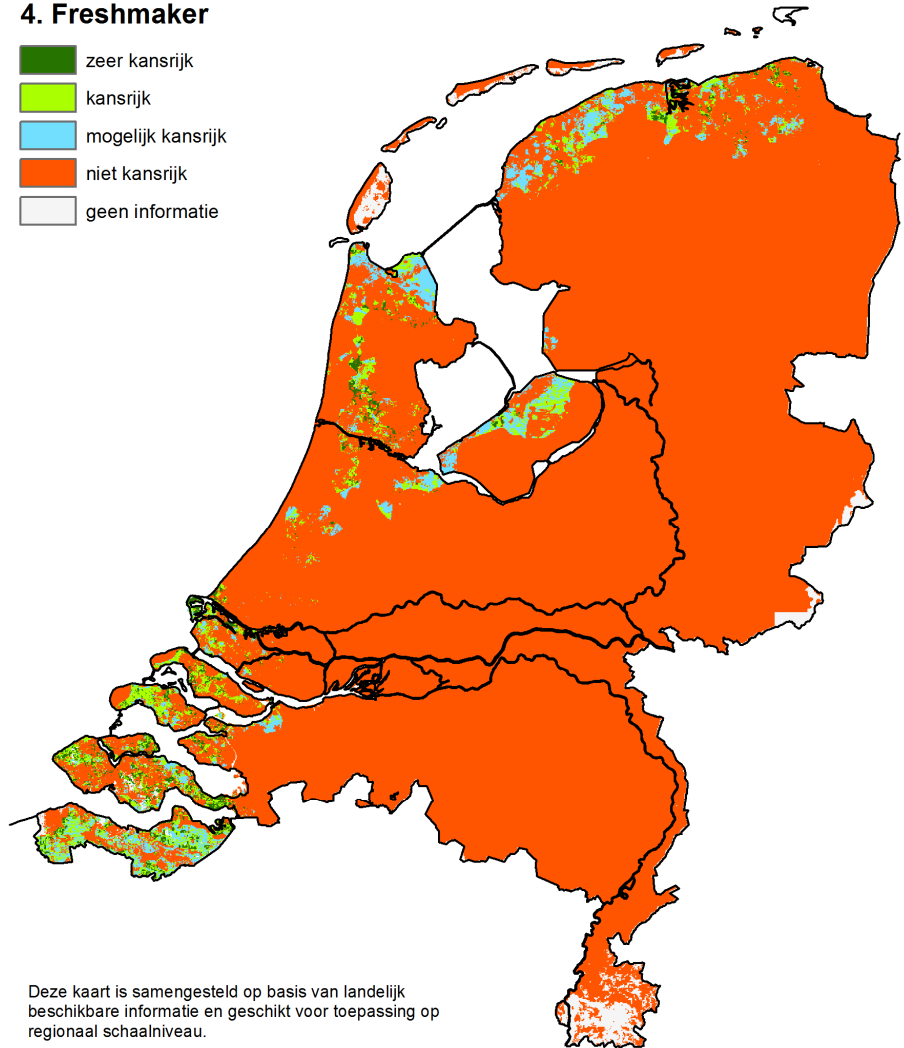
De score toekenning voor de individuele factoren en de geschiktheidsbepaling voor de freshmaker zijn in onderstaande tabellen samengevat.

| | Criteria | Score | Criteria | Score |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------|-------|
| Factor B | Cumulatieve dikte klei en veen < 5 m | 1 | Cumulatieve dikte klei en veen > 5 m | 0 |
| Factor C | Cum. dikte klei/veenlagen traject 5-15 m diepte ≤ 2.0 m en cum dikte traject 15-20 m diepte ≤ 1.0 m. | 1 | Overig | 0 |
| Factor D | Aanwezigheid kleilagen in traject 20 – 40 m-mv | 1 | Afwezigheid kleilagen in traject 20 – 40 m-mv | 0 |
| Factor E | Infiltratie | 1 | kwel | 0 |
| Factor F | Horizontale stroomsnelheid < 20 m / jr | 1 | Horizontale stroomsnelheid > 20 m / jr | 0 |
| Factor G | Zout gebied | 1 | Geen zoutgebied | 0 |

| Geschiktheid Freshmaker | Score |
|-------------------------|-----------------------------------------|
| Zeer kansrijk | Als B= 1 & C = 1 & G =1 & D + E + F = 3 |
| Kansrijk | Als B= 1 & C = 1 & G =1 & D + E + F = 2 |
| Mogelijk kansrijk | Als B= 1 & C = 1 & G =1 & D + E + F < 2 |
| niet kansrijk | Als B = 0 of C = 0 of G = 0 |



4. Freshmaker



Deze kaart is samengesteld op basis van landelijk beschikbare informatie en geschikt voor toepassing op regionaal schaalniveau.

Figuur 12 Kansen voor de Freshmaker, uitgaande van de geschiktheid van de ondergrond.

2.5 Verticale ASR

Algemeen

Met verticale ASR (aquifer storage and recovery) wordt hier verstaan het injecteren van zoetwater tijdens perioden met een zoetwateroverschot via een verticale put en het onttrekken van het geïnjecteerde zoetwater in perioden met een zoetwatervraag via dezelfde put. Het water wordt bij verticale ASR op grotere diepte opgeslagen dan bij de Freshmaker en bij kreekruuginfiltratie. Deze vorm van ASR wordt in West-Nederland al veelvuldig toegepast.

Factoren

De volgende 5 factoren zijn van belang bij het bepalen van de geschiktheid van de ondergrond voor verticale ASR op landelijke schaal.

Factor A: dikte eerste watervoerend pakket.

Informatiebron: GIS-bestand van dikte van het eerste watervoerende pakket is bepaald uit de modelschematisatie van het NHI.

Factor B: dikte van de deklaag.

Informatiebron: GIS-bestand van cumulatieve dikte van Holocene klei en veenlagen uit DINO.

Factor C: horizontale stroomsnelheid van belang voor afdrijving van zoetwater lens.

Informatiebron: Uit NHI is de gemiddelde horizontale flux bepaald van het eerste watervoerende pakket en omgerekend naar gemiddelde stroomsnelheid.

Factor D: De zoutconcentratie in het eerste watervoerende pakket

Informatiebron: de gemiddelde zoutconcentratie tussen -6 m NAP en -40 m NAP is bepaald op basis van het 3D-veld van chlorideconcentraties (bron: Deltares).

Factor E: doorlatendheid eerste watervoerende pakket

Informatiebron: GIS-bestand met kD-waarden uit NHI.



Het watervoerend pakket moet dik genoeg om voldoende water te kunnen bergen (factor A).

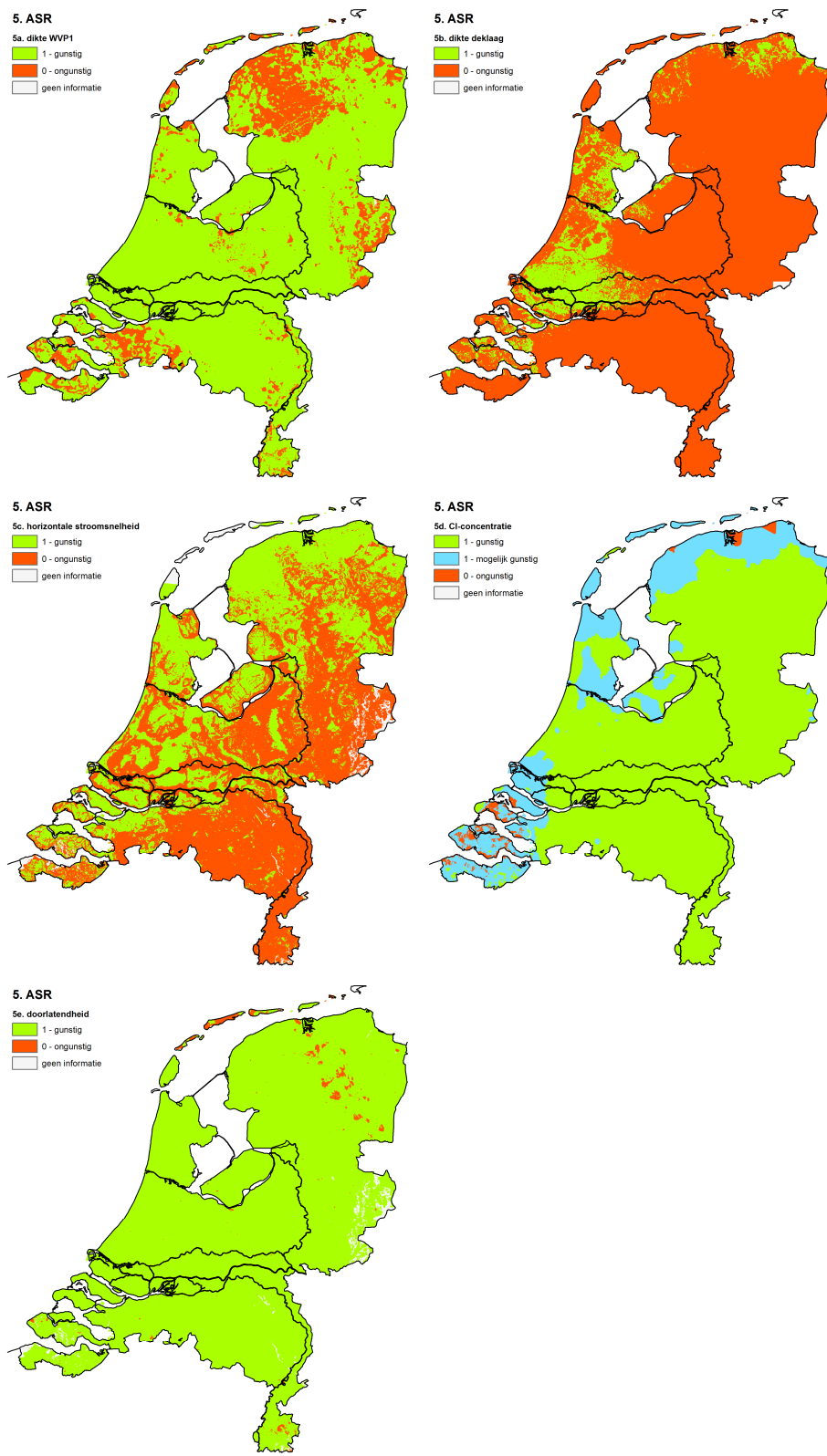
Een dikke deklaag (factor B) heeft in tegenstelling tot de Freshmaker een positieve invloed op de ASR want deze voorkomt een te sterke stroming van grondwater naar de oppervlakte (in kwelgebieden), alsmede significante vernatting en verdroging (+zetting) aan maaiveld.

Een te hoge horizontale stroomsnelheid (factor C) leidt tot afdrijving van het zoete grondwater.

De zoutconcentratie van het grondwater waarin met ASR zoetwater wordt geborgen is van belang voor het effect van opdrijving. Bij een te hoge zoutconcentratie is verticale ASR niet aan te bevelen.

Het pakket moet doorlatend genoeg zijn voor een effectieve recovery van het tijdelijke opgeslagen water in het watervoerende pakket (factor E).

In onderstaande kaarten worden de scores voor de 5 fysische factoren weergegeven.



Figuur 13 De score van de verschillende fysieke factoren die de geschiktheid voor de oplossing ASR bepalen.



Score geschiktheidskaart

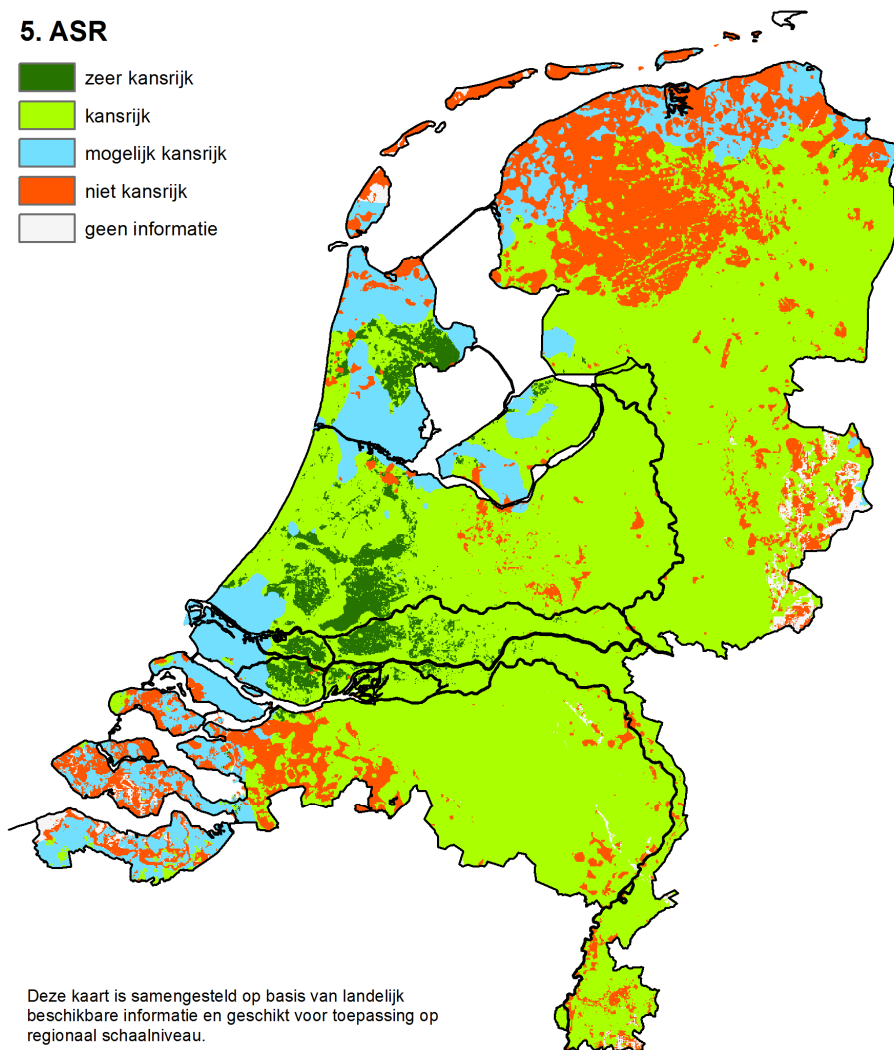
De haalbaarheid voor (verticale) ASR is afhankelijk van meer parameters dan alleen de geohydrologische en hydrochemische karakteristieken van ondergrond. Operationele parameters zoals duur van injectie-, opslag-, en terugwinperioden en pompdebieten spelen een grote rol (Ward et al., 2009; Zuurbier et al., 2013). Ook het putontwerp beïnvloedt het rendement Zuurbier et al., in Press. Bij het beoordelen van de geschiktheid op perceelniveau moet daarom altijd een analyse worden uitgevoerd van de lokale situatie waarbij de verschillende factoren in samenhang worden beschouwd. Binnen Kennis voor Klimaat is voor de Hotspot Haaglanden een uitgebreide kwantitatieve, ruimtelijk analyse gemaakt voor de haalbaarheid van ASR. Hierbij zijn ook operationele parameters beschouwd. Zie Zuurbier et al., 2013.

| | Criteria | Score | Criteria | Score |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------|-------|
| Factor A | Dikte WVP1 > 5 m | 1 | Dikte WVP1 < 5 m | 0 |
| Factor B | Cumulatieve dikte klei en veen > 5 m | 1 | Cumulatieve dikte klei en veen < 5 m | 0 |
| Factor C | Horizontale stroomsnelheid < 10 m / jaar | 1 | Horizontale stroomsnelheid > 10 m / jaar | 0 |
| Factor D | Gemiddeld Cl-concentratie in traject -6 en -40 m NAP < 1000 mg/l | 2 | Gemiddeld Cl-concentratie in traject -6 en -40 m NAP > 10000 mg/l | 0 |
| | Gemiddeld Cl-concentratie in traject -6 en -40 m NAP > 1000 mg/l en < 10000 mg/l. | 1, Mogelijk geschikt. | | |
| Factor E | Doorlatendheid (k) > 5 m/d | 1 | Doorlatendheid (k) < 5 m/d | 0 |

| Geschiktheid ASR | Score |
|-------------------|---------------------------------------|
| Zeer kansrijk | Als A = 1 & D = 2 & E = 1 & B + C = 2 |
| Kansrijk | Als A = 1 & D = 2 & E = 1 & B + C < 2 |
| Mogelijk kansrijk | Als A = 1 & D = 1 & E = 1 & B + C ≥ 0 |
| niet kansrijk | Als A = 0 of D = 0 of E = 0 |

5. ASR

-  zeer kansrijk
-  kansrijk
-  mogelijk kansrijk
-  niet kansrijk
-  geen informatie



Deze kaart is samengesteld op basis van landelijk beschikbare informatie en geschikt voor toepassing op regionaal schaalniveau.

Figuur 14 Kansen voor ASR, uitgaande van de geschiktheid van de ondergrond.



2.6 Waterconservering door stuwen

Algemeen

Bij waterconservering wordt water in de winterperiode (wanneer er een neerslagoverschot is) bovenstrooms, in de zgn. haarvaten van het oppervlaktewaterstelsel achter kleine stuwen vastgehouden. Hierdoor stijgt het waterpeil in het oppervlaktewater, en als gevolg hiervan het grondwaterniveau van de omliggende terreinen. In feite wordt door peilopzet in het oppervlaktewater de drainagebasis verhoogd. Dit water blijft zo beschikbaar voor het gebruik in het groeiseizoen.

De geschiktheidskaart voor waterconservering door stuwen is opgesteld op basis van karteerbare kenmerken, in overeenstemming met de werkwijze zoals beschreven in Alterra-rapport 2287 (Massop et al., 2012). Deze werkwijze is naar voortschrijdend inzicht voor dit project verbeterd en wordt hieronder samenvattend beschreven.

Factoren

Factor A: potentiële bodemberging

De potentiële bodemberging uit het Alterra-rapport 2287 (figuur 1 in dit rapport) geeft de bodemberging weer tussen GVG en maaiveld, bij hydrostatisch evenwicht. Het zou beter zijn een kaart te maken van bodemberging tussen GVG en hoogst toelaatbare GVG, maar aanpassing van deze kaart vergt een grote inspanning, wat niet paste binnen de mogelijkheden van onderhavig project. De oorspronkelijke kaart is daarom gehandhaafd met de toevoeging dat bij een geringe bodemberging deze niet nog kleiner mag worden. De bodem moet een bui van 20 mm kunnen opvangen.

Factor B: potentiële berging in oppervlaktewater

Figuur 4 in Alterra-rapport 2287 geeft de potentiële berging in het oppervlaktewaterstelsel. Bij de bepaling van deze berging in het oppervlaktewater is uitgegaan van een maximaal mogelijke verhoging van de waterstand in alle waterlopen. Deze verhoging is gedifferentieerd naar gebiedstypen, op basis van expertise (zie Tabel 1). Deze verhoging kan ook in de winter worden doorgevoerd, maar de essentie van waterconservering is dat aan het begin van het groeiseizoen het hogere (zomer)peil wordt gerealiseerd.

Een belangrijke randvoorwaarde is wel dat de sloot voldoende water bevat om de gewenste peilverhoging door middel van een stuw te kunnen realiseren.

Vooral in de zandgebieden is er in veel kleinere sloten vanaf maart-april vaak te weinig water beschikbaar om de gewenste peilverhoging te halen en te handhaven, waardoor het effect van deze oplossing tegen kan vallen. Indien er buisdrainage aanwezig is, kunnen de drainuitmondingen door peilopzet onder water komen te liggen. Als dat ongewenst is, kan de peilopzet minder zijn dan de tabel aangeeft.

Tabel 1 Verhoging van het peil ten opzichte van huidig peil, gedifferentieerd per gebiedstype (cm)

| | |
|-------------------------------|----|
| Hollands veenweidegebied | 20 |
| Noordelijk veenweidegebied | 30 |
| Kleigebied | 40 |
| Gronings-Drentse Veenkoloniën | 70 |
| Zandgebied | 50 |

Factor C: maaiveldhelling

De stroomopwaartse doorwerking van een peilverhoging door een stuw is sterk afhankelijk van het verhang van de waterloop. Bij steile waterlopen is het effect van de stuw snel uitgewerkt terwijl in vlakke gebieden een groot gebied met één stuw kan worden beïnvloed. De maaiveldhelling is representatief beschouwd voor het verhang van de waterlopen. Op basis van een uit het AHN afgeleide hoogtekaart (gridcel 250x250 m) is de maaiveldhelling afgeleid door het grootste verschil in maaiveldhoogte te nemen van de omringende gridcellen. Zie Figuur 15.

Bij nader inzien is de kaart van de beheersbaarheid in Alterra-rapport 2287 (figuur 7) te veel gericht op de grotere stuwen. Echter, met kleine stuwtjes kunnen veel meer waterlopen beheerst worden, al is er een grens, want bij een te grote maaiveldhelling zijn veel stuwen nodig en dat is niet reëel. In de nieuwe methodiek wordt daarom veel meer rekening gehouden met de mogelijkheid om met kleine stuwen water te conserveren waarbij maaiveldhelling in combinatie met de slootafstand bepalend is voor de beheersbaarheid.

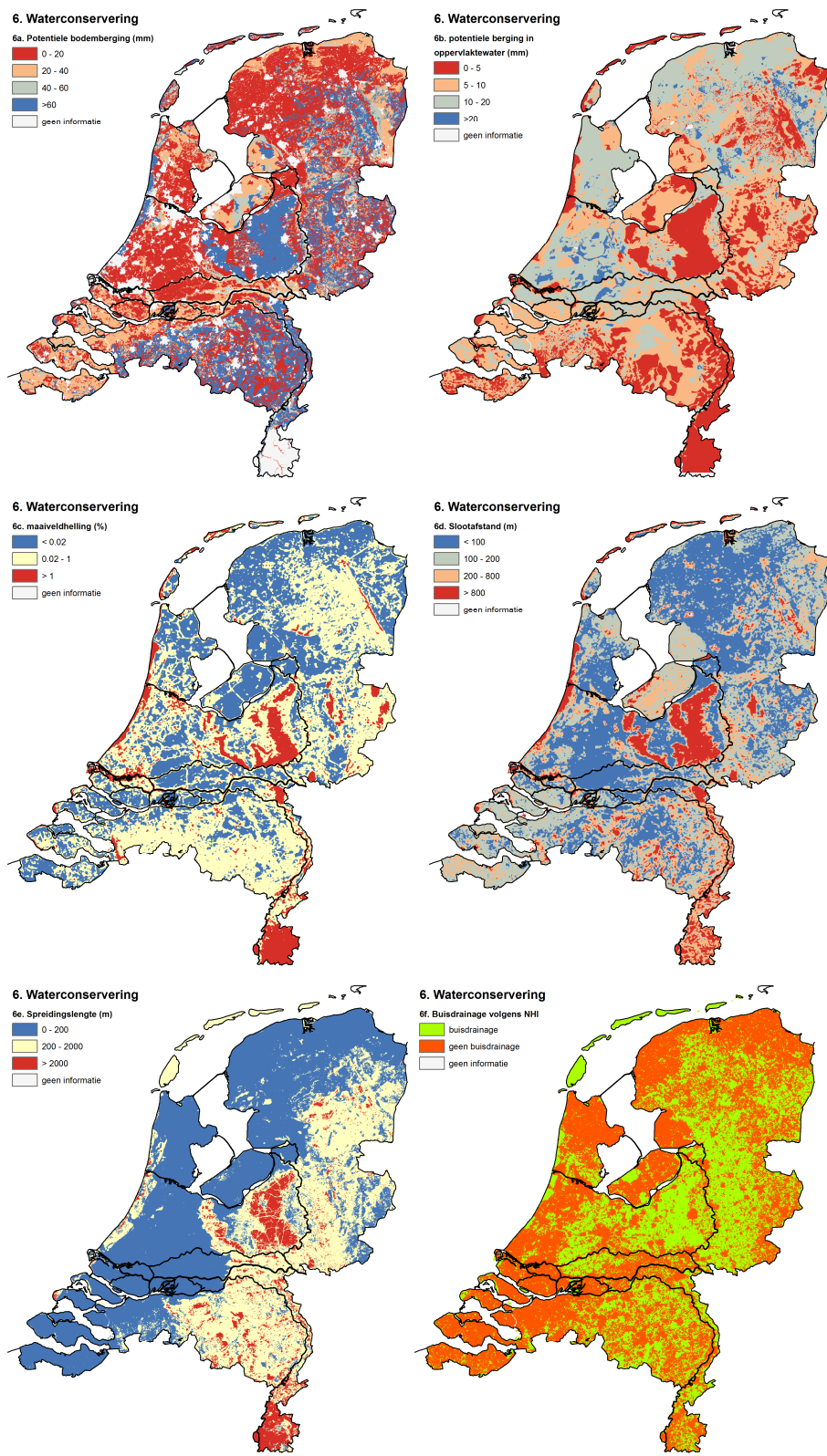


Factor D: slootafstand

Verder zijn de mogelijkheden om te conserveren min of meer evenredig met de dichtheid van alle waterlopen. Per gridcel is de gemiddelde slootafstand bepaald van de gridcel zelf en de 12 omringende grids (zie Figuur 15). De combinatie tussen helling en slootafstand geeft de mate van beheersbaarheid zoals gepresenteerd in onderstaande tabel en is een tussenscore voor de bepaling van de geschiktheid van waterconservering door stuwen.

Tabel 2 Tussenscores voor waterconservering door stuwen: waterbeheersbaarheid

| Slootafstand L (m) | Hellingklasse | | |
|--------------------|---------------|------------|-------|
| | gering | matig vlak | steil |
| L<100 | 3 | 2 | 1 |
| 100<L<200 | 2 | 1 | 0 |
| 200<L<800 | 1 | 1 | 0 |
| L>800 | 0 | 0 | 0 |



Figuur 15 De verschillende fysische factoren die de geschiktheid voor de oplossing waterconserving door stuwten bepalen.



Factor E: Spreidingslengte

De mate waarin de grondwaterstand op de locatie reageert op de verhoging van de ontwateringsbasis hangt ook af van de geïnduceerde weglekking naar de omgeving. Vooral nog is verondersteld dat de weglekking evenredig is met de spreidingslengte. De spreidingslengte is de wortel van het product van het doorlaatvermogen en de weerstand die bestaat uit de som van de drainageweerstand en de weerstand van de eerste scheidende laag.

Het probleem bij deze benadering is dat de weglekking naar de omgeving afhangt van de grootte van het gebied waar een grondwaterstandsverhoging plaats vindt. Hoe groter het gebied hoe meer weglekking maar per eenheid van oppervlakte wordt de weglekking kleiner naarmate het gebied groter wordt. De weglekking is voor het gebied waar waterconserveringsoplossingen worden doorgevoerd te beschouwen als een verlies maar voor de omgeving als een winst maar deze omgevingseffecten worden op een andere manier in rekening gebracht; zie hoofdstuk 3). Bij het maken van de scorekaarten voor waterconservering wordt ervan uitgegaan dat de waterconservering slechts op een klein areaal wordt uitgevoerd, vergelijkbaar met de 13 gridcellen waarmee wordt gesmootht, dus zo'n honderd hectare.

De kaart van spreidingslengte zoals weergegeven in figuur 3 van Alterrapport 2287 is opnieuw geclassificeerd en het resultaat is weergegeven in Figuur 15.

Factor F: buisdrainage

Het effect van waterconservering door stuwen kan beperkt worden (of in sommige gevallen juist versterkt worden) door de aanwezigheid buisdrainage. Dit hangt sterk van de lokale situatie af. Bijvoorbeeld, door peilverhoging kunnen drains onder water komen te liggen waardoor het drainageniveau van drains met de peilverhoging worden verhoogd en de grondwaterstand in het perceel wordt beïnvloed. Wanneer het verhoogde peil onder de uitmonding van de drainagebuizen blijft, zal het extra geconserveerde water in het perceel versneld wordt afgevoerd door de drains waardoor het effect van de oplossing nihil zal zijn. Daarnaast kan verhoging van het peil niet of in mindere mate mogelijk zijn als het ongewenst wordt geacht dat de drainmondingen onder water komen te liggen.

Ondanks dat buisdrainage effect heeft op het succes van waterconservering, is de aanwezigheid van buisdrainage niet meegewogen bij de eindscore. De belangrijkste reden is omdat niet exact bekend is welke percelen gedraineerd zijn en de lokale situatie sterk kan verschillen en verschillend kan uitwerken. In Figuur 15 (onderste kaart, rechter kolom) worden de gedraineerde percelen volgens NHI weergegeven zodat een idee wordt verkregen waar mogelijk drainage wordt toegepast.

Score geschiktheidskaart

Bij waterconservering door stuwen worden de potentiële bodemberging en de potentiële berging in het oppervlaktewater bij elkaar opgeteld. Vervolgens wordt rekening gehouden met de classificatie van de spreidingslengte en de tussenscore uit Tabel 2 en is per combinatie een score toegekend (Tabel 3).

Tabel 3 Score voor waterconservering door stuwen

| | | Som bodemberging en oppervlaktewaterberging | | | | | | | | | | | |
|-------------------|---|---------------------------------------------|-------|-------|----------------------|-----|-------|-------------------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
| | | Te gering (< 20 mm) | | | Gering $20 < b < 40$ | | | Gemiddeld $40 < b < 60$ | | | Groot (> 60 mm) | | |
| | | spreidingslengte | | | | | | | | | | | |
| | | klein | Matig | groot | klein | gem | Groot | klein | matig | groot | klein | matig | groot |
| Score uit tabel 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 4 | 2 | 1 |
| | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 4 | 2 | 1 | 7 | 5 | 3 |
| | 3 | 1 | 0 | 0 | 3 | 2 | 1 | 6 | 4 | 2 | 10 | 7 | 5 |

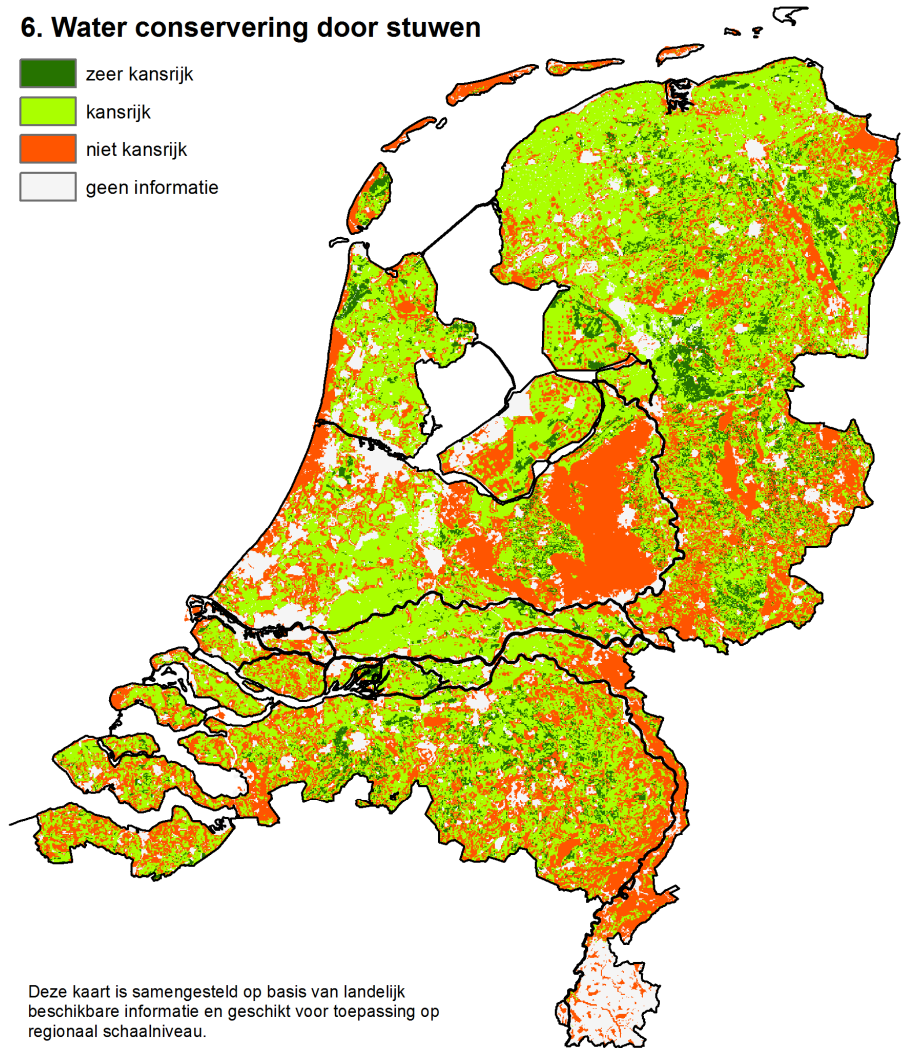
De scores uit Tabel 3 zijn volgens onderstaande tabel vertaald naar geschiktheidsklassen. De eindkaart wordt weergegeven in Figuur 16.

| Score uit tabel 3 | Geschiktheid |
|-------------------|-------------------|
| 0 | Niet kansrijk |
| 1-4 | Mogelijk kansrijk |
| 5-10 | kansrijk |



6. Water conservering door stuwen

-  zeer kansrijk
-  kansrijk
-  niet kansrijk
-  geen informatie



Deze kaart is samengesteld op basis van landelijk beschikbare informatie en geschikt voor toepassing op regionaal schaalniveau.

Figuur 16 Kansen voor waterconservering door stuwtjes, uitgaande van de geschiktheid van de ondergrond.

2.7 Waterconservering door slootbodemplverhoging

Algemeen

Waterconservering kan ook plaatsvinden door slootbodemplverhoging. Het voordeel van slootbodemplverhoging ten opzichte van waterconservering met stuwen is dat de drainagebasis permanent wordt verhoogd, en de verhoging niet afhankelijk is van de beschikbaarheid van water dat nodig is voor een verhoging van de drainagebasis. Er vindt ook alleen berging van het neerslagoverschot plaats in de bodem van het aan de sloot grenzende terrein. Een ander verschil is dat de helling van het maaiveld geen bepalende factor is. Verder is de werkwijze voor het bepalen van de geschiktheid gelijk aan die van waterconservering door stuwen en zal in deze paragraaf niet worden herhaald; alleen de verschillen worden besproken.

Factoren

De geschiktheidsclassificatie staat weergegeven in onderstaande tabel.

Factor A: potentiële bodemberging

Zie 'waterconservering door stuwen'.

Factor B: potentiële berging in oppervlaktewater

Deze factor wordt niet meegenomen bij de bepaling van de geschiktheid van waterconservering door slootbodemplverhoging omdat geen extra water in het oppervlaktewaterstelsel kan worden geborgen. Immers, indien de slootbodempl beneden het peil is en blijft, verandert de open waterstand niet en verandert er niets aan de mogelijkheden voor waterconservering in het oppervlaktewaterstelsel. Indien door de slootbodemplverhoging de slootbodempl hoger wordt dan het ingestelde peil nemen de bergingsmogelijkheden in het oppervlaktewaterstelsel echter wel af. Met dit effect is vooralsnog geen rekening gehouden.

Factor C: maaiveldhelling

Bij waterconservering door slootbodemplverhoging speelt de maaiveldhelling, die bij waterconservering door stuwen bepalend is voor de mogelijkheden, geen rol en daarom wordt deze factor niet meegenomen.

Factor D: slootafstand

De slootafstand is net als bij waterconservering door stuwen een bepalende factor: de mogelijkheden om te conserveren nemen min of meer evenredig toe



met de dichtheid van alle waterlopen. De tussenscores van de waterbeheersbaarheid voor slootbodempverhoging worden alleen door slootafstand bepaald en niet in combinatie met maaiveldhelling zoals bij stuwen (zie Tabel 4).

Tabel 4 Tussenscores voor waterconservering door slootbodempverhoging: waterbeheersbaarheid

| Slootafstand L (m) | score |
|--------------------|-------|
| L<100 | 3 |
| 100<L<200 | 2 |
| 200<L<800 | 1 |
| L>800 | 0 |

Factor E: Spreidingslengte

Zie 'Waterconservering door stuwen'.

Factor F: buisdrainage

De aanwezigheid van buisdrainage kan het effect van slootbodempverhoging beperken. Ten eerste bepaalt de drainage-uitmonding de maximale slootbodempverhoging, tenzij het drainagesysteem wordt aangepast. Ten tweede zal het geconserveerde water door de oplossing versneld worden afgevoerd door de drains waardoor het effect van de oplossing nihil zal zijn. Deze factor wordt niet meegenomen bij de bepaling van de geschiktheid van waterconservering door slootbodempverhoging om dezelfde redenen als genoemd onder waterconservering door stuwen.

Score geschiktheidskaart

Bij waterconservering door slootbodempverhoging wordt alleen de potentiële bodempberging meegenomen. Er wordt op dezelfde wijze als bij waterconservering door stuwen rekening gehouden met de classificatie van de spreidingslengte en de tussenscore uit Tabel 4 en is per combinatie een eindscore toegekend (Tabel 5).

Tabel 5 Score voor waterconservering door slootboderverhoging

| | | bodemberging | | | | | | | | | | | |
|-------------------|---|-------------------------|-------|-------|-------------------|-----|-------|----------------------|-------|-------|---------------------|-------|-------|
| | | Te gering (< 20 mm) | | | Gering 20<b<40 | | | Gemiddeld 40<b<60 | | | Groot (> 60 mm) | | |
| | | spreidingslengte | | | | | | | | | | | |
| | | klein | matig | groot | Klein | gem | groot | klein | matig | groot | klein | matig | groot |
| Score uit tabel 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 4 | 2 | 1 |
| | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 4 | 2 | 1 | 7 | 5 | 3 |
| | 3 | 1 | 0 | 0 | 3 | 2 | 1 | 6 | 4 | 2 | 10 | 7 | 5 |

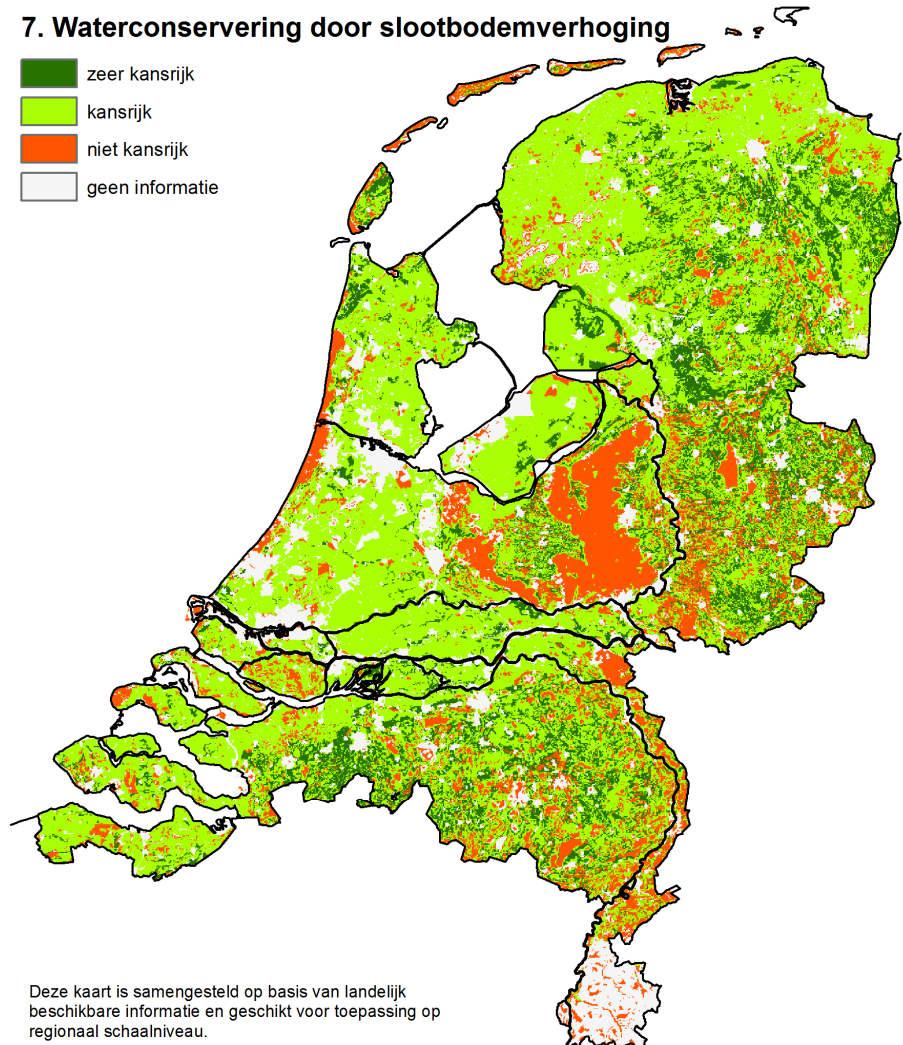
De scores uit tabel 5 zijn volgens onderstaande tabel vertaald naar geschiktheidsklassen. De eindkaart wordt weergegeven in Figuur 17.

| Score uit tabel 3 | Geschiktheid |
|-------------------|-------------------|
| 0 | Niet kansrijk |
| 1-4 | Mogelijk kansrijk |
| 5-10 | kansrijk |



7. Waterconservering door slootbodemplverhoging

-  zeer kansrijk
-  kansrijk
-  niet kansrijk
-  geen informatie



Deze kaart is samengesteld op basis van landelijk beschikbare informatie en geschikt voor toepassing op regionaal schaalniveau.

Figuur 17 Kansen voor waterconservering door slootbodemplverhoging, uitgaande van de geschiktheid van de ondergrond.

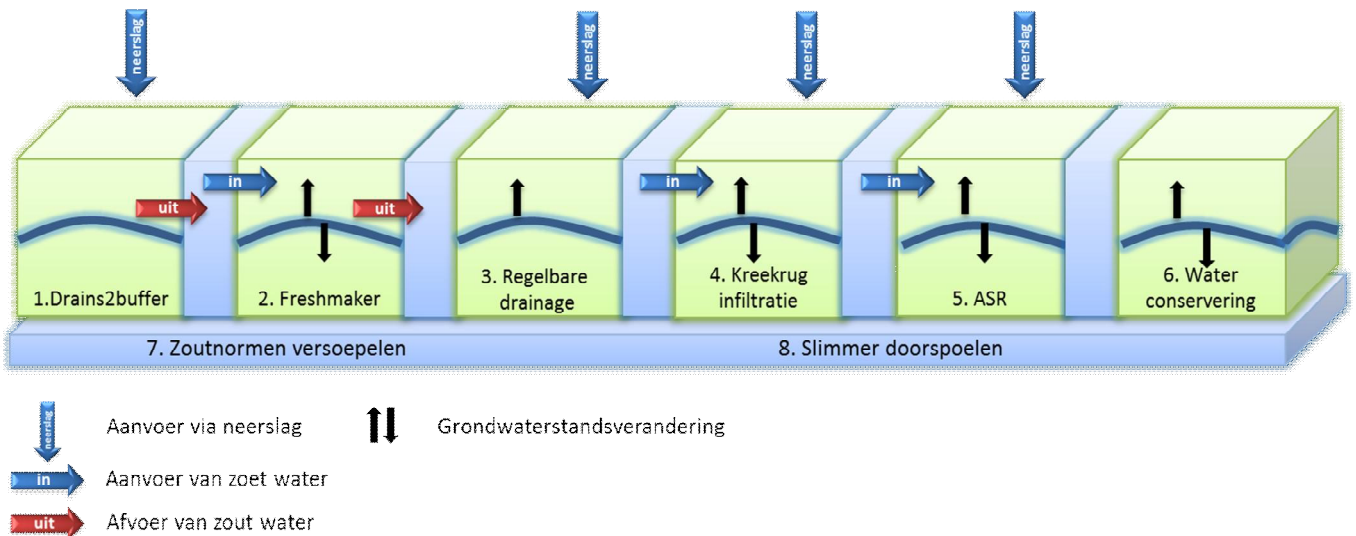
3 Afwegingskader wateropbrengst en omgevingseffekten

De toepassing van de oplossingen betekent dat de waterhuishouding op de locatie wordt aangepast om daarmee de zoetwaterbeschikbaarheid te vergroten. Hoe er precies wordt ingegrepen in de waterhuishouding verschilt per oplossing.

Daarnaast worden er ook eisen aan de omgeving gesteld, zo is er voor een aantal oplossingen bijvoorbeeld in een deel van het jaar aanvoer van zoetwater nodig, dat geldt voor de Freshmaker, ASR en kreekruuginfiltratie. In principe kunnen deze oplossingen dus alleen worden toegepast op locaties waar zoetwateraanvoer via sloten is of bijvoorbeeld via daken van kassen of gebouwen beschikbaar komt¹.

Een oplossing kan de waterhuishouding van de omgeving beïnvloeden en vice versa. Figuur 18 geeft een overzicht van de effecten en vereisten van de verschillende oplossingen op grond- en oppervlaktewater. Om de effecten onder één noemer te brengen zijn ze vertaald naar 'verandering in de beschikbaarheid van zoet water'.

¹ Op dit moment wordt ook onderzocht hoe het water uit de drains kan worden opgevangen en op deze manier zoetwater beschikbaar kan worden gemaakt (Acacia, 2013a)



Figuur 18 Vereisten en effecten van de verschillende oplossingen in relatie tot grond- en oppervlaktewater in de omgeving.

Hoeveel water kan worden verkregen is een kwestie van willen en kunnen. Kunnen is te koppelen aan fysische parameters en variabelen, willen is te koppelen aan de waterbeheersruimte, bijvoorbeeld het verschil tussen huidige en hoogst toelaatbare grondwaterstand. De fysische parameters zijn in hoofdstuk 2 in beeld gebracht door middel van geschiktheidskaarten. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de beheersruimte (of 'maatregelruimte'): de hoeveelheid water die potentieel beschikbaar kan komen bij toepassing van een oplossing op een locatie die in de kaarten als kansrijk is aangegeven, en de effecten op de omgeving.

3.1 Effecten uitgedrukt in verandering van doelvariabelen

Het doel van een oplossing is de verhoging van de doelrealisatie voor de landbouw en/of de natuur. Een oplossing is de technische realisatie om via verandering in de eigenschappen van het hydrologisch systeem of door verandering in de randvoorwaarden een structurele verandering te bewerkstelligen die wordt uitgedrukt in wat we hier 'doelvariabelen' noemen. De doelvariabelen zijn meetbare of berekenbare hydrologische variabelen. Deze zijn samen te vatten als:

- een verandering in de grondwaterstand
- veranderingen van oppervlaktewaterstand

- veranderingen in zoetwater volume
- verandering in waterkwaliteit
- veranderingen in de afvoer.

Hierbij is het van belang om een onderscheid te maken tussen de winter- en voorjaarsituatie, wanneer er over het algemeen een neerslagoverschot is en water kan worden opgeslagen, en de zomersituatie, wanneer er over het algemeen een neerslagtekort is en gebruik wordt gemaakt van de aanwezige zoetwatervoorziening. Daarom wordt in de afwegingsmethodiek onderscheid gemaakt tussen de invloed op de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG), gemiddelde zomergrondwaterstand (GZG), gemiddelde voorjaarsoppervlaktewaterstand (GVO) en gemiddelde zomeroppervlaktewaterstand (GZO).

De locatie waar oplossingen worden getroffen noemen we de 'oplossingslocatie'. Daar worden de beoogde effecten gerealiseerd. Daarnaast kan een oplossing ook niet-beoogde effecten hebben, zowel op de locatie zelf als op de omgeving.

Op basis van veldwaarnemingen, modelberekeningen en expertise is per oplossing aan te geven wat de te verwachten verandering in de doelvariabelen is. Deze verandering zal per gebied verschillen. Elk gebied heeft immers andere kenmerken, zowel qua ondergrond als qua landgebruik en waterbeheer. Om een indruk te geven van de te verwachten veranderingen, zijn daarvoor op basis van ervaringen en expert judgement van het projectconsortium, uitgangswaarden bepaald (zie Tabel 6).



| Oplossing | Doel variabelen | | | | | |
|---------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| | Δ GVG (cm) | Δ GZG (cm) | Δ GVO (cm) | Δ GZO (cm) | Δ GW_afvoer | Δ GZ_afvoer |
| Drains2buffer (D2B) | 0 | 0 | nvt | nvt | zouter | Zouter |
| Regelbare drainage (RD) | 30 | 12 | nvt | nvt | kleiner | (kleiner) |
| Kreekruginfiltratie (KRI) | 50 | +/- | nvt | nvt | kleiner | (kleiner) |
| Freshmaker (FM) | Nvt | Nvt | nvt | nvt | zouter | Zouter |
| Verticale ASR (VASR) | 1 ^e watervoerend pakket | | nvt | nvt | kleiner | (kleiner) |
| Waterconservering door stuwen (WCST) | 20 | 8 | 40 | 10 | kleiner | Kleiner |
| Waterconservering door slootbodemverhoging (WCSB) | 15 | 5 | nvt | nvt | kleiner | Kleiner |

Tabel 6 Startindicatie van de verandering in doelvariabelen, per oplossing, in gebieden die als ‘kansrijk’ zijn gekwalificeerd. De getallen zijn indicatief en kunnen voor een bepaald gebied nader worden gespecificeerd o.b.v. ondergrond onderzoek en gebiedskennis.

Opm. Δ staat voor verandering t.o.v. de situatie zonder de oplossing(en), GVG is veeljarig Gemiddelde VoorjaarGrondwaterstand (op 1 april), GZG is veeljarig Gemiddelde ZomerGrondwaterstand (gemiddeld over het zomerhalfjaar), GVO is veeljarig Gemiddelde VoorjaarsOppervlaktewaterstand (op 1 april), GZG is veeljarig Gemiddelde ZomerOppervlaktewaterstand (gemiddeld over het zomerhalfjaar), GW_afvoer is veeljarig Gemiddelde afvoer over het Winterhalfjaar (gemiddelde over het winterhalfjaar) en GZ_afvoer is veeljarig Gemiddelde afvoer over het Zomerhalfjaar (gemiddeld over het winterhalfjaar))

Hieronder wordt per oplossing de verwachte verandering in de doelvariabelen toegelicht en een beschrijving gegeven van omgevingseffecten.

Drains2buffer

Bij Drains2buffer wordt drainage aangelegd op iets grotere diepte om zoute kwel af te voeren waardoor de regenwaterlens dikker kan worden en het zout-

gehalte in de wortelzone daalt. De drainage wordt regelbaar aangelegd, waardoor de ontwateringsbasis op het originele niveau kan worden gehouden. Met deze oplossing wordt het grondwaterniveau dus niet aangepast, ook de hoeveelheid waterafvoer zal gelijk blijven. De dieper gelegen drains zullen in de beginfase tot een verhoging van de zoutlast op het oppervlaktewater leiden. Na enkele jaren, wanneer de regenwaterlens in evenwicht is met de nieuwe drainagesituatie, zal de drainageafvoer weer bestaan uit ongeveer dezelfde mix van zoute kwel en regenwater.

Regelbare drainage

Bij toepassing van regelbare drainage wordt, in tegenstelling tot bovenstaande toepassing in drains2buffer, het grondwaterniveau ten tijde van neerslagoverschotten gericht verhoogd. Daarmee kan water in de bodem worden geconserveerd en kan de piekafvoer worden gereduceerd. Aangezien neerslagoverschotten zich over het algemeen in het winterhalfjaar voordoen worden de GWG (gemiddelde winter grondwaterstand) en GVG met deze oplossing verhoogd. Wanneer dit gebeurt op een perceel waar anders zou worden berekend zorgt dit voor een verlating van de eerste benodigde berekening, en beïnvloedt het de vraag, maar niet zozeer het grondwaterniveau in het zomerhalfjaar.

Kreekruginfiltratie

Bij kreekruginfiltratie wordt de grondwaterstand verhoogd om daarmee de zoetwaterlens in een zout gebied te vergroten. Dit dient door middel van actieve infiltratie van beschikbaar water in de kreekrug te gebeuren omdat de lens in de zomer ook weer wordt geëxploiteerd. Door actieve infiltratie wordt de zoetwaterbel in het zandlichaam vergroot, en wordt dus de waterkwaliteit op de toepassingslocatie beïnvloedt. Ook hier wordt de grondwaterstand vooral in de winter en het voorjaar verhoogd, en in mindere mate in de zomer. Door actieve onttrekking uit de kreekruggen in de zomer, kan de grondwaterstand zelfs juist worden verlaagd. Daarnaast kan het de afvoer in de winter verlagen. Een belangrijke randvoorwaarde voor deze oplossing is de beschikbaarheid van zoetwater voor infiltratie.

Freshmaker

Bij de freshmaker wordt zout grondwater afgevoerd door een horizontale drain op ongeveer 15-20 m diepte, en zoet water (kunstmatig) geïnfiltreerd. Hierbij wordt de bestaande drainage niet aangepast, en blijft het grondwaterniveau gelijk. Door actieve infiltratie kan de kwel lokaal toenemen en/of de freatische grondwaterstand stijgen. Door actieve onttrekking in de zomer, kan de grondwaterstand juist weer worden verlaagd. De kwaliteit van het grondwater op de toepassingslocatie wordt aangepast omdat de zoete bel wordt vergroot. Door de diepe drain wordt brak-zout water afgevoerd naar de sloten. De kwaliteit van het afvoerwater wordt dus sterk beïnvloedt. Een randvoorwaarde voor deze oplossing is de beschikbaarheid van zoetwater voor infiltratie.



Verticale ASR

Bij verticale ASR wordt zoetwater in een watervoerend pakket gepompt en opgeslagen voor gebruik in de zomer. Op de toepassingslocatie wordt de kwaliteit van het grondwater dus beïnvloed. Door actieve infiltratie kan de kwel lokaal toenemen (of infiltratie afnemen) en/of de freatische grondwaterstand stijgen. Door actieve onttrekking in de zomer, kan de kwel juist weer afnemen (of infiltratie toenemen) en/of de grondwaterstand worden verlaagd. Om dit mee te nemen in de afwegingsmethodiek (zie verder in dit hoofdstuk), wordt deze invloed geformuleerd als een verhoging van de grondwaterstand in het eerste watervoerend pakket in de winter, en een verlaging in de zomer.

Waterconservering door stuwen

Bij waterconservering door stuwen wordt een deel van het neerslagoverschot in het voorjaar niet afgevoerd, middels actieve verhoging van de ontwateringsbasis. Technisch kan dit worden gerealiseerd door bedienbare stuwen. Doel is tevens om water in de bodem te conserveren. Het beoogde effect op de doelvariabelen is daarmee een verhoging van het oppervlaktewaterpeil en van de grondwaterstand. Door een hogere grondwaterstand kan de infiltratie naar het diepere grondwater toenemen. Een bijeffect kan zijn dat de afvoer wordt gereduceerd en dat de oppervlaktewaterkwaliteit verslechterd door stilstaand water achter de stuw.

Waterconservering door slootboderverhoging

Bij waterconservering door slootboderverhoging wordt de ontwateringsbasis van sloten permanent verhoogd, wat leidt tot een vermindering van de drainerende werken van de sloten en daarmee tot hogere grondwaterstanden. Een bijeffect kan zijn dat de voorraad water in het oppervlaktewatersysteem aan het begin van het groeiseizoen lager wordt.

3.2 Raming van zoetwateropbrengst

Het is uiteindelijk gewenst om het effect van oplossingen uit te drukken in de hoeveelheid extra zoetwater die de oplossingen opleveren. Daartoe dienen de veranderingen in de doelvariabelen, zoals in voorgaande paragraaf besproken, te worden vertaald naar een grootte die de effecten onder één noemer brengt en waaraan een toename van de hoeveelheid beschikbaar zoet water voor (in ons geval) landbouw gedurende het groeiseizoen kan worden gekoppeld.

Hoeveel water precies kan worden verkregen hangt af van de locatie specifieke omstandigheden, en vergt lokaal ondergrond onderzoek, gebiedskennis en rekenwerk. Om toch een verkennende raming voor een gebied te kunnen maken wordt hier een methodiek gegeven voor het bepalen van de hoeveelheid water die beschikbaar komt. Deze verkennende raming levert een ordegrootte op voor de zoetwateropbrengst. Uitgangspunt voor de methodiek is dat de oplossingen tot hun maximale potentie worden ingezet.

Beheersruimte – wat is mogelijk binnen de kaders van het beheer en gebruik?

Een aantal van de oplossingen richt zich op het (tijdelijk) verhogen van de grondwaterstand (regelbare drainage, kreekruuginfiltratie, waterconserving door stuwen en slootboderverhoging). Hoe groot de verhoging van de grondwaterstand maximaal kan zijn is afhankelijk van de maximaal toelaatbare grondwaterstand op het perceel. Dit wordt bepaald door de gewassen die op het perceel worden geteeld, in combinatie met de bodemsoort. Het verschil tussen de toelaatbare GWG en GVG en de huidige GWG en GVG geeft een indicatie van hoeveel het peil maximaal kan worden opgezet. De hoogst toelaatbare GWG en GVG zijn te koppelen aan bodem en gewas/teelt. Dit kan gebeuren op basis van de HELP-tabel. Van de huidige situatie is de GWG en GVG bekend, namelijk hetzij gekarteerd en vastgelegd in kaarten en/of af te leiden uit het NHI.

Wanneer hierbij onderscheid wordt gemaakt tussen de GWG en de GVG kan een grotere beheersruimte worden gevonden, aangezien voor een aantal gewassen in de winter de grondwaterstand zonder problemen hoger kan staan dan in het voorjaar. Dit geeft ruimte om bijvoorbeeld de wintergrondwaterstand verder te verhogen voor de vergroting van de zoetwaterlens en deze in het voorjaar te verlagen. Dit aspect is in de methodiek niet verder uitgewerkt.

3.2.1 Toename van zoetwaterlensdikte en grondwaterstand (1D)

In onderstaande tabel is per oplossing een eerste schatting gegeven van mogelijk te behalen effecten, uitgedrukt in grootheden waaruit de toename van de zoetwaterbeschikbaarheid kan worden afgeleid. De vermelde waarden zijn geraamd voor gemiddelde praktijksituaties en zijn gebaseerd op ervaringen en expert judgement van het projectconsortium. Afhankelijk van de specifieke omstandigheden op een locatie kunnen de waarden afwijken van wat in de tabel is vermeld. Voor de waarden geldt dus een onzekerheidsmarge, die kleiner wordt naarmate er meer praktijkervaringen worden opgedaan.



Tabel 7 Beoogd effect van de oplossingen. De getallen zijn een startindicatie, en zullen per gebied nader moeten worden bepaald.

| Oplossing | Effect van oplossing | | | |
|---------------------------------------------------|------------------------------|------------------|------------------|---------------------------------------------|
| | Δ zoet- waterlens (m) | Δ GVG (m) | Δ GVO (m) | Beschikbaarheid |
| Drains2buffer (D2B) | 0,5 | 0 | nvt | verzilting bestrijding op het perceel |
| Regelbare drainage (RD) | 3 | 0,3 | nvt | reductie uitzakken / verzilting bestrijding |
| Kreekruginfiltratie (KRI) | 5 | 0,5 | nvt | oppompen water uit ondergrond |
| Freshmaker (FM) | 10 | nvt | nvt | oppompen water uit ondergrond |
| Verticale ASR (VASR) | 15 | nvt | nvt | oppompen water uit ondergrond |
| Waterconservering door stuwen (WCST) | 1 | 0,2 | 0,4 | reductie uitzakken / verzilting bestrijding |
| Waterconservering door slootboderverhoging (WCSB) | 0,5 | 0,15 | nvt | reductie uitzakken / verzilting bestrijding |

Toelichting bij waarden in Tabel 7

Regelbare drainage (RD) kan wel of niet samengesteld zijn. De waarden zijn gebaseerd op samengestelde drainage waarbij de hoogte van de drainagebasis wordt geregeld in verzamelputten. Het regelbereik is in de orde van 50 cm. Omdat de reactietijd van het systeem kort is kan op het scherpst van de snede in het voorjaar de grondwaterstand op een bepaald niveau worden gehouden door op het juiste moment de drainagebasis maximaal 50 cm te verhogen. De vermindering van de daling van de grondwaterstand rond 1 april (ten opzichte van geen waterconservering toepassen) is minder dan deze 50 cm. 30 cm op 1 april is volgens modelberekeningen (o.a. Van Bakel et al, 2008) een haalbare verhoging. Zie verder Stuyt (2013) en http://www.vakbladh2o.nl/index.php?option=com_easyblog&view=entry&id=130&Itemid=171

Waterconservering door stuwen (WCST) zoals hier voorgesteld is het opzetten van de waterstand in sloten door middel van landbouwstuw-tjes. Niet altijd en op elk perceel wordt daardoor ook de drainagebasis van de buisdrainageverhoogd en als dat wel het geval is, is de verhoging minder dan de verhoging van de drainagebasis van de sloten omdat is verondersteld dat de drains in de winter zo'n 20 cm boven het slootpeil uitmonden. Ook is de reactietijd van het slotensysteem langer en kan er niet op het scherpst van de snede worden geconserveerd. Als laatste kan worden genoemd dat in hellende gebieden de waterstand in de sloten meestal maar voor een deel onder invloed staat van een stuw (Bierkens en Massop, 2000). Maar in voor waterconservering door stuwen zeer kansrijke gebieden (vlakke ligging, veel sloten) is een verhoging van de GVG (ten opzichte van de uitgangssituatie) van 20 cm haalbaar. De daarvoor benodigde verhoging van de ontwateringsbasis van de sloten is ongeveer het dubbele, dus 40 cm. Zie verder Van Bakel (1986) en De Louw et al. (2006).

Waterconservering door slootboderverhoging (WCSB) resulteert in een permanente vernatting in perioden met ontwatering (en na-ijling als de afvoer stopt). Daardoor is de kans op te laat opzetten van de slootpeilen door stuwen in het voorjaar niet aanwezig. Daar staat tegenover dat de verhoging van de slootboderverhoging beperkt kan worden door droogleggingseisen in de winterperiode of doordat de diepteligging van de drains het onmogelijk maakt de slootboderverhoging te verhogen. Om deze redenen is het maximaal effect op de GVG gelijk genomen aan waterconservering door stuwen.

Indien de slootboderverhoging hoger komt te liggen dan het stuwpeil staat er geen water meer in de sloot en daardoor nemen de mogelijkheden van conserveren van water in het oppervlaktewater af. Dit is min of meer arbitrair vertaald in een verlaging van de GVO met 10 cm.



3.2.2 Extra volume zoetwater op de oplossinglocatie (3D)

De extra hoeveelheid zoetwater (waterextra) die op een locatie kan worden verkregen met een oplossing bestaat uit de som van drie hoeveelheden:

Hoeveelheid 1 (m^3) = Δ zoetwaterlensdikte * porositeit * recoveryfactor * areaal.

Hoeveelheid 2 (m^3) = Δ GVG * freatische bergingscoëfficiënt * areaal.

Hoeveelheid 3 (m^3) = Δ GVO * areaal open water (areaal-gewogen als Δ GVO niet gelijk is binnen 'Local Surface Water' (= ruimtelijke model-eenheid uit Nationaal Hydrologisch Instrumentarium, www.nhi.nu).

Hieronder wordt per type oplossing toegelicht waarmee rekening moet worden gehouden bij het maken van deze rekensom.

Enkele definities:

$$\Delta\text{GVG} = \text{GVG}_{\text{huidig}} - \text{GVG}_{\text{max}}$$

Hierin wordt de $\text{GVG}_{\text{huidig}}$ bepaald op basis van bestaande gegevens over GHG en GLG (bijvoorbeeld uit NHI), en GVG_{max} op basis van de HELP-tabel, in combinatie met bodem en gewas/teelt kaarten.

$$\Delta\text{GVO} = f(\text{GVG}_{\text{max}}, \text{drainageweerstand}, \text{weglekweerstand})$$

Drains2buffer

Diepere installatie van buisdrains bij onveranderde ontwateringsdiepte betekent feitelijk een toename van de zoetwaterbeschikbaarheid als toename van de zoetwaterlens. In formule als volgt:

$$\Delta \text{ Zoet water beschikbaarheid} = \Delta \text{ Zoetwaterlens} = f(\text{drainagediepte}_{\text{huidig}} - \text{drainagedieptemax});$$

Hierbij hangt de maximale drainagediepte ($\text{drainagediepte}_{\text{max}}$) af van de aanwezigheid van slecht doorlatende lagen en doorlatendheid van de bodem, de aanwezigheid en diepte van ongerijpte klei en de technische haalbare drainage

diepte. De maximale draindiepte is met normale drains ca. 1,5m, bij duurdere drains is ±5m haalbaar.

Echter, zoetwater komt feitelijk niet vrij beschikbaar maar zorgt voor verziltingsbestrijding op het perceel. Namelijk, door een dikkere regenwaterlens zal het zoutgehalte in de wortelzone afnemen.

Regelbare drainage

Bij regelbare drainage worden de drains dieper geïnstalleerd dan bij conventionele drainage, liefst permanent beneden de grondwaterspiegel, maar met een hoger drainageniveau. Zoetwater komt niet vrij beschikbaar maar vermindert de noodzaak te moeten beregenen door een hogere grondwaterstand in het groeiseizoen. Een deel van het vastgehouden regenwater zal weglekken naar de omgeving.

Δ Zoet water beschikbaarheid = f (GVG, Δ drainagebasis, drainageweerstand, lekweerstand, kwel)

Kreekruginfiltratie

Infiltratie van zoetwater in kreekruggen gebeurt door zoet oppervlaktewater via drains te laten infiltreren. De grondwaterstand zal iets toenemen maar de grootste toename in zoetwatervolume wordt gehaald door een verlaging van het zoet-zout grensvlak. Een verhoging van de grondwaterstand is echter nodig om de zoetwaterlens in evenwicht te houden met het omringende zoute grondwater volgens het BGH-principe. Het water wordt geïnfiltreerd in tijden van overschot en weer onttrokken in tijden van droogte.

Δ Zoet water beschikbaarheid = Δ Zoetwaterlens = f (hoeveelheid water geïnfiltreerd, bodemopbouw, lekweerstand, zoutgehalte grondwater, Δ GVG)

Freshmaker

Een extra zoetwatervoorraad wordt gecreëerd door actieve infiltratie van zoetwater in combinatie van het onttrekken van zout grondwater op een diepte van ongeveer 20 meter. Dit wordt gedaan om te voorkomen dat de zoetwaterbel opdrijft door de opwaartse kracht van het omringende zoute grondwater. De toename in zoetwatervolume wordt gehaald door een verlaging van het zoet-zout grensvlak en niet door een stijging van de grondwaterstand. Het water wordt geïnfiltreerd in tijden van overschot en weer onttrokken in tijden van droogte.

Δ Zoet water beschikbaarheid = Δ Zoetwaterlens = f (hoeveelheid water geïnfiltreerd, bodemopbouw, lekweerstand, laterale grondwaterstroming, diepe onttrekking zout water)



Verticale ASR

Door middel van verticale putten wordt actief water geïnfiltreerd in de ondergrond. Het geïnfiltreerde water is doorgaans van betere kwaliteit dan het grondwater in het pakket waarin geïnfiltreerd wordt. Het grondwater in het pakket mag niet te zout zijn om opdrijving te voorkomen. Het water wordt geïnfiltreerd in tijden van overschot en weer onttrokken in tijden van droogte.

Δ Zoet water beschikbaarheid = Δ Zoetwaterlens = f (hoeveelheid water geïnfiltreerd, bodemopbouw, lekweerstand, laterale grondwaterstroming, zoutgehalte grondwater)

Waterconservering door stuwen

Bij waterconservering door stuwen wordt in het voorjaar het peil actief verhoogd met als doel de voorjaarsgrondwaterstand te verhogen ten opzichte van de situatie zonder waterconservering. Het komt neer op een vertraging van de afvoer van het neerslagoverschot bij de aanvang van het groeiseizoen.

Δ Zoet water beschikbaarheid = f (Δ GWG, slootprofiel, beheersbaarheid waterlopen (zomer), overgangswaerstand van natte slootomtrek, kwel/wegzijging, bodemeigenschappen/hydrotype)

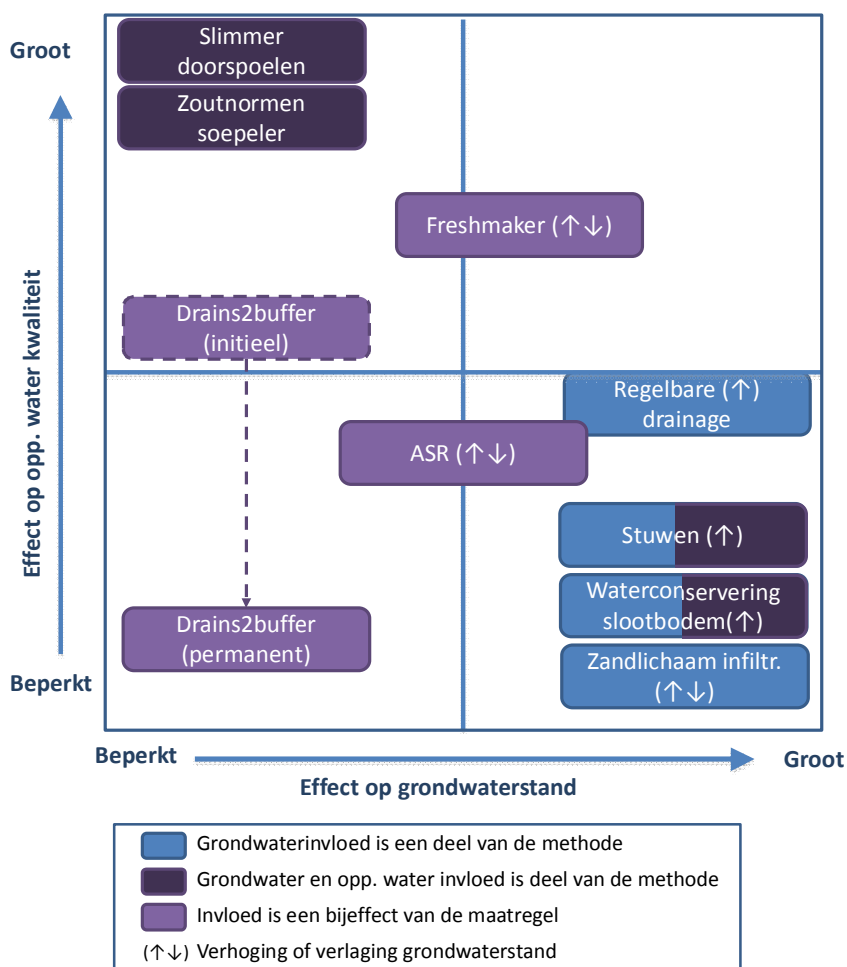
Waterconservering door slootboderverhoging

Waterconservering door slootboderverhoging is een passieve vorm van waterconservering. De situatie in de winter wordt structureel natter en daardoor is ook de voorjaarsgrondwaterstand hoger vergeleken met de situatie zonder slootboderverhoging.

Δ Zoet water beschikbaarheid = f (Δ GVG, slootprofiel, beheersbaarheid waterlopen (zomer), overgangswaerstand van natte slootomtrek, kwel/wegzijging, bodemeigenschappen/hydrotype)

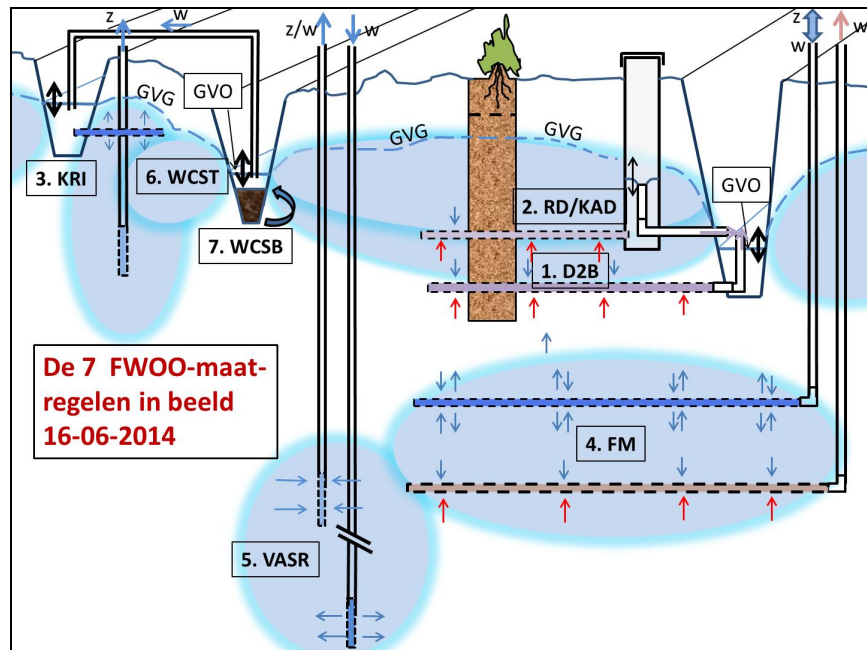
3.3 Uitstralingseffecten van oplossingen naar de omgeving

Oplossingen hebben niet alleen effect op de zoetwaterbeschikbaarheid op de locatie waarop de oplossing wordt toegepast, maar beïnvloeden ook het grondwater en oppervlaktewater in het aangrenzende gebied. Bij het maken van keuzes voor of tussen oplossingen is inzicht in deze uitstralingseffecten relevant. Onderstaande figuur geeft weer welke effecten bij welke oplossing kunnen worden verwacht. In de daarop volgende tekst worden deze effecten nader toegelicht.



Figuur 19 Uitsplitsing van de effecten op grondwaterstand en oppervlaktewaterkwaliteit in de omgeving van de verschillende typen oplossingen.

De oplossingen zijn schematisch gevisualiseerd in Figuur 20.



Figuur 20 Schematische visualisatie van zeven FWOO-oplossingen (Bron: De Bakelse Stroom)

Drains2buffer

Doel van de oplossing is vergroting van de zoetwatorvoorraad (reductie van zoutgehalte in wortelzone) zonder een verandering van de grondwaterstand teweeg te brengen. Er is daardoor geen sprake van uitstralingseffecten op de grondwaterstand. Na aanleg zal tijdens het instellen van een nieuw zoet-zoutevenwicht in het bovenste grondwater tijdelijk sprake zijn van een hoger zoutgehalte in het draineffluent (enkele jaren).

Regelbare drainage

Elke vorm van drainage (in Nederland de verzamelnaam voor alle vormen van buisdrainage) beïnvloedt de drainageweerstand-, en daarmee ontwatering van het bovenste grondwater. Als de afwatering in orde is zorgt drainage voor een verandering van de grondwaterstand, herverdeling van ondiep grondwater etc. De grondwaterstand wordt beïnvloed door de drainagebasis in een regelput aan te passen. De drainage kan worden 'uitgeschakeld' door de drainagebasis gelijk te stellen aan maaiveldhoogte; het drainage effect wordt gemaximaliseerd door de drainagebasis gelijk te stellen aan de drooglegging in de gebruikte afwateringsloten. Bij werkende drainage zal altijd sprake zijn van uitstralingseffecten naar de omgeving. De grootte van deze effecten worden vooral bepaald door de hydrologische eigenschappen van het gedraineerde profiel

(kD - en c -waarden) en de regionale stromingscomponenten ter plekke (kwel/wegzijging).

Kreekruginfiltratie

De grondwaterstand in het perceel waar kreekruginfiltratie wordt toegepast, zal iets toenemen en een uitstralingseffect hebben naar de omliggende percelen. De grootte van deze uitstraling hangt af van de doorlatendheid van de bodem (kD - en c -waarden) en de ontwatering in de omgeving van het perceel. Name-lijk, uitstraling naar omliggende percelen die gedraineerd zijn, zal beperkt zijn. Door het gebruik van het zoete oppervlaktewater voor actieve infiltratie zal in stroomafwaartse gebieden minder zoet oppervlaktewater beschikbaar zijn en kan eventueel een het zoutgehalte toenemen.

Freshmaker

Tijdens de periode van actieve infiltratie zal de stijghoogte in het pakket toenemen en daardoor de kwel (of afname infiltratie) in de directe omgeving. De grootte van dit effect uitstraling hangt voor een belangrijk deel af van de geohydrologische eigenschappen van het pakket waarin geïnfiltrated wordt en boven- of onderliggende slechtdoorlatende pakketten (kD - en c -waarden). Echter, de diepere onttrekking van zout grondwater zal dit effect (deels) compenseren. Door het gebruik van het zoete oppervlaktewater voor actieve infiltratie zal in stroomafwaartse gebieden minder zoet oppervlaktewater beschikbaar zijn en kan eventueel een het zoutgehalte toenemen. De onttrekking van zout water zal op het oppervlaktewatersysteem moeten worden geloosd en heeft daardoor een duidelijk verziltend effect op het stroomafwaarts gelegen oppervlaktewatersysteem.

Verticale ASR

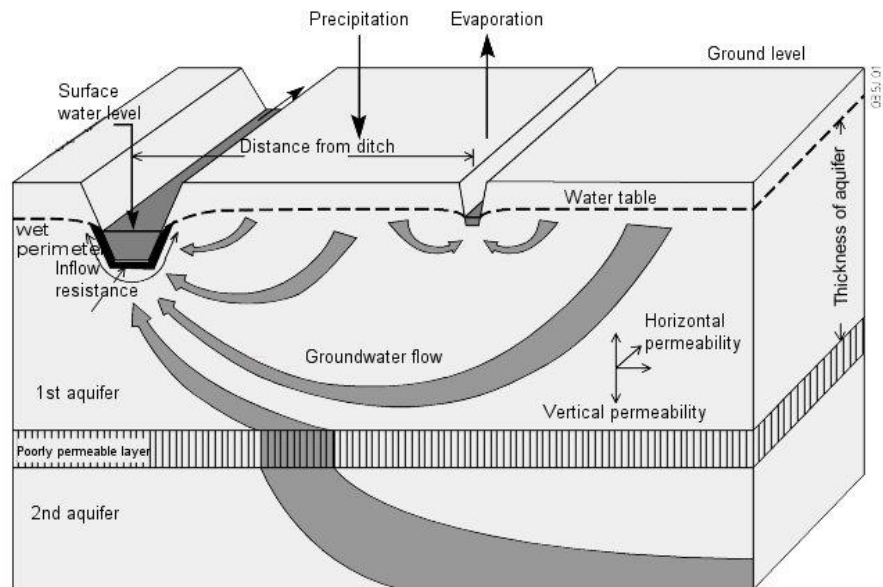
Tijdens de periode van actieve infiltratie zal de stijghoogte in het pakket toenemen en daardoor de kwel (of afname infiltratie). De grootte van dit effect uitstraling hangt voor een belangrijk deel af van de geohydrologische eigenschappen van het pakket waarin geïnfiltrated wordt en boven- of onderliggende slechtdoorlatende pakketten (kD - en c -waarden). Door het gebruik van het zoete oppervlaktewater voor actieve infiltratie zal in stroomafwaartse gebieden minder zoet oppervlaktewater beschikbaar zijn en kan eventueel een het zoutgehalte toenemen.

Waterconservering door stuwen en slootboderverhoging

Het uitstralingseffect van waterconservering door stuwen wordt bepaald door de plaatselijke interactie tussen grondwater en oppervlaktewater. Ook de gemiddelde grondwaterstand tijdens het opzetten van de peilen is van belang: onder natte omstandigheden zal het uitstralingseffect minder groot zijn dan



onder droge omstandigheden. De relatie tussen de oppervlaktewaterstand en de grondwaterstand is schematisch weergegeven in Figuur 21.

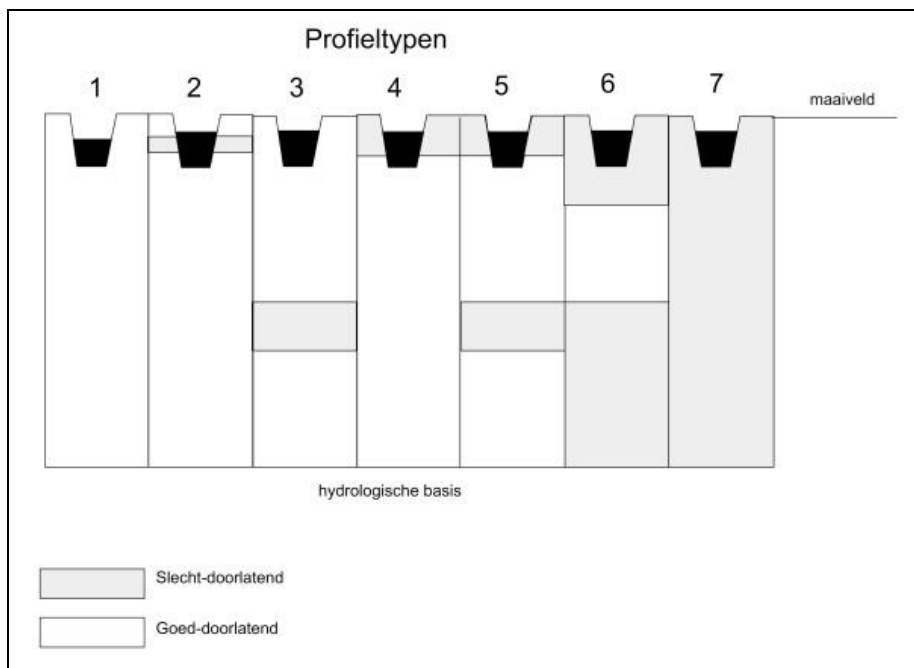


Figuur 21 Schematische weergave van de grondwaterstroming naar ontwateringsmiddelen en de belangrijkste parameters bij de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater

De belangrijkste factoren bij deze interactie, en daarmee bij het uitstralings-effect, zijn (Kant en Stuyt, 1980, Massop et al., 1997, 1998):

- de geohydrologische eigenschappen van de ondergrond, o.a. laagdiktes van geologische formaties, en hydraulische doorlatenheden
- de eigenschappen van het ontwateringsstelsel, o.a. afmetingen van sloten en kanalen en hun onderlinge afstand; aanwezigheid van drainage etc.
- de topografie
- de freatische bergingscoëfficiënt: het quotiënt van de verandering van het volume water boven een nader aan te geven referentievlak en de bijbehorende verandering van de grondwaterstand.

De eigenschappen van de ondergrond vertonen binnen een gebied een zekere variatie. Om recht te doen aan deze variatie in de ondergrond zijn op basis van de geohydrologische opbouw een aantal profieltypen te onderscheiden; zie Figuur 22.



Figuur 22 Schematische indeling van leidingen ten behoeve van waterbeheer in profieltypen (bron: Massop et al., 1997)

Deze hydrologische gebiedstypen of hydrotypen zijn op basis van het doorlaatvermogen van de watervoerende pakketten en de verticale weerstand van de slecht doorlatende lagen (kD - en c -waarden) nader in te delen. Enkele belangrijke criteria bij de indeling in hydrotypen zijn:

- de aanwezigheid en de dikte van een, mogelijk aanwezige, slecht doorlatende deklaag
- het doorlaatvermogen en de dikte van watervoerende geologische formaties
- de diepte en de dikte van eventuele slecht doorlatende geologische formaties.

Bijlage 1 beschrijft hoe de uitstralingseffecten op het grondwater kwantitatief kunnen worden geanalyseerd.

Oplossingen kunnen ook effect hebben op de afvoeren in de winter en in de zomer. En daardoor op de mogelijkheden hiervan gebruik te maken buiten het oplossinggebied. Als bijvoorbeeld door waterconservering door stuwen de afvoer in het voorjaar daadwerkelijk wordt teruggebracht, betekent dit benedenstrooms minder afvoer en mogelijk eerder droogval van waterlopen. De ruimtelijke relatie via het oppervlaktewater is relatief gemakkelijk te bepalen omdat in Nederland van elk 'peilvak' wel bekend is waar die op afwa-



tert en voor de zomer ongeveer bekend is hoe de aanvoer het gebied doorstroomt.

Met kennis over de afvoeren die in winter en zomer optreden is de mate van kwantitatieve beïnvloeding af te schatten. En dit is ook mogelijk voor conservatieve stoffen als zout wanneer de bronnen (zoals zoute kwel) redelijk bekend zijn.

3.4 Interferentie tussen oplossingen

De gedefinieerde oplossingen kunnen elkaar in hydrologische maar ook uitvoeringstechnische zin versterken of tegenwerken. Enkele primaire interferenties zijn in onderstaande matrix aangegeven (blauw is versterken, rood is tegenwerken). De getoonde matrix is niet compleet ingevuld en kan op basis van aanvullend onderzoek verder worden ingevuld.

| | D2B | RD | KRI | FM | VAS R | WC ST | WC SB |
|---------------------------------------------------|-----|----|-----|----|----------|----------|----------|
| Drains2buffer (D2B) | | 1 | | | | 2 | 2 |
| Regelbare drainage (RD) | | | | | | 3 | 4 |
| Kreekruuginfiltratie (KRI) | | | | | | | |
| Freshmaker (FM) | | | | | | | |
| Verticale ASR (VASR) | | | | | | | |
| Waterconservering door stuwen (WCST) | | | | | | | 5 |
| Waterconservering door slootboderverhoging (WCSB) | | | | | | | |

Toelichting op de in de matrix aangeduide interferentie:

1. Het ligt voor de hand de oplossing D2B te combineren met RD omdat daarmee in gebieden met zoute kwel de mogelijkheden van RD voor waterconservering c.q. subinfiltratie kunnen worden gecombineerd met het vergroten van de zoetwaterlens.
2. Het verlagen van de drainagebasis kan worden gefrustreerd door het verhogen van peilen in de sloten of het verhogen van de slootbodem.
3. Regelbare drainage kan profijt hebben van waterconservering door stuwen omdat met de stuwen de facto het peil in de drains kan worden geregeld. (NB. een vergunning voor regelbare drainage is bij sommige waterschappen gekoppeld aan het verhogen van het streefpeil,

om mogelijke verdrogingseffecten te voorkomen. Maar dit is een voorbeeld van bestuurlijk gewenste compensatie en is dus geen echte versterking vanwege de werking van het fysieke systeem).

4. RD kan last hebben van slootboderverhoging omdat daarmee het regelbereik kan worden ingeperkt.
5. Door slootboderverhoging worden de mogelijkheden van waterconservering door stuwen ingeperkt omdat een kleiner deel van een peilvak beheersbaar wordt.



4 Toets van kaarten en afwegingskader in casegebied

De in de voorgaande hoofdstukken beschreven methodiek is toegepast op een casegebied binnen het beheersgebied van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Doelstelling hiervan was het toetsen van de toepasbaarheid van de methodiek en het tegelijkertijd doorvoeren van verbeteringen hierin. Vanwege het laatstgenoemde doel is bij de toetsing in meer detail gewerkt dan noodzakelijk is bij het afwegen van toepassingsmogelijkheden van oplossingen op een regionaal schaalniveau. Er is bijvoorbeeld gemodelleerd met MODFLOW en SWAP om aannames in de methodiek te valideren en de wateropbrengst van specifieke oplossingen te berekenen op het schaalniveau van de waterbeheer afdelingen/deelgebieden in het casegebied. Het is niet strikt noodzakelijk om voor deze ramingen dergelijke modellen in te zetten. Ook door met expertkennis en gebiedskennis de verandering in de doelvariabelen te schatten kan een raming van de zoetwateropbrengst worden gemaakt. Ook deze aanpak is in de toets gevolgd.

Verbeterpunten die uit de toets naar voren zijn gekomen, hebben weerslag gekregen in de methodologische beschrijvingen in de hoofdstukken 2, 3 en 5. Naast de toets schetsen dit hoofdstuk en de bijlagen waarnaar vanuit dit hoofdstuk wordt verwezen, ook hoe effecten op het grondwater en oppervlaktewater in meer detail kunnen worden bepaald. De daarvoor gekozen aanpak is reproduceerbaar voor andere gebieden.

Belangrijk is te vermelden dat de toets is uitgevoerd op de technische uitvoerbaarheid van de methodiek. Er is daarom ook gebied gekozen met heterogene ondergrond en watersysteem kenmerken. Bij de toets is geen rekening gehouden met beleidsmatige en juridische beperkingen of voorschriften die in het gebied gelden. Denk daarbij bijvoorbeeld aan vergunningen, peilbesluiten, grondwaterbeschermingsgebieden en vigerende waterbeheerplannen. Het kan daarom voorkomen dat een gebied in de toets als 'kansrijk' is aangemerkt, terwijl in dat gebied momenteel vanuit beleidswege een verbod of negatief advies geldt. Het is de taak van regionale stakeholders om af te wegen of kans op succesvol toepassen van oplossingen aanleiding vormt voor het aanpassen van beleid en regelgeving. Deze 'governance stap' valt buiten het kader van de in dit rapport gepresenteerde methodiek. De methodiek geeft wel input voor het maken van deze stap.

4.1 Het casegebied: Wieringen/Wieringermeerpolder

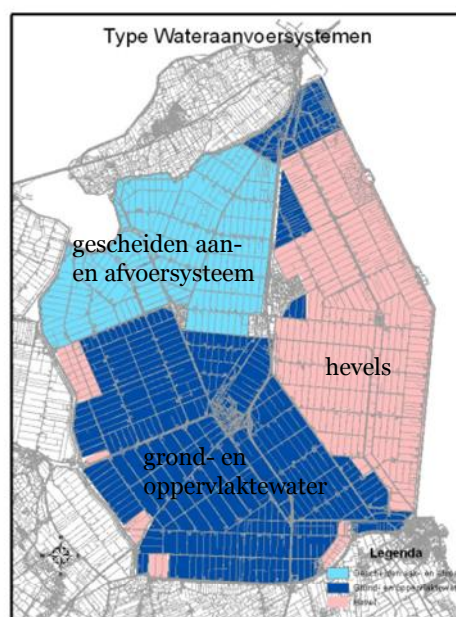
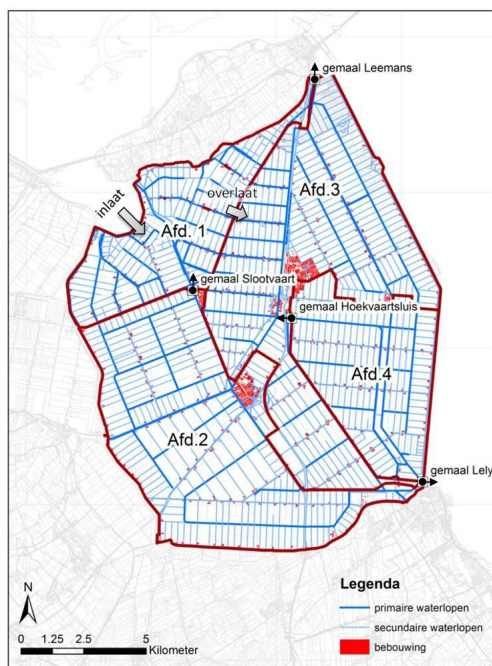
Er zijn verschillende delen van het beheersgebied van Hollands Noorderkwartier beoordeeld op bruikbaarheid voor de toets. Er is uiteindelijk gekozen voor Wieringen/Wieringermeerpolder vanwege de heterogeniteit van het landge-

bruik en de bodemopbouw, en vanwege de zoet/zout situatie. Daarmee is het een relatief complex gebied, wat het geschikt maakt voor een uitvoerige toets.

De Wieringermeerpolder ligt in het noordoosten van Noord-Holland en heeft een oppervlak van 19.840 hectare. De polder is in 1930 drooggemaakt en vanaf 1934 in cultuur genomen. De Wieringermeer is verdeeld in vier afdelingen van verschillende grootte (Figuur 23). Ten behoeve van het peilbeheer is geen wateraanvoer nodig vanwege de grote hoeveelheden (brakke) kwelwater (Velstra et al., 2013). Voor de teeltmogelijkheden wordt plaatselijk water aangevoerd vanuit de Amstelmeerboezem. De afvoer van de polder als geheel vindt plaats via twee gemalen Leemans en Lely. De hoofdafvoer van de polder is in noordelijke richting direct naar de Waddenzee via gemaal Leemans.

Naast de normale inlaat vindt aanvoer plaats via hevels over de IJsselmeerdijk. Deze hevels bedienen het gebied in de afdelingen 3 en 4. Volgens HHNK wordt de totale instroom vanuit de hevels geschat op ca. 1 miljoen m³/jaar. De meeste schattingen zijn echter hoger, met waarden tot 6 miljoen m³/jaar. Volgens opgave van enkele boeren is de hoeveelheid die door de hevel stroomt 60-70 m³/uur waarbij veelal gebruik wordt gemaakt van een pomp.

Het landgebruik van de afdelingen 1 en 2 is overwegend akkerbouw maar kent ook bollenteelt in het noordwesten. Het veel zoutere deel van de polder, afdeling 3 en 4, kenmerkt zich ook door overwegend akkerbouw. In het oppervlaktewater worden chloridegehalten gemeten van boven de 1.000 mg/l. In het gebied is ook een aantal natuurgebieden te vinden (o.a. Robbenoordbos en Dijkgatbos).





Figuur 23 a) Overzicht van de waterlopen, gemalen, inlaat en bebouwing in de Wieringermeer. b) type wateraanvoersystemen in de Wieringermeerpolder.

4.2 Verfijning van kansenkaarten voor casegebied

In hoofdstuk 2 is beschreven hoe de geschiktheid van de ondergrond bepalend is voor het succes van de toepassing van zeven oplossingen bepaald. Om die kansen inzichtelijk te maken zijn kaarten geconstrueerd op basis van gegevensbestanden met een landelijke dekking. Dit heeft geleid tot kaarten die op een regionaal schaalniveau een betrouwbaar beeld geven.

Gebruik van gedetailleerdere gegevensbestanden, die specifiek zijn voor een onderzoeksgebied, leidt tot nauwkeuriger kaarten. Voor het studiegebied Wieringen / Wieringermeerpolder is dit daarom gedaan. Hierbij is dezelfde methodiek toegepast als voor de landelijke uitwerking, maar dan met gebruik van lokale gegevens. De nationale geschiktheidskaarten kennen een gridcelgrootte van 250×250m. Voor de regionale uitwerking van het studiegebied kan door de beschikking over gedetailleerdere basisgegevens een gridcelgrootte van 100×100m worden behaald.

Hiernavolgend wordt per oplossing beschreven hoe de kansenkaarten zijn verfijnd en worden eventuele verschillen met de landelijke kaarten geëvalueerd. Het blijkt zinnig te zijn om een verfijning uit te voeren. In het geval van het casegebied tonen de kaarten die gebaseerd zijn op lokale informatie grotere kansen voor oplossingen dan de landelijke kaarten.

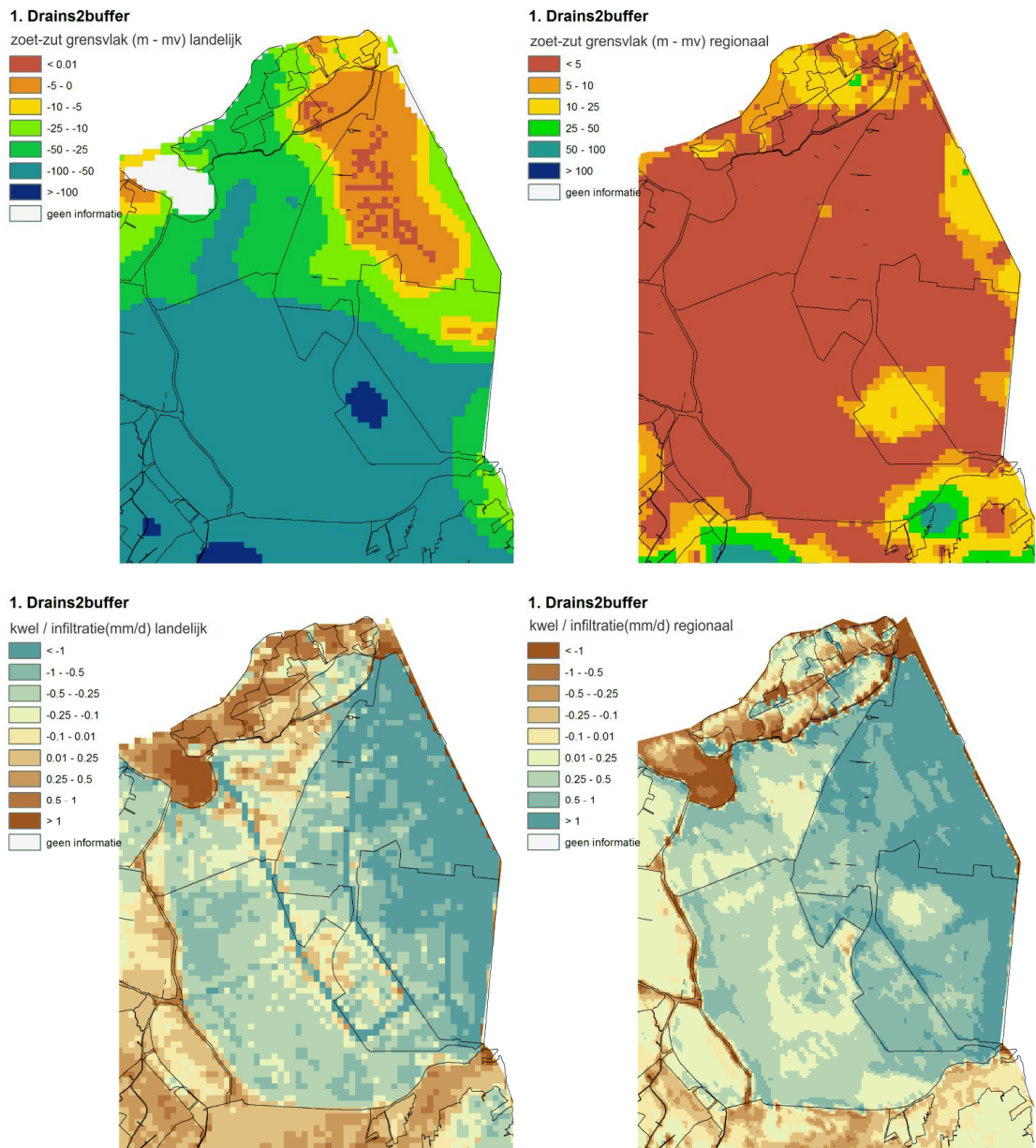
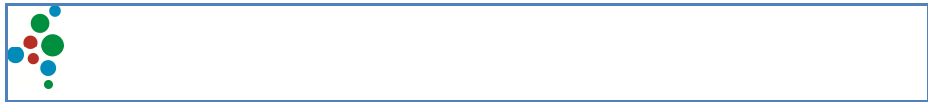
Drains2buffer

Voor de oplossing drains2buffer is voor 2 van de 3 ondergrondfactoren gedetailleerdere informatie beschikbaar op een regionaal schaalniveau. Het betreft het zoet-zout grensvlak (factor A) en de kwel – infiltratieflux (factor B). Beide gegevens komen uit een studie naar verzilting uitgevoerd door Acacia Water voor het beheersgebied van Hollands Noorderkwartier (Velstra et al., 2013).

Het DINO zoet-zout grensvlak (Cl = 1 g/l) is voor de landelijke kaarten gebruikt en laat een vrije diep grensvlak zien (> 50 m voor het zuidelijk deel van Wieringermeerpolder). Het verschil met de kaart uit de regionale studie is groot. Deze kaart laat juist een heel ondiep grensvlak zien voor bijna het gehele studiegebied (< 5 m). Het verschil kan worden verklaard door de aanwezigheid van een zoet-zout inversie (zout boven zoet grondwater). Deze is het gevolg van de zoetwaterbel van Hoorn in het tweede watervoerende pakket die zijn noordelijke uitloper heeft tot ongeveer halverwege de Wieringermeerpolder. De DINO-kaart maakt gebruik van regionale gegevens waar de zoetwaterbel van Hoorn leidend is geweest bij de bepaling van het zoet-zout grensvlak (onder-

kant bel). De regionale kaart echter is gebaseerd op gedetailleerdere gegevens (met name het ondiepe traject) en ook is de paleogeografische ontwikkeling meegenomen bij de bepaling van het grensvlak. Het ondiepe grensvlak in de Wieringermeerpolder is het gevolg van een recente inundatie door de zee (van ongeveer 1200 AD tot 1920 AD) waardoor zout grondwater boven op het aanwezige diepere zoete grondwater kon infiltreren.

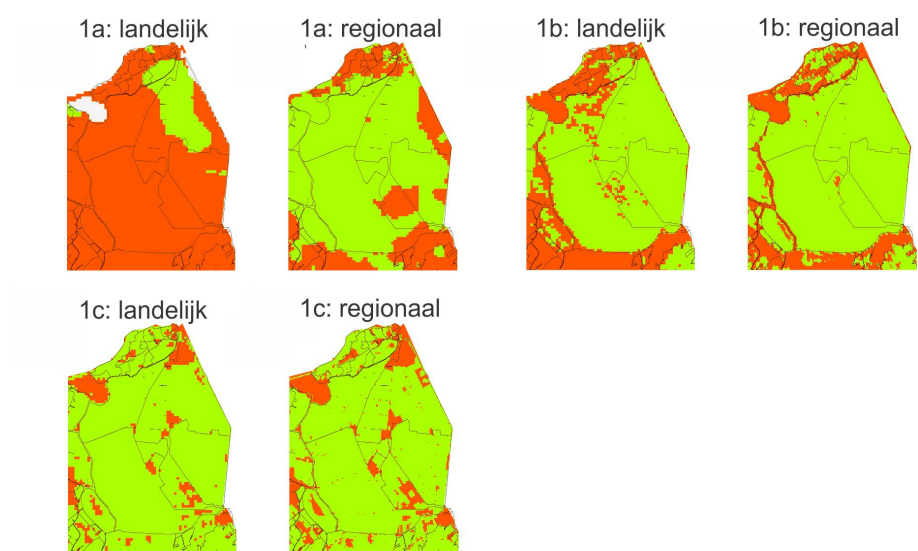
Voor de landelijke kaarten is de kwel / infiltratieflux gebruikt uit het landelijke NHI-model (Figuur 24, kwel = negatieve waarden). De kwel / infiltratieflux uit het grondwatermodel van HHNK laat een vergelijkbaar maar gedetailleerder beeld zien. Het regionale grondwatermodel zal de kwel- en infiltratieflux beter weergeven dan het landelijke grondwatermodel omdat nauwkeurigere, gedetailleerdere gegevens en gebiedskennis is meegenomen bij de opbouw en kalibratie van het regionale grondwatermodel.



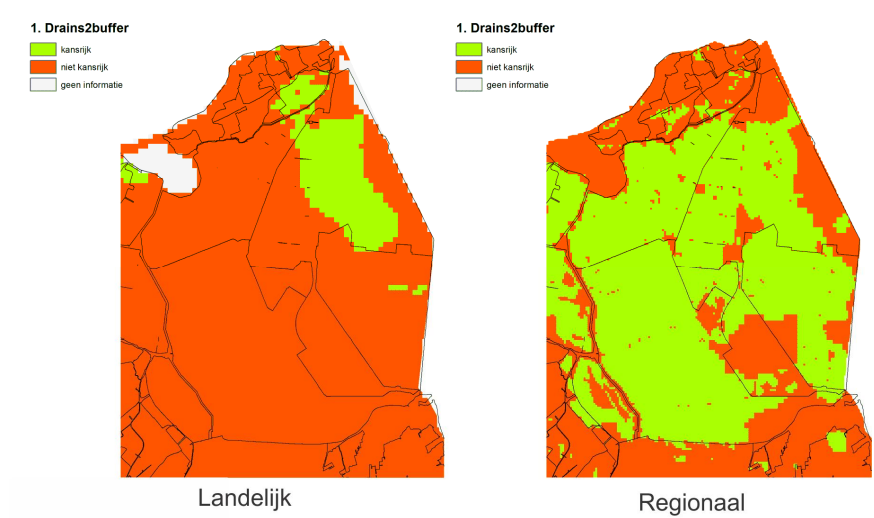
Figuur 24 Vergelijking tussen gebruikte informatie voor de landelijke (links) en regionale (rechts) uitwerking van de geschiktheidskaarten.

In Figuur 25 staan de scores van de factoren die geschiktheid voor drains2buffer bepalen weergegeven voor de landelijke en regionale uitwerking. Zoals hierboven besproken is voor factor A (diepte brak-zout grensvlak ondieper dan 5m-mv) en B (aanwezigheid van kwel) regionale informatie gebruikt. Voor factor C (geschiktheid voor diepere regelbare drainage) is geen gedetailleerdere informatie gebruikt (zie volgende paragraaf). In Figuur 26 staan beide

geschiktheidskaarten voor de landelijke en de regionale uitwerking. De regionale kaart laat een veel groter geschikt gebied zien voor drains2buffer als gevolg van het ondiepere zoet-zout grensvlak. Dit betekent dat de potentie van de oplossing groter is dan op basis van de landelijke gegevens werd verwacht.



Figuur 25 Vergelijking tussen de scores van de verschillende fysische factoren voor de landelijke en regionale geschiktheidskaart: oplossing drains2buffer.

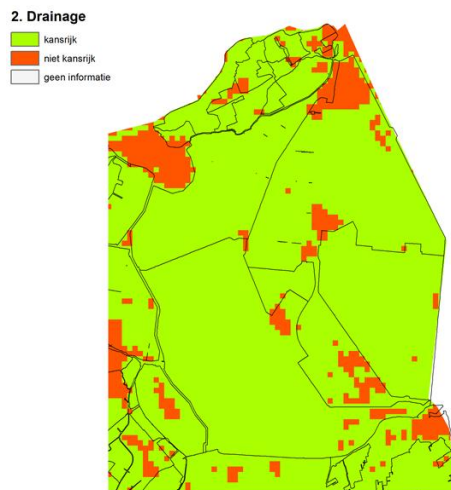


Figuur 26 Vergelijking de landelijke (links) en regionale (rechtst) geschiktheidskaart voor oplossing drains2buffer.



Regelbare drainage

De geschiktheid voor regelbare drainage is overgenomen uit de studie van Future Water (zie Hoofdstuk 2) en voor het studiegebied niet verder verfijnd. De landelijke kaart staat voor het studiegebied in onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 27 De landelijke geschiktheidskaart voor oplossing regelbare drainage.

Kreekruginfiltratie

Voor kreekruginfiltratie zijn op één na alle factoren voor het studiegebied opnieuw bepaald met behulp van gedetailleerdere informatie. In Figuur 30 worden de scores van de factoren die de geschiktheid bepalen weergegeven voor zowel de landelijke als de regionale uitwerking.

Factor A geeft de aanwezigheid van een zandige hoger gelegen kreekrug weer. Echter, ook andere hoger gelegen zandlichamen kunnen worden gebruikt voor infiltratie van zoetwater voor het laten groeien van een zoetwaterlens. In aanmerking komt het voormalige eiland Wieringen dat enkele meters boven zeeniveau uitsteekt en volgens Geotop zandig is ontwikkeld (zie Geotop profielen Figuur 28). Dit hoger gelegen ijstijdrelict (overreden stuwwal) is daarom aangemerkt als potentieel geschikt hoger gelegen zandlichaam voor infiltratie.

Factor B geeft de ligging in zout gebied weer. Het nieuwe zoet-zout grensvlak, zoals besproken bij de oplossing drains2buffer, is gebruikt voor de afbakening van het zoute gebied (grensvlak < 25 m-mv).

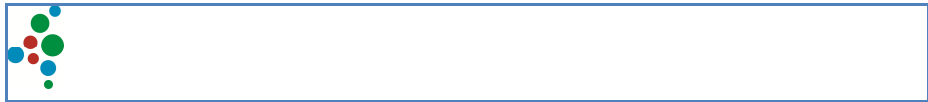
Factor C geeft het voorkomen van infiltratie weer. De gedetailleerdere kwel – en infiltratiekaart uit het regionale grondwatermodel van HHNK (besproken bij

de oplossing drains2buffer) is gebruikt voor de regionale uitwerking van het studiegebied.

Factor D geeft de geschiktheid voor infiltratie via drainagebuizen weer en is, zoals besproken bij de oplossing regelbare drainage, niet aangepast.

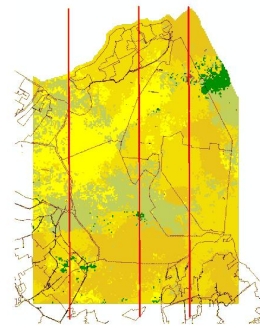
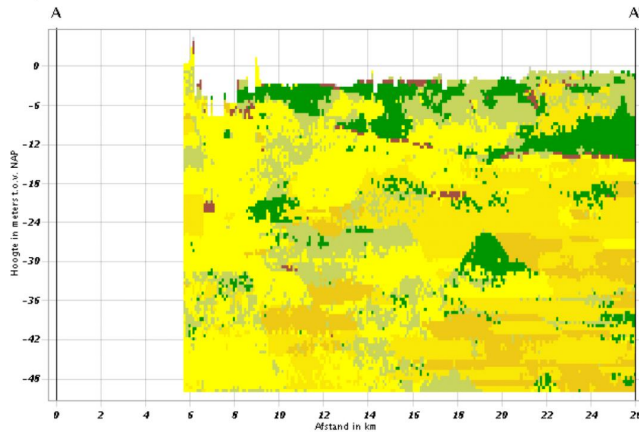
Factor E bepaalt hoeveel de grondwaterstand nog kan stijgen. Voor de landelijke kaart is de GHG uit het landelijke grondwatermodel NHI gebruikt. De berekende GHG van het regionale grondwatermodel van HHNK zou de meest logische optie zijn voor de regionale uitwerking. Echter, deze GHG werd te droog bevonden (door gebiedskenners en in vergelijking met de gt-kartering) en daarom is de GHG uit de gt-kartering van Alterra gebruikt.

Factor F geeft het voorkomen van klei- en veenlagen weer in het traject 2 tot 20 m-mv. Voor de landelijke kaart is hiervoor Dino NL-3D en REGIS gebruikt (zie hoofdstuk 2). Geotop was niet voor de landelijke uitwerking gebruikt omdat Geotop niet heel Nederland beslaat (zie figuur 5a voor gebied waarvoor de Geotop-kartering is uitgevoerd). Voor de regionale uitwerking voor het studiegebied is wel Geotop gebruikt. In Figuur 28 staan enkele noord-zuid Geotop profielen weergegeven die goed inzicht geven in de lithologische opbouw tot ongeveer -50 m NAP waarbij onderscheid tussen klei/veen en zand duidelijk zichtbaar is. Per halve meter diepte interval is de meest waarschijnlijke lithoklasse bekend en gebruikt voor de bepaling van het voorkomen van klei- en veenlagen.



Verticale Doorsnede GeoTOP v1.1

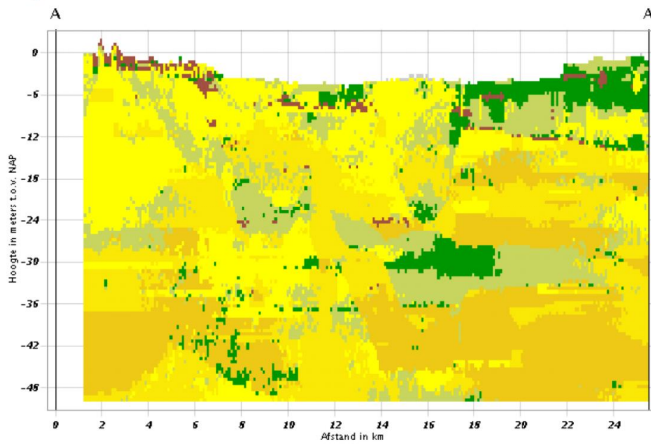
Hoogte t.o.v. NAP: -50



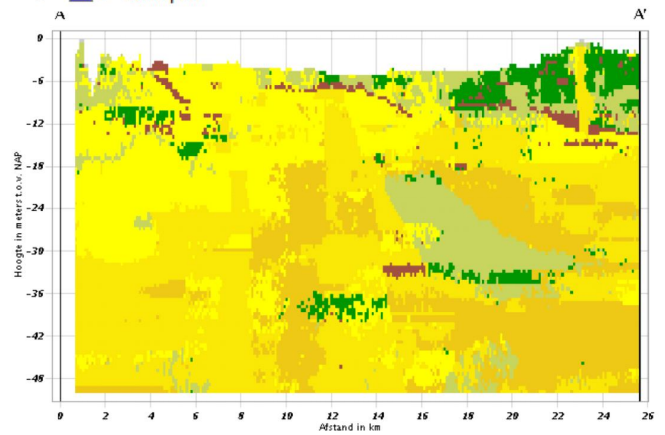
- 0 - Antropogene ophoging
- 1 - Organisch materiaal
- 2 - Klei
- 3 - Kleilig zand en zandige klei
- 5 - Zand, fijne categorie (63 - 150 micrometer)
- 6 - Zand, midden categorie (150 - 300 micrometer)
- 7 - Zand, grove categorie (300 - 2000 micrometer)
- 8 - Grind
- 9 - Schelpen

Verticale Doorsnede GeoTOP v1.1

Hoogte t.o.v. NAP: -50



Vertica
Hoogte:

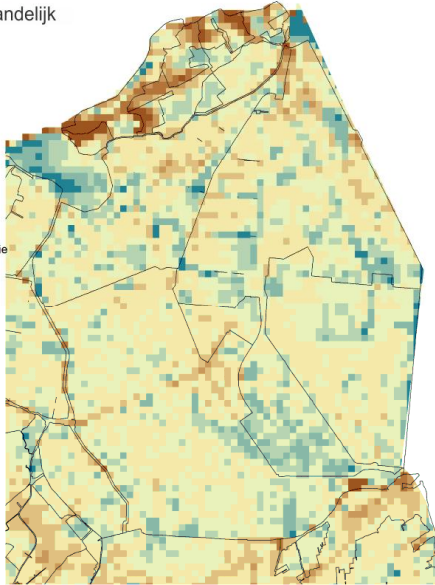
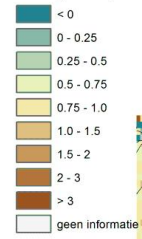


Figuur 28 Drie noord-zuid lithologische Geotop-profielen

In Figuur 31 staan de geschiktheidskaarten voor kreekruuginfiltratie voor zowel de landelijke als de regionale uitwerking. Gebruik van regionale gedetailleerde informatie leidt voor het studiegebied voor een iets groter gebied waar kreekruuginfiltratie kansrijk is. Dit gebied omvat een deel van het voormalige eiland Wieringen. In de Wieringermeerpolder lopen enkele oude zandige geulen maar de aanwezigheid van kwel maakt de gehele Wieringermeerpolder niet kansrijk voor kreekruuginfiltratie.

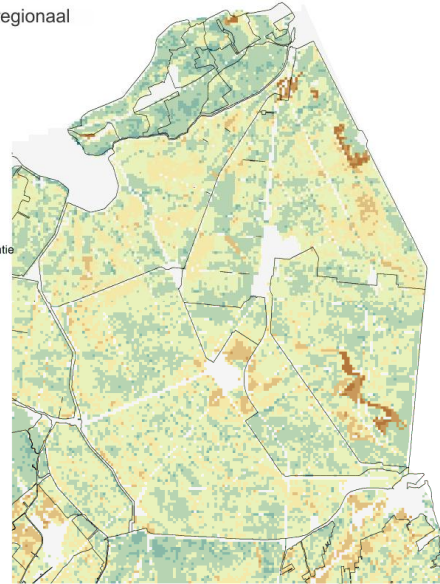
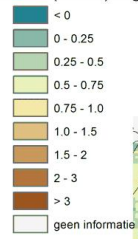
3. Kreekruginfiltratie

GHG (m-mv) landelijk

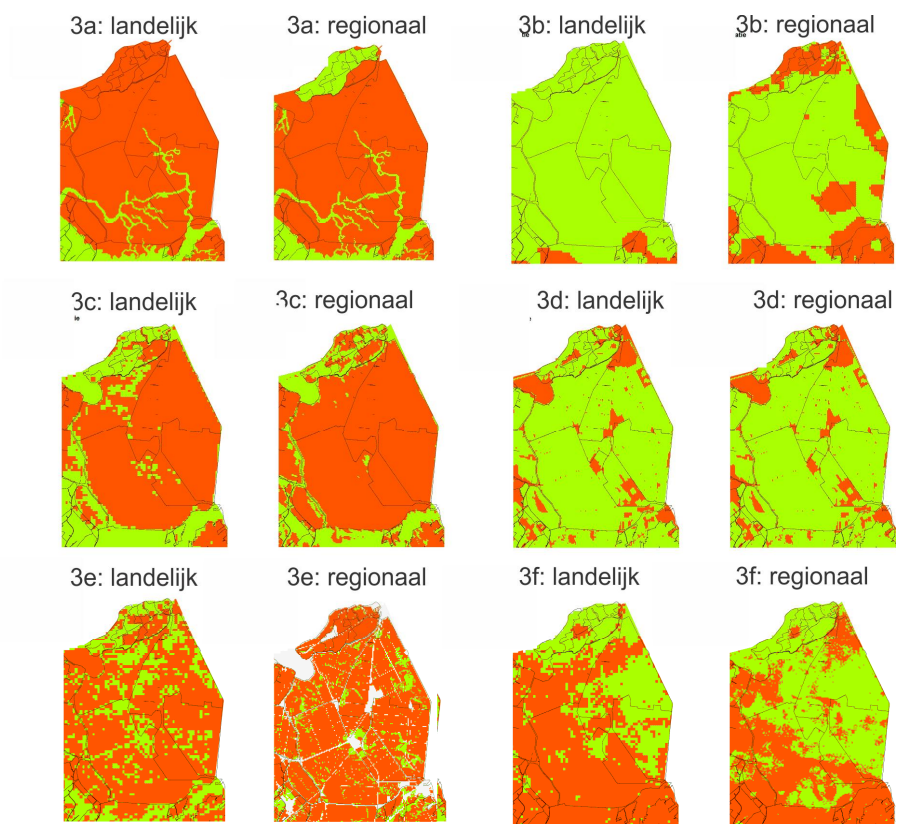


3. Kreekruginfiltratie

GHG (m-mv) regionaal

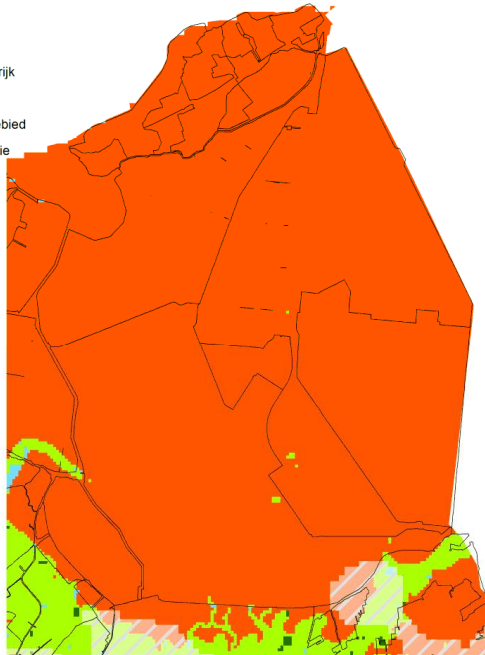


Figuur 29 Vergelijking tussen gebruikte informatie voor de landelijke (links) en regionale (rechts) uitwerking van de geschiktheidskaarten.



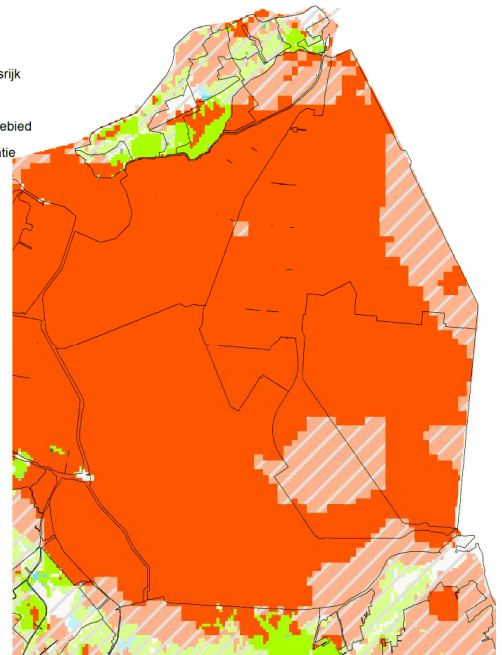
Figuur 30 Vergelijking tussen de scores van de verschillende fysieke factoren voor de landelijke en regionale geschiktheidskaart: oplossing kreekruiginfiltratie.

3. Kreekruginfiltratie



Landelijk

3. Kreekruginfiltratie



Regionaal

Figuur 31 Vergelijking de landelijke (links) en regionale (rechtst) geschiktheidskaart voor oplossing kreekruginfiltratie.

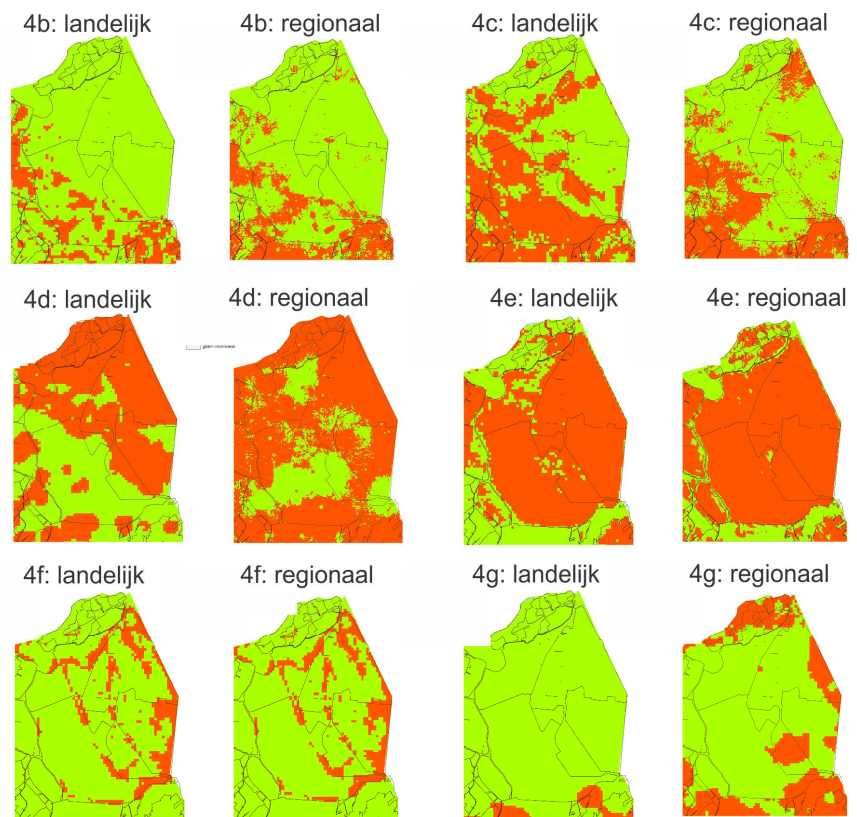
Freshmaker

Voor de bepaling van de geschiktheid van de Freshmaker voor het studiegebied zijn alle factoren aangepast met uitzondering van factor E (horizontale stroomsnelheid) omdat deze informatie niet beschikbaar was op het regionale schaalniveau. In Figuur 32 staan voor alle factoren de verschillen weergegeven tussen het gebruik van landelijke en meer gedetailleerdere, regionale informatie.

Factoren B, C en D geven het voorkomen van klei- en veenlagen in verschillende trajecten weer. Voor de regionale uitwerking is hiervoor Geotop gebruikt (zie kreekruginfiltratie) in plaats van de landelijke Dino NL-3D en REGIS. Hoewel het algemene beeld tussen de landelijke en regionale uitwerking redelijk met elkaar in overeenstemming is, zijn er lokaal duidelijk verschillen zichtbaar (Figuur 33).

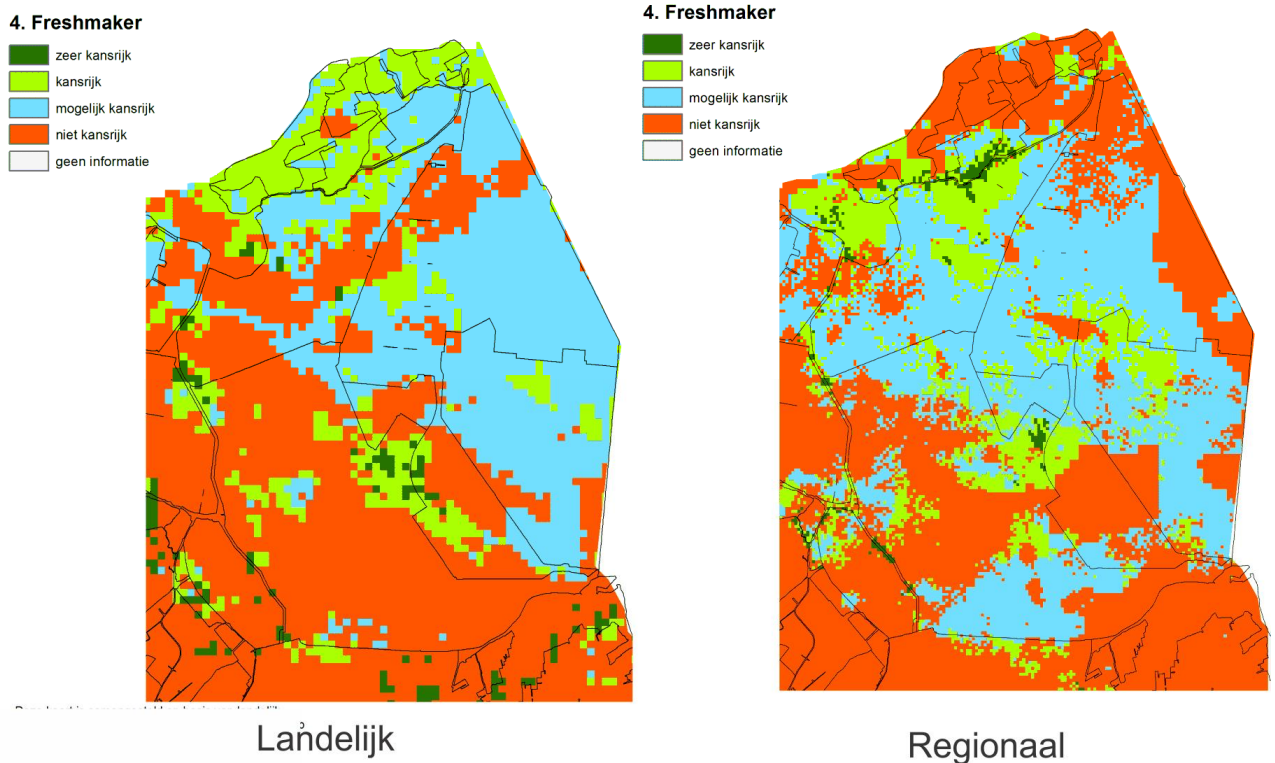
Meer dan 3 m dikke zoetwaterlenzen in zoute gebieden komen voor in infiltratiegebieden. Voor deze factor E is voor het studiegebied de kwel / infiltratiekaart van het grondwatermodel van HHNK gebruikt (zie kreekruginfiltratie).

Ook factor G, dat de ligging in het zoute gebied weergeeft (zie drains2buffer en kreekruginfiltratie) is voor de regionale uitwerking anders dan voor de landelijke uitwerking.



Figuur 32 Vergelijking tussen de scores van de verschillende fysieke factoren voor de landelijke en regionale geschiktheidskaart: oplossing freshmaker.

Figuur 33 laat de resulterende geschiktheidskaart zien voor zowel de landelijke als de regionale uitwerking. Het gebied waar de freshmaker mogelijk kansrijk is, heeft zich uitgebreid. Dit is voornamelijk het gevolg van het gebruik van Geotop. De geschiktheid voor de freshmaker op het voormalige eiland Wieringen neemt voor een groot gebied af en dit wordt voornamelijk bepaald door het feit dat het nu buiten het zoute gebied valt.



Figuur 33 Vergelijking de landelijke (links) en regionale (rechtst) geschiktheidskaart voor oplossing drains2buffer.

Verticale ASR

Voor de regionale uitwerking voor het studiegebied worden factoren C (horizontale stroomsnelheid) en E (doorlatendheid watervoerende pakket) niet opnieuw bepaald bij omdat betere gegevens ontbreken. Factoren A, B en D zijn wel aangepast.

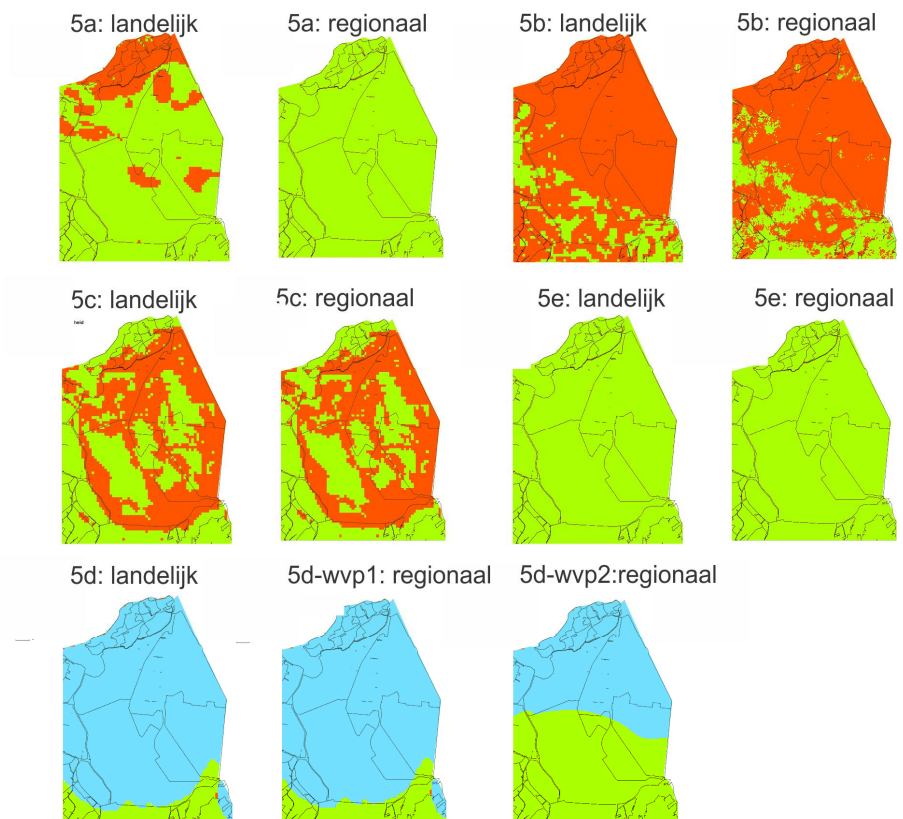
De Geotop-gegevens laten zien dat er voor het gehele gebied een watervoerend pakket aanwezig is dat dikker is dan 5 m (factor A). Voor het gehele gebied wordt deze factor daarom als gunstig geacht.

De Geotop gegevens laten een vergelijkbaar beeld zien wat betreft de dikte van de deklaag (factor B).

Zoals bij drains2buffer al opgemerkt, kent het studiegebied een zoet-zout inversie. Onder een laag met zout grondwater komt in het watervoerende pakket zoet grondwater voor, namelijk uitlopers van de zoetwaterbel van Hoorn. Deze zoetwaterbel is uiterst geschikt voor verticale ASR. Om dit verschil duidelijk voor het voetlicht te brengen, is bij de bepaling van de zoutconcentratie van het watervoerende pakket (factor D) onderscheid gemaakt tussen een ondiep watervoerend pakket dat zout grondwater bevat (aangeduid als WVP1) en een

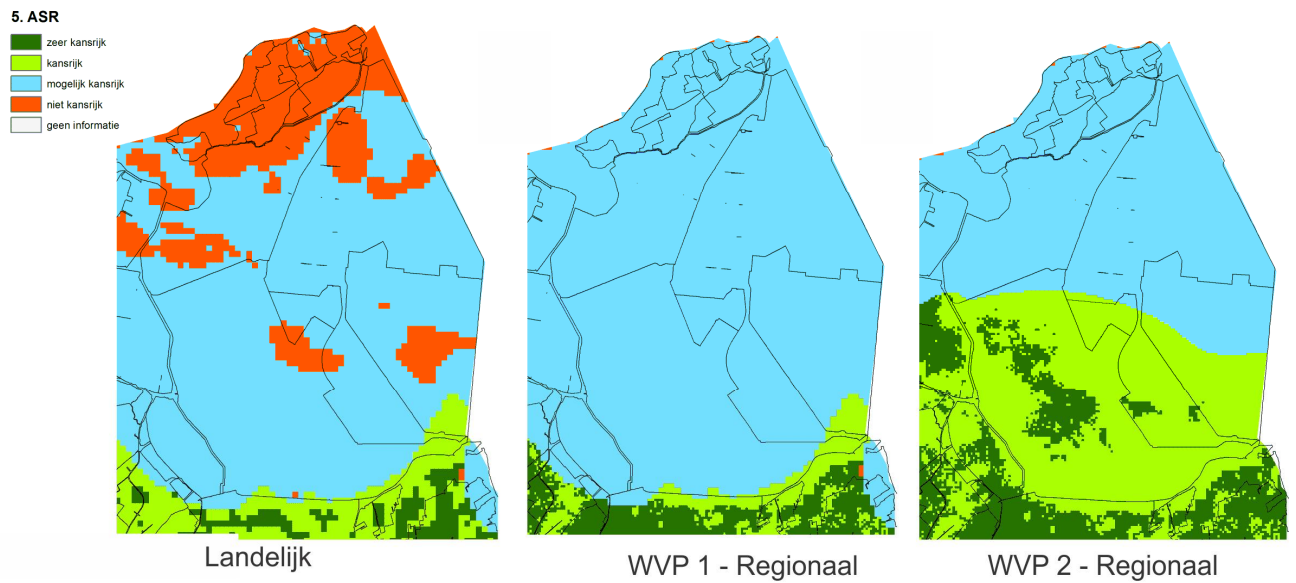


dieper watervoerend pakket waarin zich de zoetwaterbel van Hoorn bevindt (aangeduid als WVP2). Opgemerkt dient te worden dat niet helemaal duidelijk is in welk watervoerend pakket de zoetwaterbel zich precies bevindt, de termen WVP1 en WVP2 zijn daarom puur indicatief. Het DINO zoet-zout grensvlak is gebruikt voor de begrenzing van het voorkomen van de bel van Hoorn (zie drains2buffer).



Figuur 34 Vergelijking tussen de scores van de verschillende fysische factoren voor de landelijke en regionale geschiktheidskaart: oplossing verticale ASR. Voor factor D (zoutconcentratie) is onderscheid gemaakt tussen een zout ondiep watervoerend pakket (WVP1) en een dieper zoet watervoerend pakket waar de zoetwaterbel van Hoorn zich bevindt (WVP2).

De niet-kansrijke gebieden voor verticale ASR bij de landelijke uitwerking, verdwijnen bij de uitwerking op regionale schaal voor het studiegebied (zie Figuur 35). Dit wordt veroorzaakt door gebruik te maken van Geotop voor de bepaling van de dikte van het watervoerende pakket in plaats van de modelschematisatie volgens NHI (zie hoofdstuk 2). Daarnaast laat de regionale uitwerking zien dat met regionale gebiedskennis, in dit geval het meenemen van de zoetwaterbel van Hoorn, een veel groter gebied als kansrijk voor verticale ASR kan worden aangemerkt.



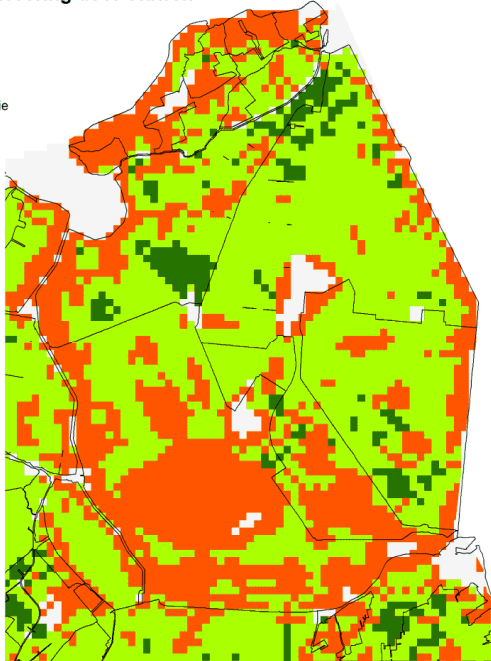
Figuur 35 Vergelijking van de landelijke (links) en regionale (WVP1 – midden; WVP2 rechts) geschiktheidskaart voor oplossing verticale ASR.

Waterconservering door stuwen en slootbodemplafondverhoging

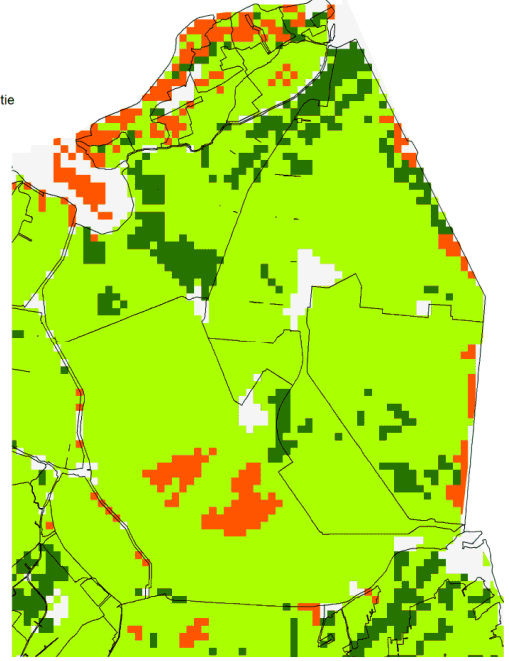
De landelijke geschiktheidskaarten voor waterconservering door stuwen en door slootbodemplafondverhoging zijn voor de regionale uitwerking voor het studiegebied niet aangepast. De reden hiervoor is dat voor de enige factor die significant zou veranderen, de spreidingslengte, het te bewerkelijk is om binnen de mogelijkheden van dit project een verfijning uit te voeren. Er zou daarbij gebruik moeten worden gemaakt van Geotop-informatie.



6. Water conservering door stuwen



7. Waterconservering door slootbodemverhoging



Figuur 36 Uitsneden van de landelijke geschiktheidskaart voor oplossing waterconservering door stuwen (links) en door slootbodemverhoging (rechts).

4.3 Raming van verandering van doelvariabelen

De doelvariabelen zijn meetbare of berekenbare hydrologische variabelen die door de oplossingen worden beïnvloed (zie paragraaf 3.1). Het beoogde effect van oplossingen wordt gerelateerd aan de verandering van de hydrologische doelvariabelen op 1 april ten opzichte van de uitgangssituatie. Deze verandering is idealiter te berekenen met een regionaal hydrologisch model indien bekend is waar (in welke gridcellen) en hoe (bijv. hoe een stuwpeil in het voorjaar wordt verhoogd) oplossing X wordt geïmplementeerd.

Op basis van expertise en gebiedskennis is voor elke oplossing het maximaal mogelijke, beoogde effect ingevuld. Dit is een verbijzondering van Tabel 7. Waar mogelijk is gebruik gemaakt van de geografische informatie die in eerste instantie al werd gebruikt bij de ontwikkeling van de kanskaarten. Ter toelichting: de maximaal mogelijke verhoging van de GVG wordt nu begrensd geacht door de hoogst mogelijke GVG per landgebruikstype. Het resultaat van deze raming is samengebracht in Tabel 8.

Tabel 8 Maximaal mogelijk, beoogd effect van oplossingen in het studiegebied, raming op basis van gebiedskennis en expert judgement

| Oplossing | Beoogd effect | | | |
|---------------------------------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|---------------------------------------------|
| | Δ zoet-waterlens (m) | Δ GVG (m) | Δ GVO (m) | Beschikbaarheid |
| Drains2buffer (D2B) | 0,5 | 0 | 0 | verzilting bestrijding op het perceel |
| Regelbare drainage (RD) | 3 | 0,3 | 0 | reductie uitzakken / verzilting bestrijding |
| Kreekruuginfiltratie (KRI) | 5 | 0,4 | 0 | oppompen water uit ondergrond |
| Freshmaker (FM) | 10 | 0 | 0 | oppompen water uit ondergrond |
| Verticale ASR (VASR) | 15 | 0 | 0 | oppompen water uit ondergrond |
| Waterconservering door stuwen (WCST) | 0 | 0,2 | 0,4 | reductie uitzakken / verzilting bestrijding |
| Waterconservering door slootbodemverhoging (WCSB) | 0 | 0,2 | -0,1 | reductie uitzakken / verzilting bestrijding |



4.4 Effecten van oplossingen op (grond)waterberging

De toets op effecten op grondwater en oppervlaktewater is beperkt tot drie typen oplossingen die kansrijk zijn voor het proefgebied, invloed hebben op de GVG en via het grondwater 'uitstralende effecten' hebben op het oppervlaktewater, nl:

- *Regelbare drainage (RD)*
- *Waterconservering door stuwen (WCST)*
- *Waterconservering door slootbodemplafondverhoging (WCSB).*

4.4.1 Aanpak van en uitgangspunten voor de toets

In paragraaf 4.2 is de fysieke geschiktheid van het casegebied bepaald door verschillende karteerbare kenmerken te waarderen. Deze analyse heeft geresulteerd in kaarten die aangeven waar bepaalde oplossingen resp. niet kansrijk, kansrijk en zeer kansrijk zijn. Uitvoering van een hydrologische oplossing in een bepaald gebied beïnvloedt echter ook de omgeving, bijv. bij het opzetten van het peil lekt water weg naar de omgeving waar het peil niet is opgezet.

De mate van invloed, bijv. de toename van kwel of verandering van de grondwaterstand, is niet of beperkt meegenomen bij de beoordeling van de fysieke geschiktheid. Bij de uiteindelijke beoordeling of een oplossing geschikt is, is daarom ook de hydrologische interactie met de omgeving belangrijk om te beschouwen. De doorwerking van een oplossing naar de omgeving wordt sterk bepaald door:

- *de gebiedsgrootte van de ingreep.* Een ingreep, bijv. waterconservering d.m.v. stuwen, over een groot gebied, bijv. een peilvak, heeft een grotere doorwerking naar de omgeving dan een ingreep op een enkele kavelsloot langs een perceel. Met een model is elke willekeurige gebiedsgrootte door te rekenen.
- *de eigenschappen van de ondergrond.* De doorwerking is ook afhankelijk van de opbouw van de ondergrond (geohydrologische eigenschappen, kD en c-waarden). De opbouw van de ondergrond is zeer variabel binnen Nederland. Om dit te illustreren zijn in Tabel 9 de gemiddelde hydraulische eigenschappen van 2 STONE-plots weergegeven, resp. ge-

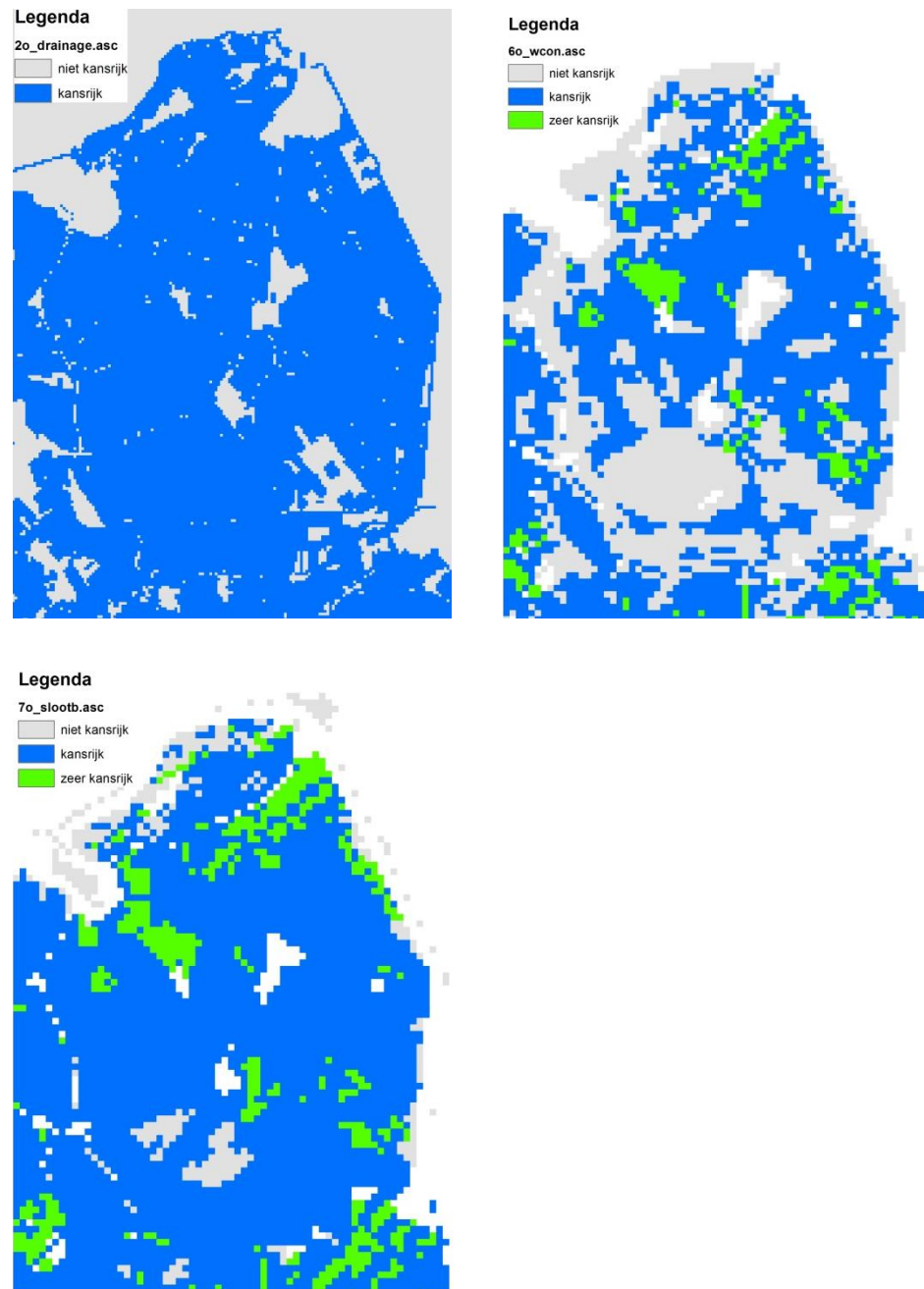
leggen in laag Nederland (Wieringermeer) en hoog Nederland (Achterhoek) ontleend aan het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI). In het NHI is de ondergrond geschematiseerd in 7 watervoerende pakketten (kD-waarde) en 6 scheidende lagen (c-waarde). In laag Nederland komen vaak slecht doorlatende lagen met hoge weerstanden (c-waarde) aan maaiveld voor, in hoog Nederland zijn deze weerstanden veelal geringer of ontbreken.

Tabel 9 Hydraulische eigenschappen (kD en c) voor twee locaties in resp. Laag Nederland (Wieringermeer) en hoog Nederland (Achterhoek)

| UC | Wieringermeer | Achterhoek |
|------------|---------------|------------|
| kD1 | 8 | 26 |
| c1 | 1050 | 18 |
| kD2 | 203 | 318 |
| c2 | 513 | 48 |
| kD3 | 352 | 844 |
| c3 | 89 | 5415 |
| kD4 | 420 | 404 |
| c4 | 544 | 5 |
| kD5 | 1112 | 153 |
| c5 | 1 | 1 |
| kD6 | 4271 | 10 |
| c6 | 731 | 1 |
| kD7 | 297 | 16 |

Met het model MODFLOW kunnen effecten op het grondwater inzichtelijk worden gemaakt. De Wieringermeer is daarvoor als proefgebied gekozen.

De kansenkaarten voor de drie onderzochte oplossingen zijn weergegeven in Figuur 37.



Figuur 37 Kaarten met verschillende oplossingen ingedeeld naar kansen

Voor de modelberekeningen zijn de drie klassen uit de kansenkaarten uitgedrukt in de potentiële GVG-verhoging in meter (zie Tabel 10). Daarbij is uitgegaan van de ramingen uit Tabel 8. Het maximaal mogelijk effect van WCST en WCSB (0,2m GVG verhoging) is toegekend aan de klasse 'zeer kansrijk'. Voor

gebieden met het predicaat ‘kansrijk’ is aangenomen dat de GVG verhoging circa 0,1m is.

Om effecten van een specifieke oplossing door te rekenen worden 2 berekeningen uitgevoerd, nl:

- Voor de referentiesituatie, met de uitgangs-GVG
- Voor de situatie na implementatie van de oplossing, met de verhoogde GVG.

Er is aangenomen dat de ingreep 100% doorwerkt op de GVG in het gebied waarin de oplossing wordt genomen.

Tabel 10 Vertaaltabel van kans naar GVG-verhoging in m

| Oplossing | niet kansrijk 0 | Kansrijk 1 | zeer kansrijk 2 |
|----------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Regelbare drainage | 0 | 0,3 | |
| Waterconservering door stuwen | 0 | 0,1 | 0,2 |
| Waterconservering door slootbodempverhoging | 0 | 0,1 | 0,2 |

In gebieden met een hoge GVG zal uitvoering van een oplossing kunnen leiden tot grotere gewasschade, waardoor de oplossing minder zinvol is. Omdat gewassen verschillen in gevoeligheid voor natte omstandigheden is in Tabel 11 de maximaal toelaatbare GVG weergegeven voor verschillende gewassen.

Tabel 11 Maximaal toelaatbare GVG per gewas

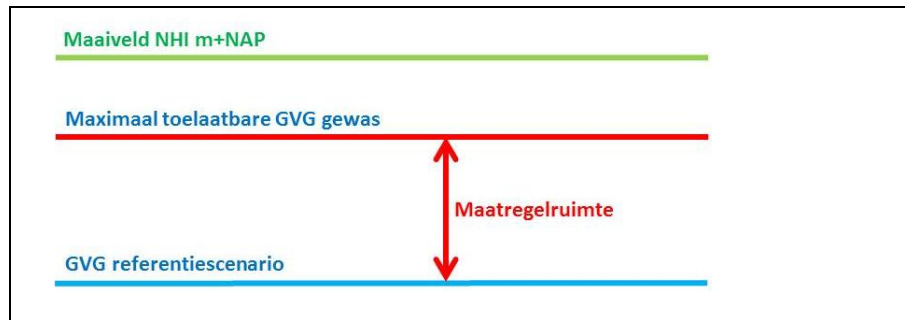
| Landgebruik | GVG max cm tov mv |
|-------------------------|--------------------------|
| Gras | 40 |
| Mais | 50 |
| Aardappelen | 60 |
| suikerbieten | 60 |
| Granen | 60 |
| overige landbouw | 60 |
| boomteelt | 60 |
| boomgaard | 80 |
| bollen | 60 |
| loofbos | 50 |
| licht naaldbos | 40 |
| stedelijk | 100 |



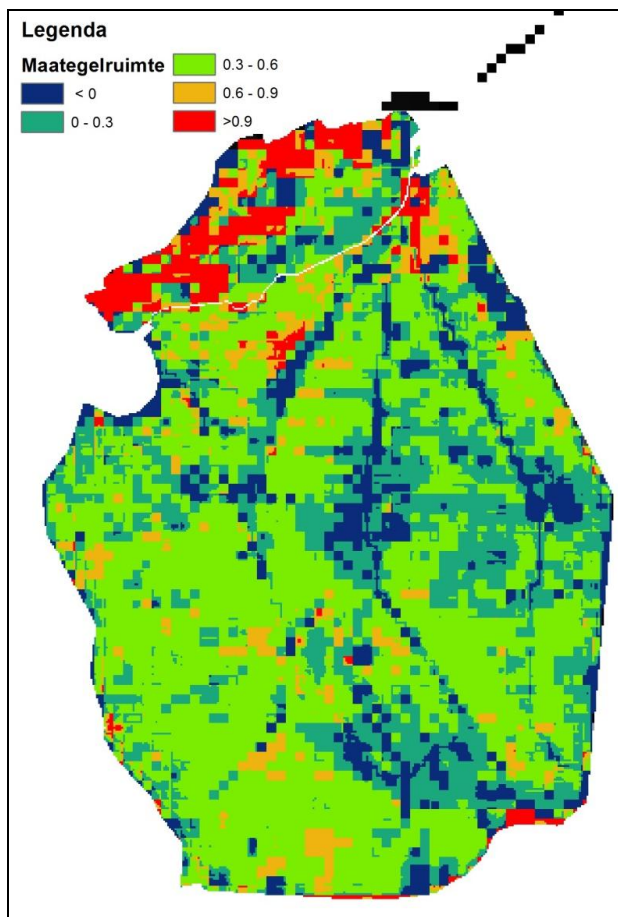
donker naaldbos

40

Om te kunnen bepalen of een oplossing volledig kan worden doorgevoerd is de maximaal toelaatbare GVG-verhoging, de “maatregelruimte”, bepaald. De maximaal toelaatbare GVG per gewas t.o.v. maaiveld is bepaald door landgebruik uit het NHI te classificeren m.b.v. Tabel 11. In Figuur 39 is de maatregelruimte in kaart gebracht door een herclassificatie van de landgebruikskaat.



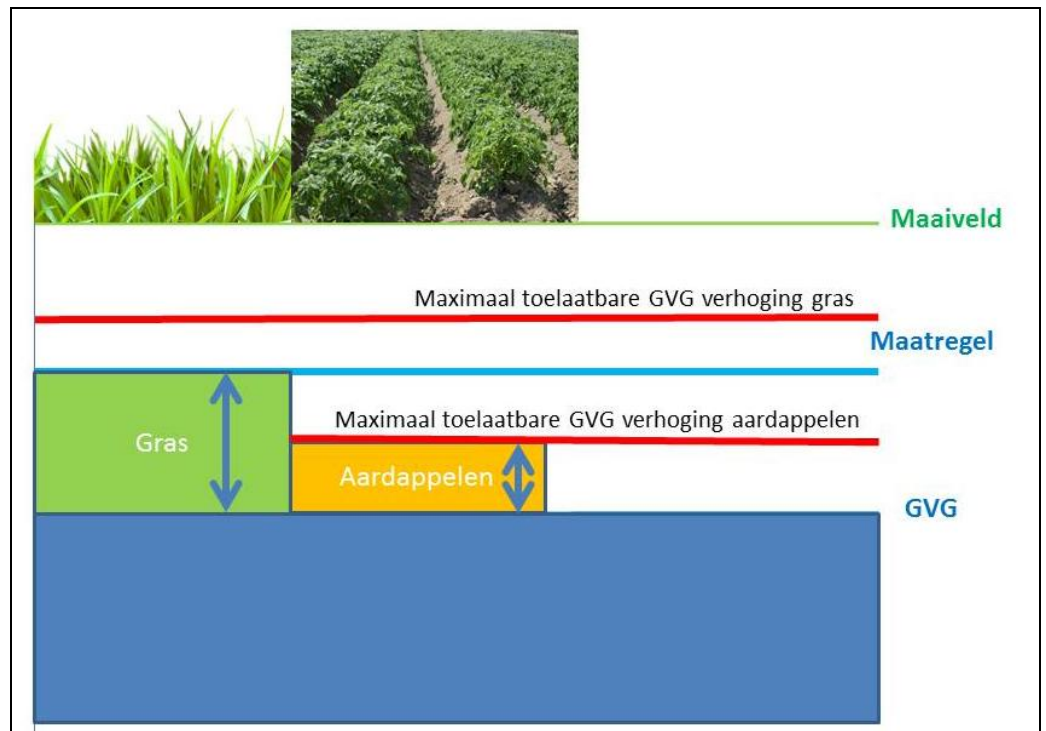
Figuur 38 Bepaling van de maatregelruimte



Figuur 39 Maatregelruimte in het casegebied

De kanskaarten (Figuur 37) zijn m.b.v. Tabel 10 omgezet in potentiële oplossingkaarten. Met behulp van de maatregelruimte kaart (Figuur 39) zijn oplossingkaarten afgeleid die als invoer worden gebruikt voor de effectberekening. Bij het afleiden van de oplossingkaarten kunnen zich twee situaties voordoen, nl.:

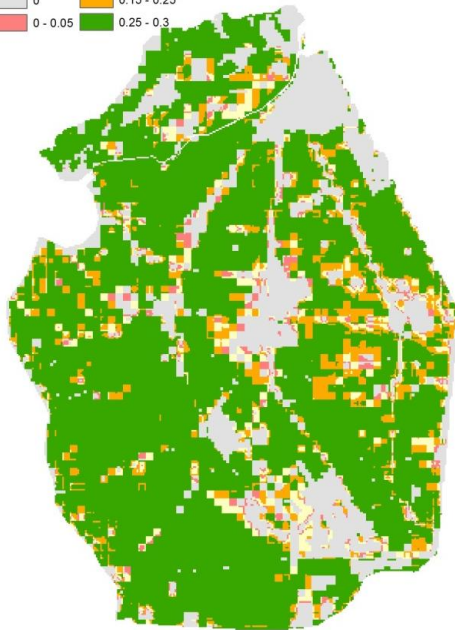
1. Toelaatbare GVG-verhoging is groter dan de oplossing, bijv. bij gras in Figuur 40, in dit geval wordt de oplossing maximaal doorgevoerd.
2. Toelaatbare GVG-verhoging is kleiner dan de oplossing, bijv. bij aardappelen in Figuur 40, in dit geval wordt de oplossing gelijk aan de maximaal toelaatbare GVG-verhoging.



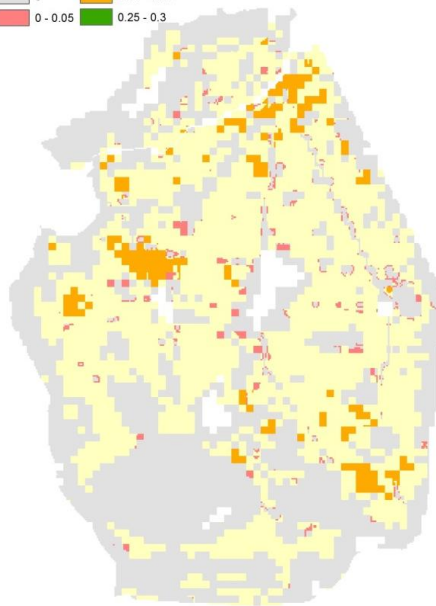
Figuur 40 Correctie oplossing door rekening te houden met maximaal toelaatbare GVG-verhoging

In Figuur 41 zijn resulterende, geoptimaliseerde oplossingskaarten weergegeven, waarbij tevens voor een aantal landgebruik situaties zoals glastuinbouw en natuur geen oplossingen worden genomen ondanks dat de locaties als kansrijk zijn geclassificeerd.

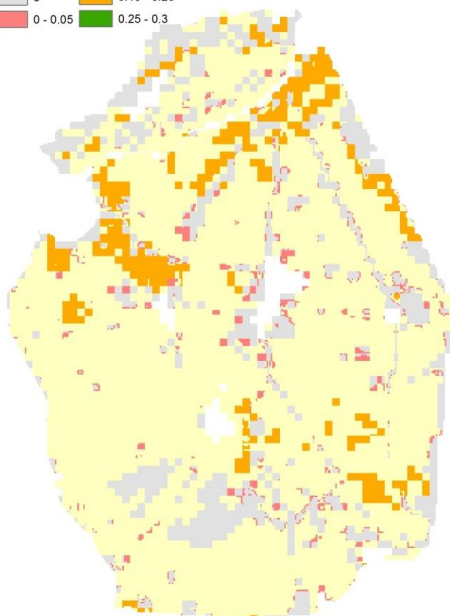
Legenda



Legenda



Legenda



Figuur 41 GVG verhoging [m] door toepassing van Regelbare Drainage (RD, linksboven), waterconservering m.b.v. stuwen (WCST, rechtsboven) en waterconservering d.m.v. slootboderverhoging (WCSB, linksonder)



4.4.2 Resulterende veranderingen in kwel en waterberging

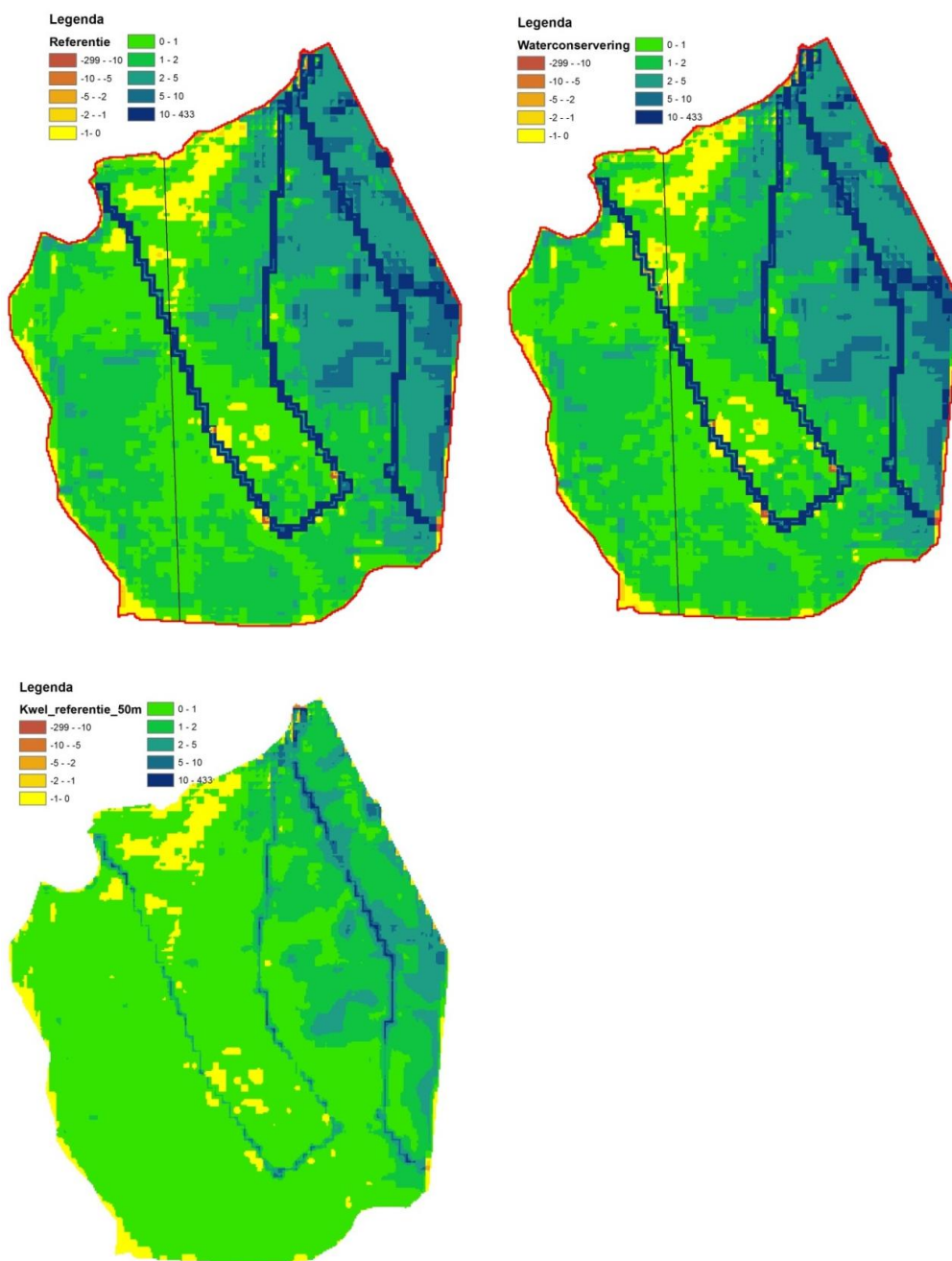
Het effect van de oplossingen uit zich in de modeluitkomsten als veranderingen in kwel en veranderingen in de grondwaterstand. De verandering in de grondwaterstand wordt hiernavolgend benoemd als de verandering in de 'grondwaterberging' (stijging grondwaterstand = toename van de berging in het grondwater). De kwantificering daarvan wordt in deze paragraaf beschreven.

Om de modelresultaten te beoordelen is als eerste stap gekeken of het MODFLOW model resultaten oplevert die overeenkomen met het NHI. In Figuur 42 zijn drie kwelkaarten weergegeven, nl:

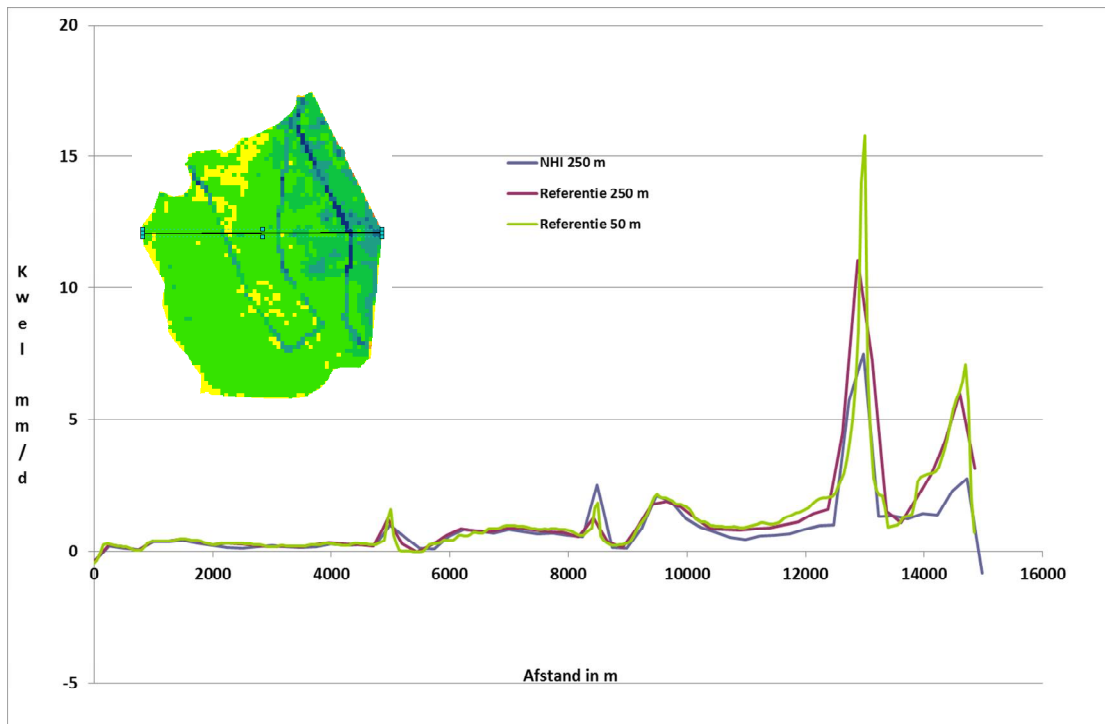
- Kwelkaart volgens NHI (Bosatlas van Nederland Waterland),
- Kwelkaart referentieberekening met gridgrootte 250 m,
- Kwelkaart referentieberekening met gridgrootte van 50 m.

In Figuur 42 komen de patronen in de drie figuren goed overeen, verder zijn de vaarten goed zichtbaar in alle drie figuren. Buiten de vaarten is de kwel het grootst aan de oostkant van de Wieringermeer. Wat verder opvalt, is dat er gebieden met wegzijging voorkomen binnen de Wieringermeer (gele gebieden).

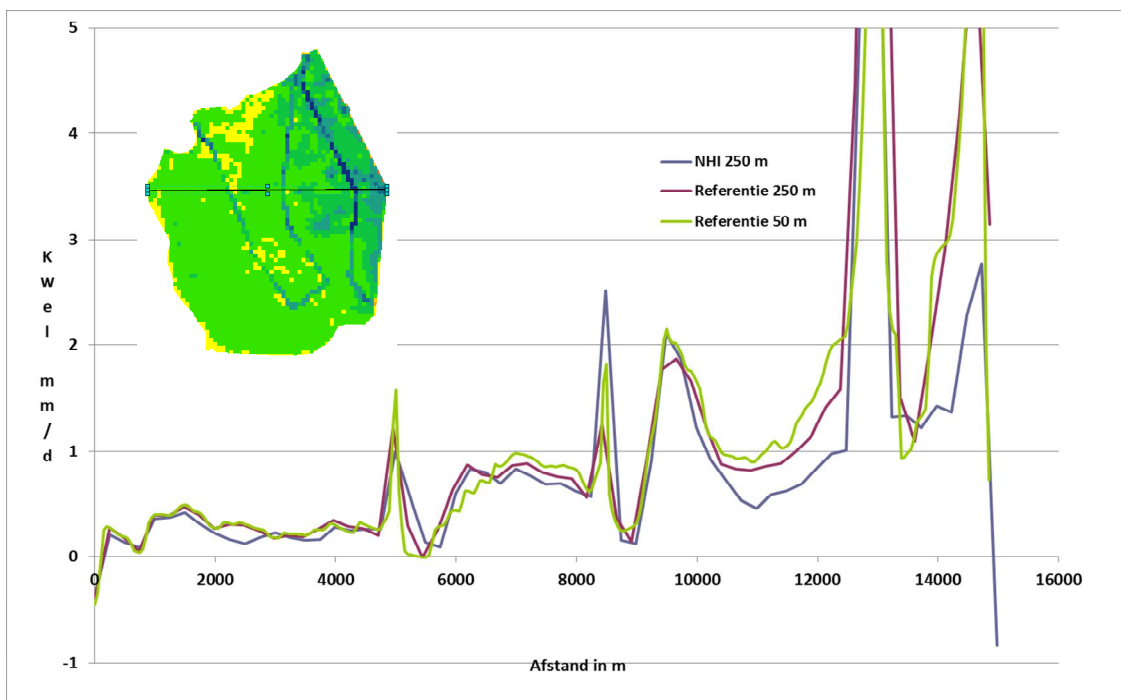
In Figuur 43 is de kwelintensiteit in een West-oost-raai weergegeven voor de drie kaarten. Uit Figuur 43 blijkt dat de grootte van de kwel goed overeenkomt tussen de drie kaarten, in Figuur 44 is verder ingezoomd op het eerste deel van de raai.



Figuur 42 Kwelkaart volgens NHI (Bosatlas Nederland Waterland) en op basis modelberekening MODFLOW voor gridgrootte 250 m en 50 m



Figuur 43 Kwel in mm/d in West-oost raai door Wieringermeer



Figuur 44 Kwel in mm/d in West-oost raai door Wieringermeer

De kwelwaarden komen goed overeen (Tabel 12). De referentiesituatie geldt voor een stationaire situatie met neerslag van 0,8 mm/d.

Tabel 12 Kwel in mm/d en m³/dag voor de onderscheiden deelgebieden

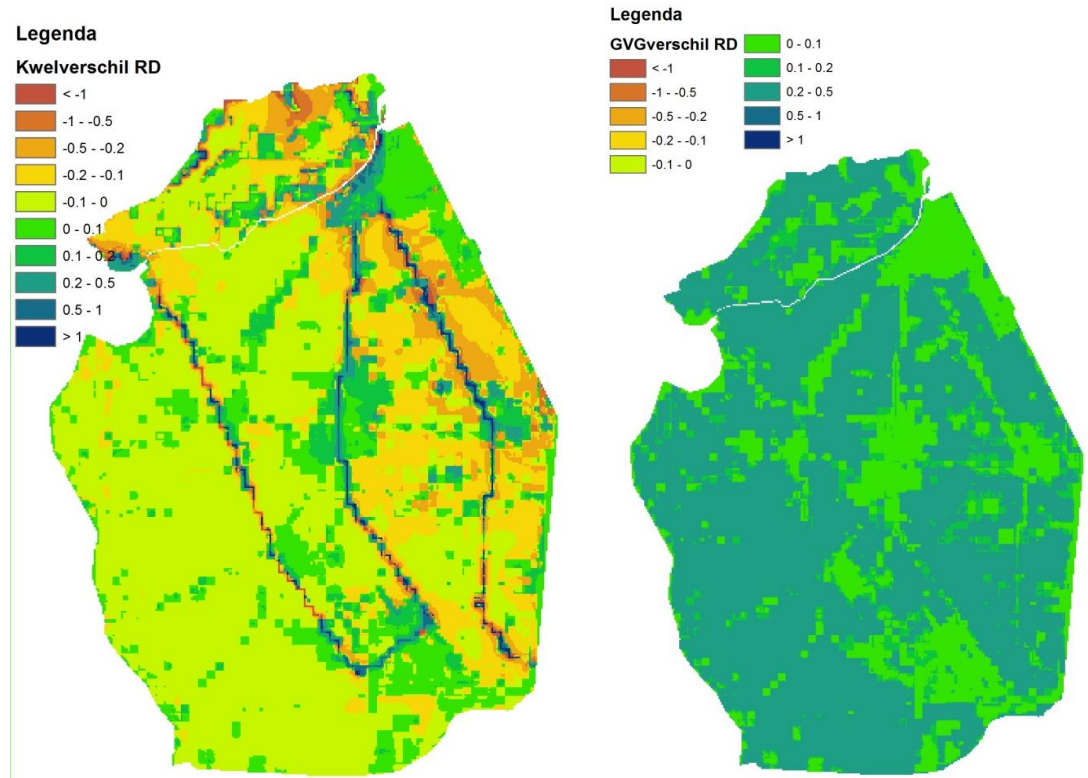
| Gebied | NHI_250 mm/d | Ref_250 mm/d | Ref_50 mm/d | NHI_250 m3/d | Ref_250 m3/d | Ref_50 m3/d |
|----------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Oosterlanderkoog | -0.45 | -0.52 | -0.39 | -2257 | -2649 | -2046 |
| Waard-Nieuwland | 0.02 | 0.13 | 0.21 | 111 | 624 | 967 |
| Hippolytushoeverkoog | -0.42 | -0.49 | -0.42 | -3104 | -3557 | -3087 |
| Hoelmerkoog | -0.44 | -0.44 | -0.46 | -2240 | -2274 | -2385 |
| Westerlanderkoog | -0.61 | -0.66 | -0.64 | -726 | -785 | -799 |
| Afdeling 1 | 0.24 | 0.32 | 0.39 | 7500 | 10271 | 12410 |
| Afdeling 4 | 1.31 | 1.53 | 1.42 | 42611 | 49708 | 46616 |
| Afdeling 3 | 1.12 | 1.53 | 1.44 | 77158 | 105141 | 99226 |
| Afdeling 2 | 0.40 | 0.42 | 0.42 | 26262 | 27556 | 27517 |
| Totaal | | | | 145316 | 184036 | 178419 |

Hiernavolgend is voor de drie typen oplossingen uitgewerkt welk effect zij hebben op het grondwaterregime, in de vorm van de verandering van de kwelsituatie en de verandering in de hoeveelheid grondwaterberging. De hoeveelheid grondwaterberging is de maat voor het gewenste effect van de oplossingen: de toename van de zoetwaterbeschikbaarheid.



Regelbare drainage (RD)

Figuur 45 toont het verschil tussen kwel en GVG in de referentiesituatie en na implementatie van Regelbare drainage.



Figuur 45 Kwelverschil (links) en verschil in GVG (rechts) tussen de referentieberekening en de oplossing regelbare drainage

Uit Figuur 45 blijkt dat er gebieden zijn met afname van de kwel en toename van de kwel, overeenkomend met gebieden waar wel (afname kwel) en geen (toename) oplossingen worden genomen, in Tabel 13 zijn de effecten op de kwel gekwantificeerd voor de vier afdelingen waarin de Wieringermeer is opgedeeld en de vijf deelgebieden die samen Wieringen vormen.

Tabel 13 Verandering in de kwel

| Gebied | Kansrijk | Gridcellen aantal | Area ha | Gemiddeld mm/d | Kwel m ³ /d |
|-----------------------------|---------------|----------------------|----------------|-------------------|---------------------------|
| Afdeling 1 | Totaal | 12614 | 3153.5 | -0.038 | -1207 |
| | Niet | 645 | 161.25 | 0.340 | 548 |
| | Kansrijk | 11969 | 2992.25 | -0.059 | -1754 |
| Afdeling 2 | Totaal | 26027 | 6506.75 | -0.044 | -2839 |
| | Niet | 1440 | 360 | 0.090 | 325 |
| | Kansrijk | 24587 | 6146.75 | -0.051 | -3165 |
| Afdeling 3 | Totaal | 27607 | 6901.75 | -0.016 | -1123 |
| | Niet | 5104 | 1276 | 0.140 | 1792 |
| | Kansrijk | 22503 | 5625.75 | -0.052 | -2915 |
| Afdeling 4 | Totaal | 13122 | 3280.5 | -0.066 | -2157 |
| | Niet | 401 | 100.25 | 0.135 | 136 |
| | Kansrijk | 12721 | 3180.25 | -0.072 | -2292 |
| Hippolytushoeverkoog | Totaal | 2937 | 734.25 | -0.043 | -314 |
| | Niet | 521 | 130.25 | 0.016 | 21 |
| | Kansrijk | 2416 | 604 | -0.056 | -336 |
| Hoelmerkoog | Totaal | 2086 | 521.5 | -0.108 | -564 |
| | Niet | 73 | 18.25 | -0.008 | -1 |
| | Kansrijk | 2013 | 503.25 | -0.112 | -563 |
| Oosterlanderkoog | Totaal | 2118 | 529.5 | -0.219 | -1158 |
| | Niet | 791 | 197.75 | 0.104 | 205 |
| | Kansrijk | 1327 | 331.75 | -0.411 | -1363 |
| Waard-Nieuwland | Totaal | 1851 | 462.75 | -0.072 | -334 |
| | Niet | 128 | 32 | 0.274 | 88 |
| | Kansrijk | 1723 | 430.75 | -0.098 | -422 |
| Westerlanderkoog | Totaal | 498 | 124.5 | -0.148 | -184 |
| | Niet | 234 | 58.5 | 0.247 | 145 |
| | Kansrijk | 264 | 66 | -0.499 | -329 |
| Totaal | | 88860 | 22215 | -0.044 | -9881 |

Door opzetten van het peil neemt de kwel af (negatieve getallen in Tabel 13). Over de hele Wieringermeer en Wieringen is de afname 9.881 m³/d. Alleen in de gebieden waar geen oplossingen worden genomen ('niet kansrijk') neemt de kwel toe.

Door opzetten van het peil in het voorjaar wordt extra water vastgehouden binnen het gebied waar de oplossing plaatsvindt (Figuur 41), maar zal ook de



grondwaterstand stijgen in het aangrenzende gebied. In Tabel 14 zijn de gemiddelde verhogingen van de grondwaterstand weergegeven alsmede een vertaling naar m³, uitgaande van een bergingsfactor van 0,1. Bij regelbare drainage blijft het oppervlaktewaterpeil (systeem van samengestelde drainage met verzamelputten) gelijk zodat er geen extra water wordt geborgen in de waterlopen.

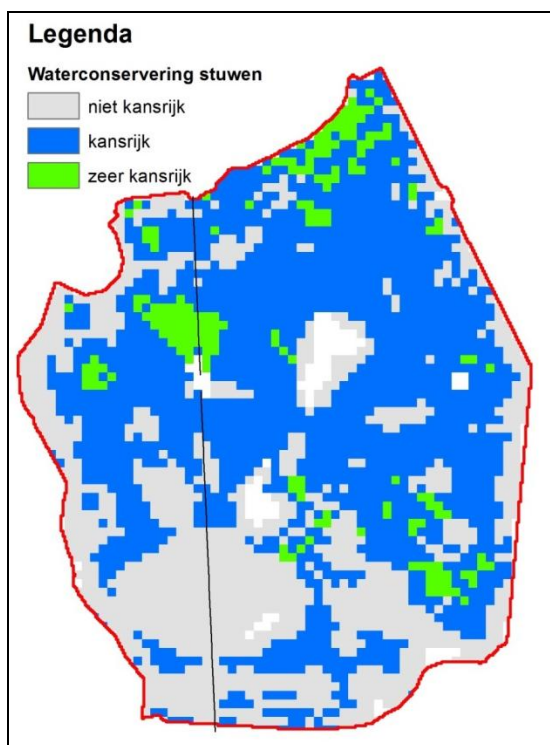
Tabel 14 Bergingsverandering grondwater voor deelgebieden binnen de Wieringermeerpolder en Wieringen

| Gebied | Kansrijk | Gridcellen aantal | Area ha | Gemiddeld m | Berging m ³ |
|-----------------------------|---------------|----------------------|----------------|----------------|---------------------------|
| Afdeling 1 | Totaal | 12614 | 3153.5 | 0.230 | 723772 |
| | Niet | 645 | 161.25 | 0.036 | 5786 |
| | Kansrijk | 11969 | 2992.25 | 0.240 | 717987 |
| Afdeling 2 | Totaal | 26027 | 6506.75 | 0.261 | 1695550 |
| | Niet | 1440 | 360 | 0.053 | 18933 |
| | Kansrijk | 24587 | 6146.75 | 0.273 | 1676617 |
| Afdeling 3 | Totaal | 27607 | 6901.75 | 0.180 | 1243031 |
| | Niet | 5104 | 1276 | 0.026 | 32810 |
| | Kansrijk | 22503 | 5625.75 | 0.215 | 1210221 |
| Afdeling 4 | Totaal | 13122 | 3280.5 | 0.240 | 787209 |
| | Niet | 401 | 100.25 | 0.046 | 4590 |
| | Kansrijk | 12721 | 3180.25 | 0.246 | 782619 |
| Hippolytushoeverkoog | Totaal | 2937 | 734.25 | 0.219 | 160970 |
| | Niet | 521 | 130.25 | 0.161 | 20958 |
| | Kansrijk | 2416 | 604 | 0.232 | 140012 |
| Hoelmerkoog | Totaal | 2086 | 521.5 | 0.248 | 129404 |
| | Niet | 73 | 18.25 | 0.198 | 3620 |
| | Kansrijk | 2013 | 503.25 | 0.250 | 125784 |
| Oosterlanderkoog | Totaal | 2118 | 529.5 | 0.200 | 106150 |
| | Niet | 791 | 197.75 | 0.073 | 14399 |
| | Kansrijk | 1327 | 331.75 | 0.277 | 91751 |
| Waard-Nieuwland | Totaal | 1851 | 462.75 | 0.197 | 91385 |
| | Niet | 128 | 32 | 0.039 | 1255 |
| | Kansrijk | 1723 | 430.75 | 0.209 | 90130 |
| Westerlanderkoog | Totaal | 498 | 124.5 | 0.210 | 26170 |
| | Niet | 234 | 58.5 | 0.123 | 7210 |
| | Kansrijk | 264 | 66 | 0.287 | 18960 |
| Totaal | | 88860 | 22215 | 0.223 | 4963641 |

In totaal wordt er 4,96 miljoen m³ extra water geborgen tot opzichte van de referentiesituatie.

Waterconservering met stuwen (WCST)

In Figuur 46 is de oplossing waterconservering m.b.v. stuwen ruimtelijk weergegeven voor alleen de Wieringermeer. Tevens is een raai van noord naar zuid over de Wieringermeer gelegd waarlangs de drie onderscheiden klassen van niet kansrijk, kansrijk en zeer kansrijk worden aangesneden.

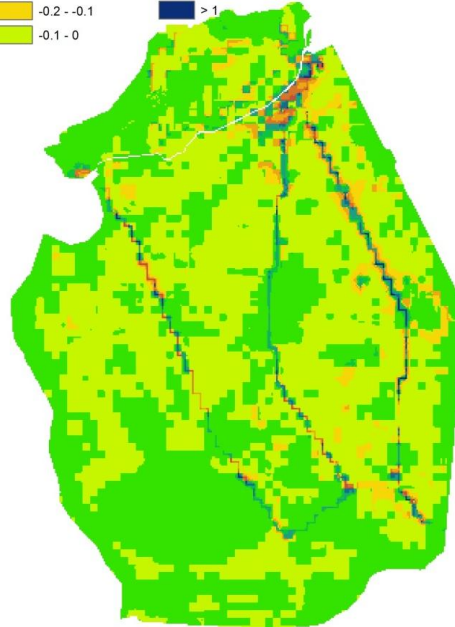
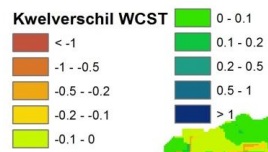


Figuur 46 Noord-zuidraai over de Wieringermeer met de kansen voor waterconservering door stuwen

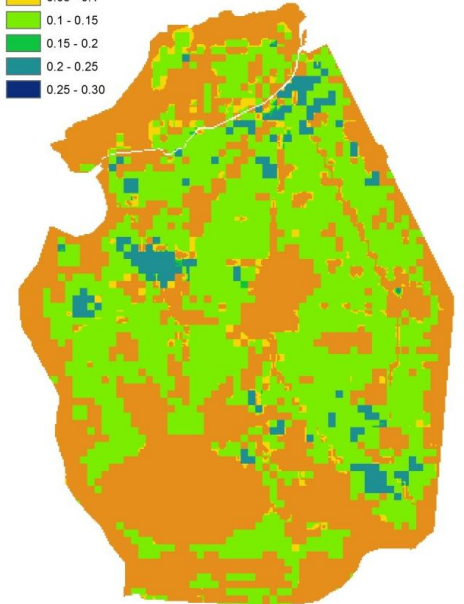
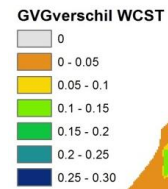
In Figuur 47 zijn de verschilkaarten voor de kwel en GVG weergegeven.



Legenda



Legenda



Figuur 47 Kwelderskil (links) en verschil in GVG (rechts) tussen de referentiesituatie en de situatie waarin de oplossing waterconservering met stuwen is doorgevoerd

Uit Figuur 47 blijkt eveneens dat er gebieden zijn met toename van de kwel en afname van de kwel, overeenkomend met gebieden waar respectievelijk geen en wel oplossingen worden genomen. In Tabel 15 zijn de effecten gekwantificeerd.

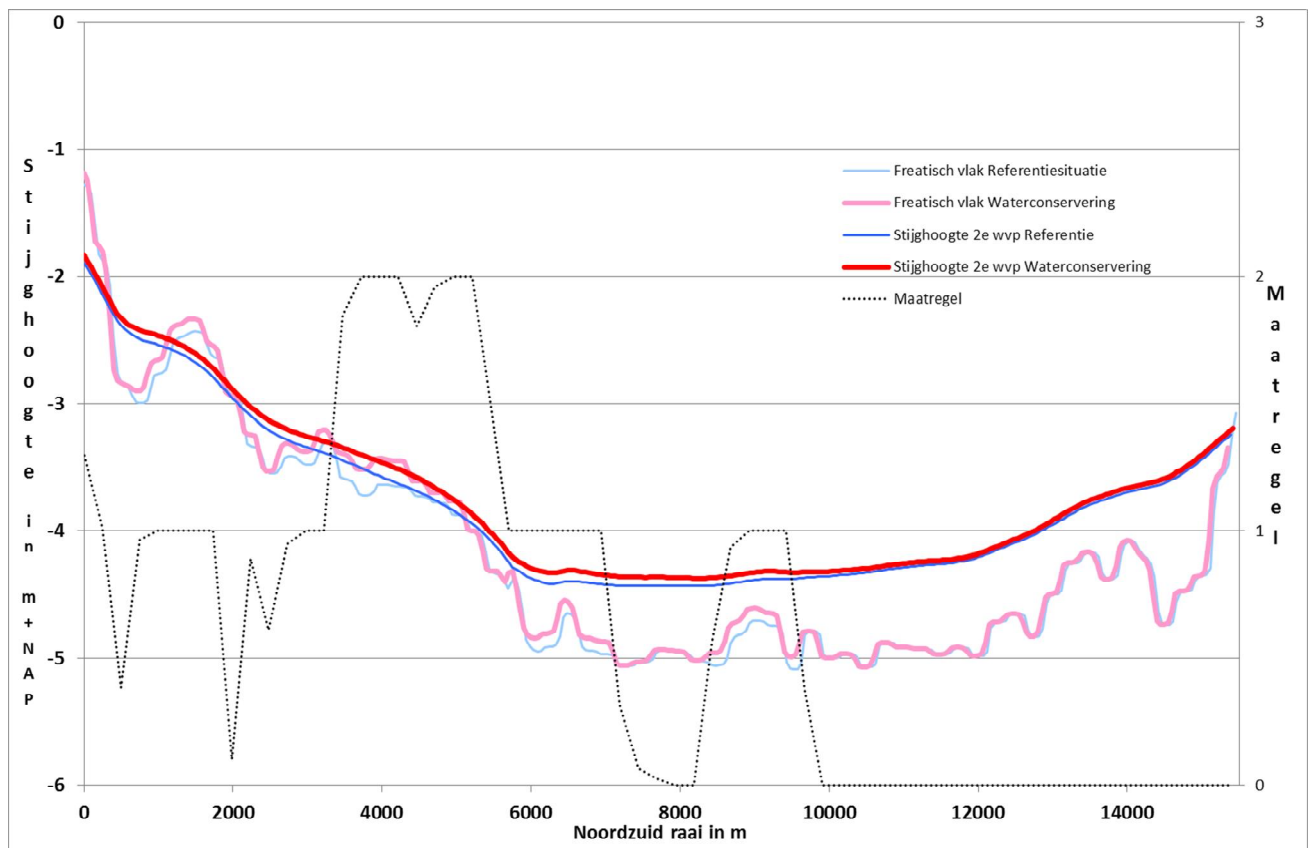
Tabel 15 Verandering in de kwel

| Gebied | Kansrijk | Gridcellen aantal | Area ha | Gemiddeld mm/d | Kwel m ³ /d |
|-----------------------------|---------------|----------------------|--------------|-------------------|---------------------------|
| Afdeling 1 | Totaal | 12614 | 3154 | -0.0274 | -865 |
| | Niet kansrijk | 4071 | 1018 | 0.0394 | 401 |
| | Kansrijk | 6377 | 1594 | -0.0255 | -407 |
| | Zeer kansrijk | 2166 | 542 | -0.1586 | -859 |
| Afdeling 2 | Totaal | 26027 | 6507 | -0.0002 | -14 |
| | Niet kansrijk | 16635 | 4159 | 0.0206 | 856 |
| | Kansrijk | 9233 | 2308 | -0.0327 | -756 |
| | Zeer kansrijk | 159 | 40 | -0.2871 | -114 |
| Afdeling 3 | Totaal | 27607 | 6902 | -0.0139 | -959 |
| | Niet kansrijk | 7395 | 1849 | 0.0467 | 864 |
| | Kansrijk | 18748 | 4687 | -0.0258 | -1208 |
| | Zeer kansrijk | 1464 | 366 | -0.1680 | -615 |
| Afdeling 4 | Totaal | 13122 | 3281 | -0.0230 | -754 |
| | Niet kansrijk | 3265 | 816 | 0.0470 | 384 |
| | Kansrijk | 9032 | 2258 | -0.0358 | -809 |
| | Zeer kansrijk | 825 | 206 | -0.1592 | -328 |
| Hippolytushoeverkoog | Totaal | 2937 | 734 | -0.0050 | -37 |
| | Niet kansrijk | 1716 | 429 | 0.0133 | 57 |
| | Kansrijk | 1174 | 294 | -0.0278 | -81 |
| | Zeer kansrijk | 47 | 12 | -0.1060 | -12 |
| Hoelmerkoog | Totaal | 2086 | 522 | -0.0037 | -19 |
| | Niet kansrijk | 1763 | 441 | 0.0121 | 53 |
| | Kansrijk | 323 | 81 | -0.0897 | -72 |
| Oosterlanderkoog | Totaal | 2118 | 530 | -0.0109 | -58 |
| | Niet kansrijk | 1526 | 382 | 0.0231 | 88 |
| | Kansrijk | 570 | 143 | -0.0951 | -136 |
| | Zeer kansrijk | 22 | 6 | -0.1801 | -10 |
| Waard-Nieuwland | Totaal | 1851 | 463 | -0.0090 | -42 |
| | Niet kansrijk | 599 | 150 | 0.0867 | 130 |
| | Kansrijk | 1249 | 312 | -0.0544 | -170 |
| | Zeer kansrijk | 3 | 1 | -0.2581 | -2 |
| Westerlanderkoog | Totaal | 498 | 125 | -0.0197 | -24 |
| | Niet kansrijk | 451 | 113 | 0.0373 | 42 |
| | Kansrijk | 47 | 12 | -0.5666 | -67 |
| Totaal | Totaal | 88860 | 22215 | -0.0125 | -2772 |



Door opzetten van de stuwen neemt de kwel af, over de hele Wieringermeer en Wieringen is dit $2.772 \text{ m}^3/\text{d}$, alleen in de gebieden waar geen oplossingen worden genomen neemt de kwel toe.

In Figuur 48 is voor dezelfde raai in Figuur 44 de stijghoogte weergegeven voor de referentie en de situatie bij waterconservering.



Figuur 48 Freatische stijghoogte en stijghoogten in 2^e watervoerend pakket in de referentiesituatie en bij waterconservering met stuwen.

Uit Figuur 48 blijkt dat de diepe stijghoogte over de gehele raai stijgt als gevolg van de oplossingen in de Wieringermeer. De stijging is het grootst in het noordelijk deel van de raai. Het freatisch vlak is hoger in gebieden waar waterconservering plaatsvindt d.m.v. stuwen. In het zuidelijk deel vindt weinig conservering plaats. Dit zien we terug in een gering verschil tussen de stijghoogten.

Door een verschilkaart te maken van de freatisch grondwaterstand in de referentiesituatie en in geval van waterconservering door stuwen kan de hoeveelheid water worden bepaald die extra wordt geborgen. De berging is berekend als het product van $\text{areaal} \cdot \text{gemiddeld stijging freatisch vlak} \cdot \text{bergingscoëfficiënt}$ (0,1)

Tabel 16). In totaal wordt er 1,33 miljoen m³ extra grondwater geborgen, t.o.v. van de referentiesituatie.

Door opzetten stuwen wordt ook extra water geborgen in het oppervlaktewaterstelsel in Tabel 17 zijn de m³ weergegeven per deelgebied. In totaal wordt er 0,63 miljoen m³ extra oppervlaktewater geborgen t.o.v. van de referentiesituatie.



Tabel 16 Bergingsverandering grondwater voor deelgebieden binnen de Wieringermeerpolder en Wieringen

| Gebied | Kansrijk | Gridcellen aantal | Area ha | Gemiddeld m | Berging m ³ |
|-----------------------------|---------------|----------------------|--------------|----------------|---------------------------|
| Afdeling 1 | Totaal | 12614 | 3154 | 0.0770 | 242739 |
| | Niet kansrijk | 4071 | 1018 | 0.0093 | 9437 |
| | Kansrijk | 6377 | 1594 | 0.0900 | 143416 |
| | Zeer kansrijk | 2166 | 542 | 0.1660 | 89886 |
| Afdeling 2 | Totaal | 26027 | 6507 | 0.0385 | 250695 |
| | Niet kansrijk | 16635 | 4159 | 0.0052 | 21640 |
| | Kansrijk | 9233 | 2308 | 0.0963 | 222358 |
| | Zeer kansrijk | 159 | 40 | 0.1685 | 6697 |
| Afdeling 3 | Totaal | 27607 | 6902 | 0.0692 | 477615 |
| | Niet kansrijk | 7395 | 1849 | 0.0097 | 17954 |
| | Kansrijk | 18748 | 4687 | 0.0853 | 399893 |
| | Zeer kansrijk | 1464 | 366 | 0.1633 | 59767 |
| Afdeling 4 | Totaal | 13122 | 3281 | 0.0791 | 259598 |
| | Niet kansrijk | 3265 | 816 | 0.0092 | 7523 |
| | Kansrijk | 9032 | 2258 | 0.0936 | 211292 |
| | Zeer kansrijk | 825 | 206 | 0.1977 | 40783 |
| Hippolytushoeverkoog | Totaal | 2937 | 734 | 0.0482 | 35360 |
| | Niet kansrijk | 1716 | 429 | 0.0272 | 11680 |
| | Kansrijk | 1174 | 294 | 0.0735 | 21575 |
| | Zeer kansrijk | 47 | 12 | 0.1791 | 2104 |
| Hoelmerkoog | Totaal | 2086 | 522 | 0.0295 | 15396 |
| | Niet kansrijk | 1763 | 441 | 0.0178 | 7826 |
| | Kansrijk | 323 | 81 | 0.0937 | 7569 |
| Oosterlanderkoog | Totaal | 2118 | 530 | 0.0384 | 20319 |
| | Niet kansrijk | 1526 | 382 | 0.0189 | 7212 |
| | Kansrijk | 570 | 143 | 0.0858 | 12230 |
| | Zeer kansrijk | 22 | 6 | 0.1595 | 877 |
| Waard-Nieuwland | Totaal | 1851 | 463 | 0.0636 | 29411 |
| | Niet kansrijk | 599 | 150 | 0.0159 | 2374 |
| | Kansrijk | 1249 | 312 | 0.0861 | 26888 |
| | Zeer kansrijk | 3 | 1 | 0.2000 | 150 |
| Westerlanderkoog | Totaal | 498 | 125 | 0.0250 | 3109 |
| | Niet kansrijk | 451 | 113 | 0.0172 | 1935 |
| | Kansrijk | 47 | 12 | 0.0999 | 1174 |
| Totaal | Totaal | 88860 | 22215 | 0.0601 | 1334241 |

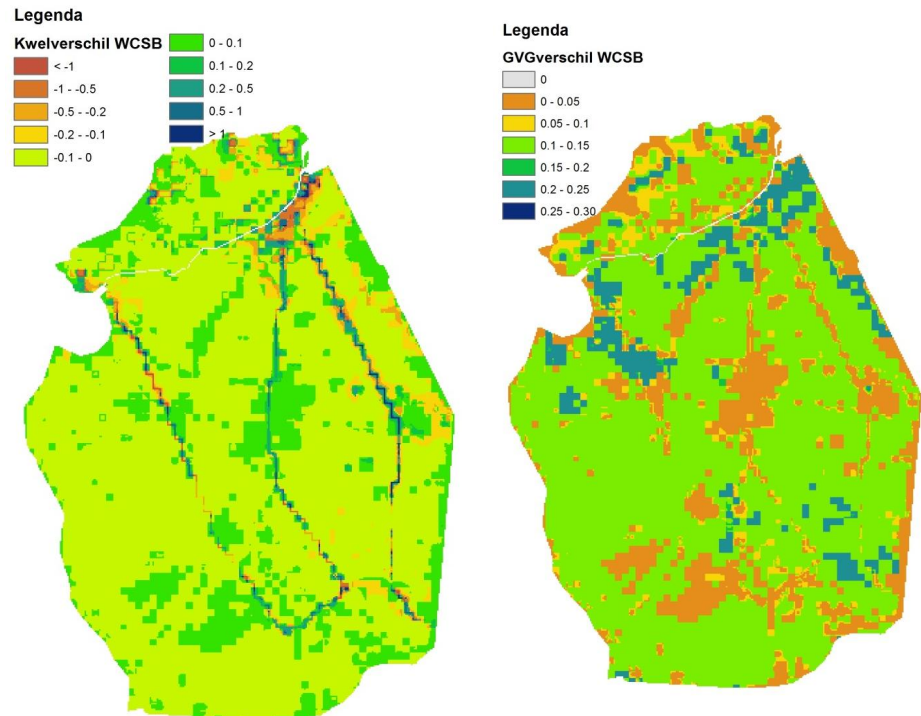
Tabel 17 Bergingsverandering oppervlaktewater voor deelgebieden binnen de Wieringermeerpolder en Wieringen

| Gebied | Kansrijk | Area ha | Gemiddeld m | Fractie Oppw | Berging m ³ |
|----------------------------|---------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| Afdeling 1 | Totaal | 3154 | 0.0770 | 0.0243 | 113385 |
| | Niet kansrijk | 1018 | 0.0093 | 0.0243 | |
| | Kansrijk | 1594 | 0.0900 | 0.0243 | 69700 |
| | Zeer kansrijk | 542 | 0.1660 | 0.0243 | 43685 |
| Afdeling 2 | Totaal | 6507 | 0.0385 | 0.0255 | 116818 |
| | Niet kansrijk | 4159 | 0.0052 | 0.0255 | |
| | Kansrijk | 2308 | 0.0963 | 0.0255 | 113402 |
| | Zeer kansrijk | 40 | 0.1685 | 0.0255 | 3415 |
| Afdeling 3 | Totaal | 6902 | 0.0692 | 0.0235 | 216040 |
| | Niet kansrijk | 1849 | 0.0097 | 0.0235 | |
| | Kansrijk | 4687 | 0.0853 | 0.0235 | 187950 |
| | Zeer kansrijk | 366 | 0.1633 | 0.0235 | 28091 |
| Afdeling 4 | Totaal | 3281 | 0.0791 | 0.0231 | 116458 |
| | Niet kansrijk | 816 | 0.0092 | 0.0231 | |
| | Kansrijk | 2258 | 0.0936 | 0.0231 | 97617 |
| | Zeer kansrijk | 206 | 0.1977 | 0.0231 | 18842 |
| Hippolytushoevekoog | Totaal | 734 | 0.0482 | 0.0347 | 16434 |
| | Niet kansrijk | 429 | 0.0272 | 0.0347 | |
| | Kansrijk | 294 | 0.0735 | 0.0347 | 14973 |
| | Zeer kansrijk | 12 | 0.1791 | 0.0347 | 1460 |
| Hoelmerkoog | Totaal | 522 | 0.0295 | 0.0354 | 5359 |
| | Niet kansrijk | 441 | 0.0178 | 0.0354 | |
| | Kansrijk | 81 | 0.0937 | 0.0354 | 5359 |
| Oosterlanderkoog | Totaal | 530 | 0.0384 | 0.0446 | 11692 |
| | Niet kansrijk | 382 | 0.0189 | 0.0446 | |
| | Kansrijk | 143 | 0.0858 | 0.0446 | 10909 |
| | Zeer kansrijk | 6 | 0.1595 | 0.0446 | 783 |
| Waard-Nieuwland | Totaal | 463 | 0.0636 | 0.0697 | 37690 |
| | Niet kansrijk | 150 | 0.0159 | 0.0697 | |
| | Kansrijk | 312 | 0.0861 | 0.0697 | 37481 |
| | Zeer kansrijk | 1 | 0.2000 | 0.0697 | 209 |
| Westerlanderkoog | Totaal | 125 | 0.0250 | 0.0354 | 831 |
| | Niet kansrijk | 113 | 0.0172 | 0.0354 | |
| | Kansrijk | 12 | 0.0999 | 0.0354 | 831 |
| Totaal | Totaal | 22215 | 0.0601 | 0.0263 | 634708 |



Waterconservering door slootboderverhoging (WCSB)

In Figuur 49 zijn de verschilkaarten voor de kwel en de GVG weergegeven.



Figuur 49 Kwelveverschil (links) en verhoging GVG, t.o.v. de referentiesituatie, na toepassing van waterconservering d.m.v. slootboderverhoging

Figuur 49 toont gebieden met een toename en afname van de kwel, overeenkomend met gebieden waar geen en wel wordt ingegrepen. In Tabel 18 zijn de effecten gekwantificeerd.

Tabel 18 Kwel en kwelverandering voor deelgebieden binnen de Wieringermeer-polder en Wieringen

| Gebied | Kansrijk | Gridcellen aantal | Area ha | Gemiddeld mm/d | Kwel m ³ /d |
|-----------------------------|---------------|----------------------|-------------|-------------------|---------------------------|
| Afdeling 1 | Totaal | 12614 | 3154 | -0.0367 | -1157 |
| | Niet kansrijk | 299 | 75 | 0.1310 | 98 |
| | Kansrijk | 8632 | 2158 | 0.0003 | 6 |
| | Zeer kansrijk | 3683 | 921 | -0.1370 | -1261 |
| Afdeling 2 | Totaal | 26027 | 6507 | -0.0100 | -649 |
| | Niet kansrijk | 2889 | 722 | 0.0340 | 246 |
| | Kansrijk | 22782 | 5696 | -0.0136 | -777 |
| | Zeer kansrijk | 356 | 89 | -0.1324 | -118 |
| Afdeling 3 | Totaal | 27607 | 6902 | -0.0156 | -1078 |
| | Niet kansrijk | 1712 | 428 | 0.0659 | 282 |
| | Kansrijk | 23168 | 5792 | -0.0077 | -445 |
| | Zeer kansrijk | 2727 | 682 | -0.1341 | -915 |
| Afdeling 4 | Totaal | 13122 | 3281 | -0.0241 | -789 |
| | Niet kansrijk | 806 | 202 | 0.0443 | 89 |
| | Kansrijk | 11416 | 2854 | -0.0195 | -556 |
| | Zeer kansrijk | 900 | 225 | -0.1433 | -322 |
| Hippolytushoeverkoog | Totaal | 2937 | 734 | -0.0150 | -110 |
| | Niet kansrijk | 932 | 233 | 0.0035 | 8 |
| | Kansrijk | 1805 | 451 | -0.0111 | -50 |
| | Zeer kansrijk | 200 | 50 | -0.1358 | -68 |
| Hoelmerkoog | Totaal | 2086 | 522 | -0.0145 | -76 |
| | Niet kansrijk | 1348 | 337 | 0.0209 | 70 |
| | Kansrijk | 623 | 156 | -0.0397 | -62 |
| | Zeer kansrijk | 115 | 29 | -0.2929 | -84 |
| Oosterlanderkoog | Totaal | 2118 | 530 | -0.0588 | -311 |
| | Niet kansrijk | 820 | 205 | 0.0234 | 48 |
| | Kansrijk | 1031 | 258 | -0.0630 | -163 |
| | Zeer kansrijk | 267 | 67 | -0.2944 | -197 |
| Waard-Nieuwland | Totaal | 1851 | 463 | -0.0105 | -49 |
| | Niet kansrijk | 225 | 56 | 0.1494 | 84 |
| | Kansrijk | 1618 | 405 | -0.0319 | -129 |
| | Zeer kansrijk | 8 | 2 | -0.1872 | -4 |
| Westerlanderkoog | Totaal | 498 | 125 | -0.0865 | -108 |



| | | | | | |
|---------------|---------------|--------------|--------------|----------------|--------------|
| | Niet kansrijk | 183 | 46 | 0.0816 | 37 |
| | Kansrijk | 257 | 64 | -0.1149 | -74 |
| | Zeer kansrijk | 58 | 15 | -0.4911 | -71 |
| Totaal | Totaal | 88860 | 22215 | -0.0195 | -4326 |

Door slootboderverhoging neemt de kwel af, over de hele Wieringermeerpolder en Wieringen. In totaal bedraagt de afname 4326 m³/d. Alleen in de gebieden waar geen oplossingen worden genomen neemt de kwel toe.

Uit de verschilkaart van de freatisch grondwaterstand in de referentiesituatie en ingeval van slootboderverhoging kan de hoeveelheid water worden bepaald die extra wordt geborgen. De berging als berekend uit het product van areaal*gemiddeld stijging freatisch vlak *bergingscoëfficiënt (0,1) (Tabel 19). In totaal wordt er 2,0 miljoen m³ extra water geborgen t.o.v. van de referentiesituatie. Door slootboderverhoging kan er minder water worden geborgen in het oppervlaktewater. De afname van de berging in het oppervlaktewater is bepaald uit areaal* gemiddelde verhoging * percentage oppervlaktewater* factor -0.5 (correctiefactor voor vorm van slootbodemprofiel). De verminderde berging in het oppervlaktewater bedraagt 0,25 miljoen m³.

Tabel 19 Bergingsverandering voor deelgebieden binnen de Wieringermeerpolder en Wieringen

| Gebied | Kansrijk | Gridcellen aantal | Area ha | Gemiddeld m | Berging m ³ |
|-------------------|---------------|----------------------|-------------|----------------|---------------------------|
| Afdeling 1 | Totaal | 12614 | 3154 | 0.1103 | 347976 |
| | Niet kansrijk | 299 | 75 | 0.0255 | 1909 |
| | Kansrijk | 8632 | 2158 | 0.0864 | 186437 |
| | Zeer kansrijk | 3683 | 921 | 0.1734 | 159630 |
| Afdeling 2 | Totaal | 26027 | 6507 | 0.0862 | 560885 |
| | Niet kansrijk | 2889 | 722 | 0.0122 | 8783 |
| | Kansrijk | 22782 | 5696 | 0.0941 | 536189 |
| | Zeer kansrijk | 356 | 89 | 0.1788 | 15913 |
| Afdeling 3 | Totaal | 27607 | 6902 | 0.0871 | 601357 |
| | Niet kansrijk | 1712 | 428 | 0.0113 | 4836 |
| | Kansrijk | 23168 | 5792 | 0.0836 | 484278 |
| | Zeer kansrijk | 2727 | 682 | 0.1646 | 112243 |
| Afdeling 4 | Totaal | 13122 | 3281 | 0.0939 | 308188 |
| | Niet kansrijk | 806 | 202 | 0.0076 | 1538 |
| | Kansrijk | 11416 | 2854 | 0.0918 | 262118 |
| | Zeer kansrijk | 900 | 225 | 0.1979 | 44533 |

| | | | | | |
|-----------------------------|---------------|--------------|--------------|---------------|----------------|
| Hippolytushoeverkoog | Totaal | 2937 | 734 | 0.0852 | 62524 |
| | Niet kansrijk | 932 | 233 | 0.0707 | 16463 |
| | Kansrijk | 1805 | 451 | 0.0805 | 36341 |
| | Zeer kansrijk | 200 | 50 | 0.1944 | 9721 |
| Hoelmerkoog | Totaal | 2086 | 522 | 0.0672 | 35058 |
| | Niet kansrijk | 1348 | 337 | 0.0447 | 15081 |
| | Kansrijk | 623 | 156 | 0.0913 | 14228 |
| | Zeer kansrijk | 115 | 29 | 0.2000 | 5750 |
| Oosterlanderkoog | Totaal | 2118 | 530 | 0.0831 | 44021 |
| | Niet kansrijk | 820 | 205 | 0.0498 | 10215 |
| | Kansrijk | 1031 | 258 | 0.0844 | 21751 |
| | Zeer kansrijk | 267 | 67 | 0.1806 | 12056 |
| Waard-Nieuwland | Totaal | 1851 | 463 | 0.0805 | 37268 |
| | Niet kansrijk | 225 | 56 | 0.0203 | 1144 |
| | Kansrijk | 1618 | 405 | 0.0883 | 35724 |
| | Zeer kansrijk | 8 | 2 | 0.2000 | 400 |
| Westerlanderkoog | Totaal | 498 | 125 | 0.0925 | 11515 |
| | Niet kansrijk | 183 | 46 | 0.0479 | 2190 |
| | Kansrijk | 257 | 64 | 0.1000 | 6424 |
| | Zeer kansrijk | 58 | 15 | 0.2000 | 2900 |
| Totaal | Totaal | 88860 | 22215 | 0.0904 | 2008794 |

Tabel 20 Bergingsverandering oppervlaktewater voor deelgebieden binnen de Wieringermeerpolder en Wieringen

| Gebied | Kansrijk | Area ha | Gemiddeld m | Fractie oppwat | Berging m ³ |
|-------------------|---------------|-------------|---------------|----------------|------------------------|
| Afdeling 1 | Totaal | 3154 | 0.1103 | 0.0243 | -42047 |
| | Niet kansrijk | 75 | 0.0255 | 0.0243 | |
| | Kansrijk | 2158 | 0.0864 | 0.0243 | -22652 |
| | Zeer kansrijk | 921 | 0.1734 | 0.0243 | -19395 |
| Afdeling 2 | Totaal | 6507 | 0.0862 | 0.0255 | -70393 |
| | Niet kansrijk | 722 | 0.0122 | 0.0255 | |
| | Kansrijk | 5696 | 0.0941 | 0.0255 | -68364 |
| | Zeer kansrijk | 89 | 0.1788 | 0.0255 | -2029 |
| Afdeling 3 | Totaal | 6902 | 0.0871 | 0.0235 | -70091 |
| | Niet kansrijk | 428 | 0.0113 | 0.0235 | |
| | Kansrijk | 5792 | 0.0836 | 0.0235 | -56903 |
| | Zeer kansrijk | 682 | 0.1646 | 0.0235 | -13189 |



| | | | | | |
|-----------------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|----------------|
| Afdeling 4 | Totaal | 3281 | 0.0939 | 0.0231 | -35418 |
| | Niet kansrijk | 202 | 0.0076 | 0.0231 | |
| | Kansrijk | 2854 | 0.0918 | 0.0231 | -30275 |
| | Zeer kansrijk | 225 | 0.1979 | 0.0231 | -5144 |
| Hippolytushoeverkoog | Totaal | 734 | 0.0852 | 0.0347 | -7992 |
| | Niet kansrijk | 233 | 0.0707 | 0.0347 | |
| | Kansrijk | 451 | 0.0805 | 0.0347 | -6305 |
| | Zeer kansrijk | 50 | 0.1944 | 0.0347 | -1687 |
| Hoelmerkoog | Totaal | 522 | 0.0672 | 0.0354 | -3536 |
| | Niet kansrijk | 337 | 0.0447 | 0.0354 | |
| | Kansrijk | 156 | 0.0913 | 0.0354 | -2518 |
| | Zeer kansrijk | 29 | 0.2000 | 0.0354 | -1018 |
| Oosterlanderkoog | Totaal | 530 | 0.0831 | 0.0446 | -7539 |
| | Niet kansrijk | 205 | 0.0498 | 0.0446 | |
| | Kansrijk | 258 | 0.0844 | 0.0446 | -4850 |
| | Zeer kansrijk | 67 | 0.1806 | 0.0446 | -2689 |
| Waard-Nieuwland | Totaal | 463 | 0.0805 | 0.0697 | -12589 |
| | Niet kansrijk | 56 | 0.0203 | 0.0697 | |
| | Kansrijk | 405 | 0.0883 | 0.0697 | -12450 |
| | Zeer kansrijk | 2 | 0.2000 | 0.0697 | -139 |
| Westerlanderkoog | Totaal | 125 | 0.0925 | 0.0354 | -1650 |
| | Niet kansrijk | 46 | 0.0479 | 0.0354 | |
| | Kansrijk | 64 | 0.1000 | 0.0354 | -1137 |
| | Zeer kansrijk | 15 | 0.2000 | 0.0354 | -513 |
| Totaal | Totaal | 22215 | 0.0904 | 0.0263 | -251256 |

4.5 Effecten van oplossingen op oppervlaktewater- en zoutbalans

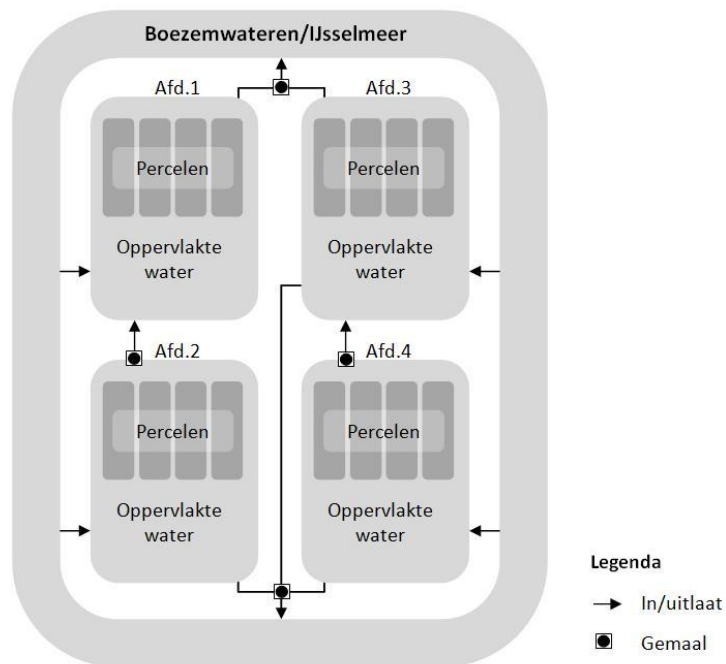
De toets op effecten op grondwater en oppervlaktewater is beperkt tot drie typen oplossingen die kansrijk zijn voor het proefgebied, invloed hebben op de GVG en via het grondwater 'uitstralende effecten' hebben op het oppervlaktewater, nl:

- *Regelbare drainage (RD)*
- *Waterconservering door stuwen (WCST)*
- *Waterconservering door slootbodempverhoging (WCSB).*

4.5.1 Aanpak van en uitgangspunten voor de toets

De Wieringermeer is opgedeeld in vier aan elkaar verbonden afdelingen (Figuur 50). Voor elke afdeling is een aparte waterbalans op dagbasis opgesteld welke vervolgens aan elkaar zijn gekoppeld.

Er zijn vier gemalen, gemaal Leemans is het hoofdgemaal waarnaar gemaal Hoekvaartsluis en Slootvaart malen. Gemaal Lely wordt alleen ingezet in noodgevallen. Vooral in afdeling 1 wordt water ingelaten. In de andere afdelingen (3 en 4) wordt door middel van hevels door de agrariërs zelf ook water ingelaten. Van afdeling 1 naar afdeling 3 is een overlaat. Bij extreme neerslaghoeveelheden is het mogelijk dat er water via de rinketten van de sluis bij gemaal Slootvaart van afdeling 1 naar afdeling 2 (dus tegen de maalrichting in) stroomt.



Figuur 50 Structuur waterbalans Wieringermeer (Velstra et al., 2013).

Het systeem van Wieringermeer is complex en niet alle debieten worden gemeten. Daarom was het noodzakelijk voor het maken van een waterbalans enkele aannames te doen (Velstra et al., 2013).

Uitwerking waterbalansen:

Afdeling 1: Totaal uit te malen water: als huidig peil + toename peil door inkomend water groter is dan het maximumpeil. Er wordt dan uitgemalen tot minimum peil (tot maximum capaciteit gemaal Lee-mans). Van de totale hoeveelheid water die uit afdeling 1 gaat, neemt het gemaal 80% voor zijn rekening, de rest gaat via een overlaat naar afdeling 3.

Afdeling 2: Gemaal Slootvaart maalt uit als huidig peil + toename peil door inkomend water groter is dan het maximum peil. Er wordt dan uitgemalen tot minimumpeil (tot maximumcapaciteit gemaal Slootvaart). Als de hoeveelheid uit te malen water groter is dan de maximumcapaciteit van gemaal Slootvaart, dan neemt gemaal Slootvaart een hoeveelheid voor zijn rekening die gelijk staat aan de ratio tussen de hoeveelheid bruto inkomend water / de maximum capaciteit maal de hoeveelheid inkomend water. Gemaal Lely wordt ingeschakeld als de hoeveelheid inkomend water van de percelen groter is dan 100.000 m³. Gemaal Lely maalt dan tot 5 cm boven het minimumpeil, de rest

wordt door gemaal Slootvaart gedaan. De totale hoeveelheid water die uitgemalen wordt is de optelsom van beide gemalen.

Afdeling 3: Totaal uit te malen water: als huidig peil + toename peil als gevolg van inkomend water groter is dan het maximum peil. Dan wordt er uitgemalen tot minimumpeil (begrensd door maximum capaciteit van gemaal Lely + Leemans). Er is geen onderverdeling naar gemaal aangezien beide naar buitenwater malen zodat onderverdeling naar gemaal niet van belang is voor de waterbalans.

Afdeling 4: Totaal uit te malen water: als huidig peil + toename peil als gevolg van inkomend water groter is dan het maximumpeil. Dan wordt er uitgemalen tot minimumpeil (begrensd door maximum capaciteit van gemaal Hoekvaart + Lely) Hoekvaart maalt als enige zolang de hoeveelheid neerslag onder de 7 mm zit. Wanneer de neerslag groter is dan 7 mm gaat 11% via Hoekvaart, de rest via Lely (tot maximum capaciteit).

Voor alle afdelingen geldt dat wanneer er vanwege het bereiken van de maximumcapaciteit geen water meer kan worden uitgemalen dit resulteert in een peilstijging (toename van de berging).

Voor de kwantitatieve analyse van de waterbalans is gebruik gemaakt van de bestaande balans voor de Wieringermeer die in het kader van de verziltingsstudie voor Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier is opgesteld (Velstra et al., 2013). Voor de berekening van de afstroming (watervolume en zoutvracht) van de percelen is gebruik gemaakt van het model SWAP (Kroes et al., 2008). Voor zover de oplossingen van invloed zijn op de afvoer vanuit de percelen zijn de oplossingen met SWAP doorgerekend. Voor een nadere beschrijving van de modelopzet en parametrisering wordt verwezen naar Velstra et al. (2013).

Om het effect van de oplossingen te kunnen berekenen is de opzet van het model SWAP aangepast. In plaats van een vaste onderrandflux waarbij de kwel/wegzijging wordt opgegeven is gebruik gemaakt van een onderrand bestaande uit een stijghoogte in het eerste watervoerende pakket en een weerstand. Voor de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket is gebruik gemaakt van de gemiddelde stijghoogte die berekend is met het grondwaterstromingsmodel. De deklaagweerstand is gekalibreerd om er voor te zorgen dat de berekende kwel ongeveer overeenkomt met de kwelwaarde die gehanteerd is in de Verziltingsstudie HHNK (Velstra et al., 2013). Door deze modelaanpassing kan het effect van een oplossing op de kwel/wegzijging worden doorgerekend.

Om enerzijds oplossingen in het model in te kunnen voeren en anderzijds de effecten van oplossingen op het oppervlaktewatersysteem beter door te kunnen rekenen, is voor de berekeningen in plaats van de eenvoudige drainageoptie gebruik gemaakt van de uitgebreide drainageoptie van het model.



De berekeningen zijn uitgevoerd voor de jaren 1996 – 2011.

Tabel 21 toont welke verandering is doorgevoerd bij welke oplossing.

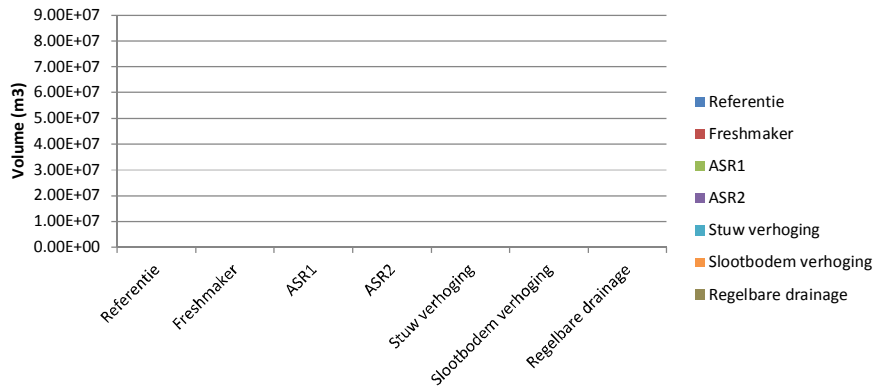
Tabel 21 Classificatie van kans naar effect van oplossing

| Oplossing | niet kansrijk 0 | Kansrijk 1 | zeer kansrijk 2 |
|--------------------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Regelbare drainage | 0 | Peil 30 cm verhogen | n.v.t. |
| Waterconservering door stuwen | 0 | Peil 20 cm verhogen | Peil 30 cm verhogen |
| Waterconservering door slootbodemverhoging | 0 | Slootbodem 20 cm verhogen | - |

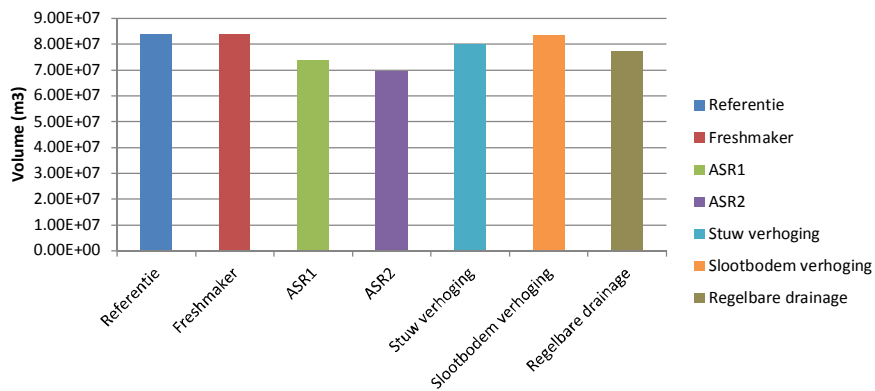
4.5.2 Resulterende verandering van oppervlaktewaterbalans

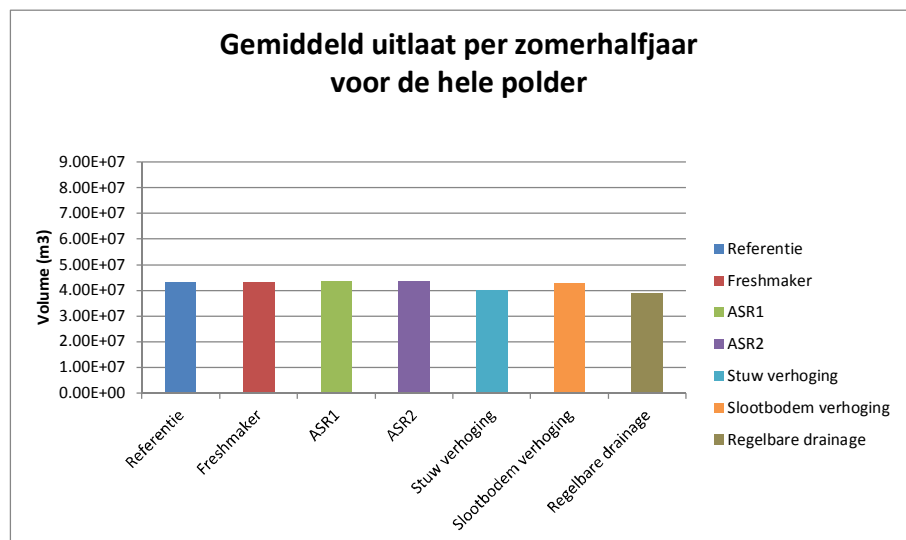
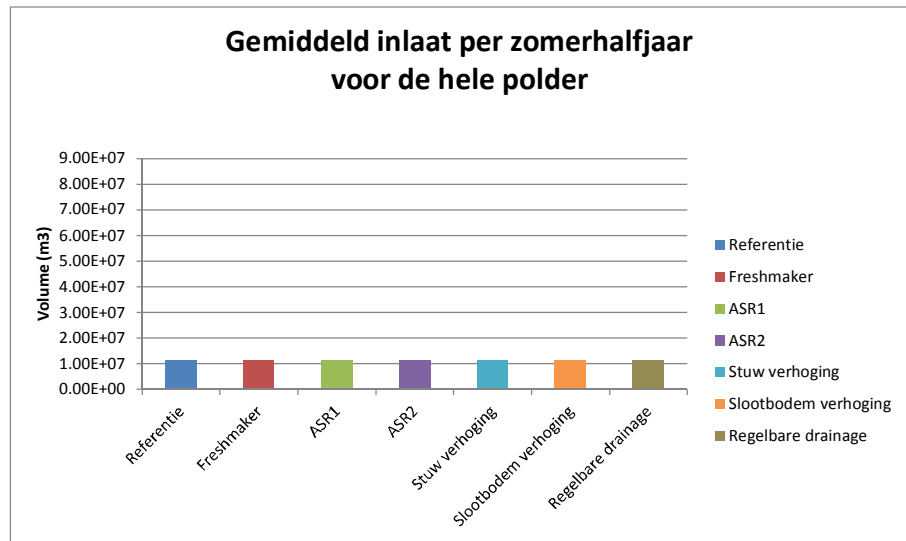
Voor de oppervlaktewaterbalansberekeningen is gebruik gemaakt van de bestaande water- en chloridebalans voor de Wieringermeerpolder (Velstra et al, 2013). Om de balansberekeningen beter te kunnen interpreteren zijn de resultaten onderverdeeld in de gemiddelde inlaathoeveelheid en uitgemalen hoeveelheid, voor zowel het winter- als het zomerhalfjaar (Figuur 51). Voor de resultaten van de balansberekeningen per afdeling wordt verwezen naar bijlage 3). Gedurende het winterhalfjaar wordt er van buiten de Wieringermeer geen water ingelaten.

Gemiddeld inlaat per winterhalfjaar voor de hele polder



Gemiddeld uitlaat per winterhalfjaar voor de hele polder





Figuur 51 Inlaat en uitlaat hoeveelheden water voor de gehele polder

Aangezien een aantal oplossingen van invloed zijn op het grondwaterstandsverloop zijn de oplossingen stuwen verhogen, slootbodembod verhogen en regelbare drainage doorgerekend met het model SWAP alvorens deze door te rekenen met het oppervlaktewaterbalansmodel. Voor de oplossing ASR wordt aangenomen dat deze geen invloed heeft op het verloop van de freatische grondwaterstand. Voor de oplossing ASR is er van uitgegaan dat gedurende de winterperiode (1 september – 31 maart) de helft van de afvoer vanuit de percelen wordt opgevangen en vervolgens als zoetwateropslag wordt geïnfilteerd in de diepere ondergrond. Hierdoor wordt er in de winterperiode minder water uitgemalen. Dit heeft tevens tot gevolg dat het zoutgehalte van het oppervlaktewater toeneemt. De opgeslagen hoeveelheid water kan in droge perioden worden gebruikt voor irrigatie. Deze irrigatie heeft echter niet of nauwelijks gevol-

gen voor de waterbalans aangezien de inlaathoeveelheid wordt gereguleerd door het oppervlaktewaterpeil, hetgeen tot uiting komt in de inlaathoeveelheid die voor de oplossingen ongeveer gelijk blijft.

Voor de oplossing freshmaker wordt ervan uitgegaan dat de hoeveelheid water die wordt geïnfiltreerd gelijk is aan de hoeveelheid water die wordt onttrokken, waardoor deze geen invloed heeft op de waterbalans. Op het zoutgehalte heeft de oplossing freshmaker juist de grootste invloed. Deze grote invloed wordt veroorzaakt doordat zoetwater wordt geïnfiltreerd en dezelfde hoeveelheid zout grondwater van kwelwaterkwaliteit wordt geloosd op het oppervlaktewater waardoor het zoutgehalte van het oppervlaktewater gaat toenemen. Indien deze toename van het zoutgehalte niet wenselijk is zou scheiding van het oppervlaktewatersysteem een oplossing kunnen zijn. Evenals bij de oplossing ASR wordt het zoutgehalte voornamelijk gedurende het winterhalfjaar beïnvloed.

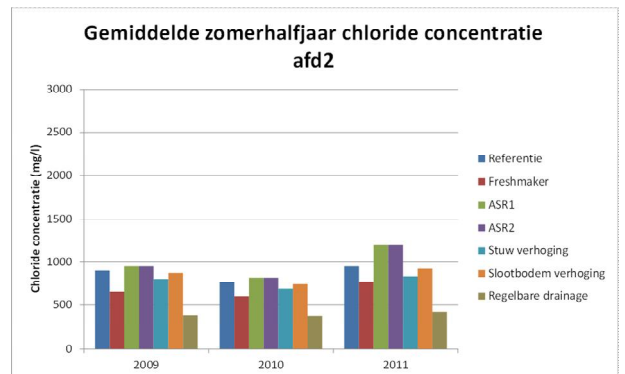
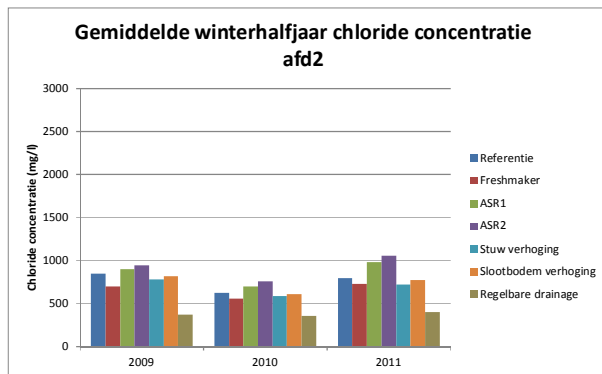
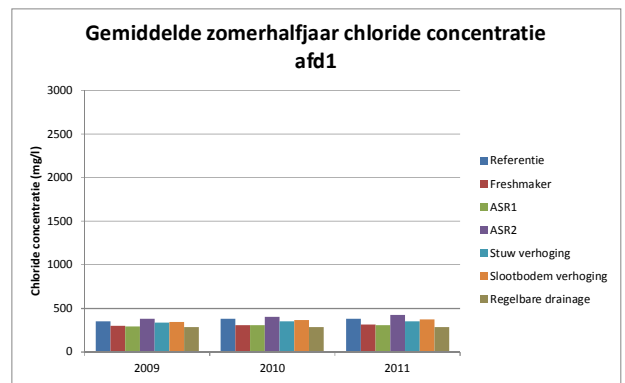
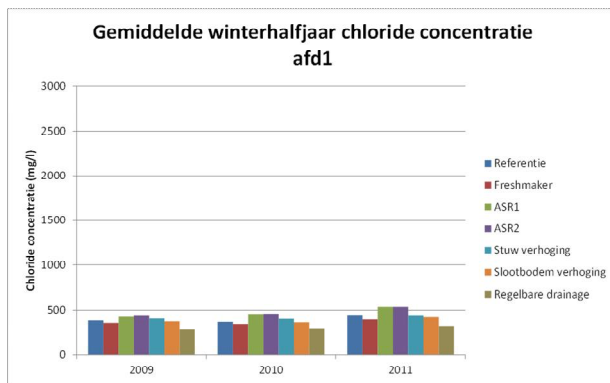
De hoeveelheid uit te malen water gedurende de winterperiode wordt bij het merendeel van de oplossingen lager. Alleen de oplossingen freshmaker en slootboderverhoging hebben geen invloed op de uit te malen hoeveelheid gedurende de winterperiode. De waterinlaat gedurende het zomerhalfjaar wordt, aangezien de inlaathoeveelheid (in de waterbalans) wordt gereguleerd door het oppervlaktewaterpeil, door de oplossingen niet of nauwelijks beïnvloed. De gemiddelde uitlaat gedurende het zomerhalfjaar wordt alleen bij de oplossingen stuwen verhogen en regelbare drainage lager.

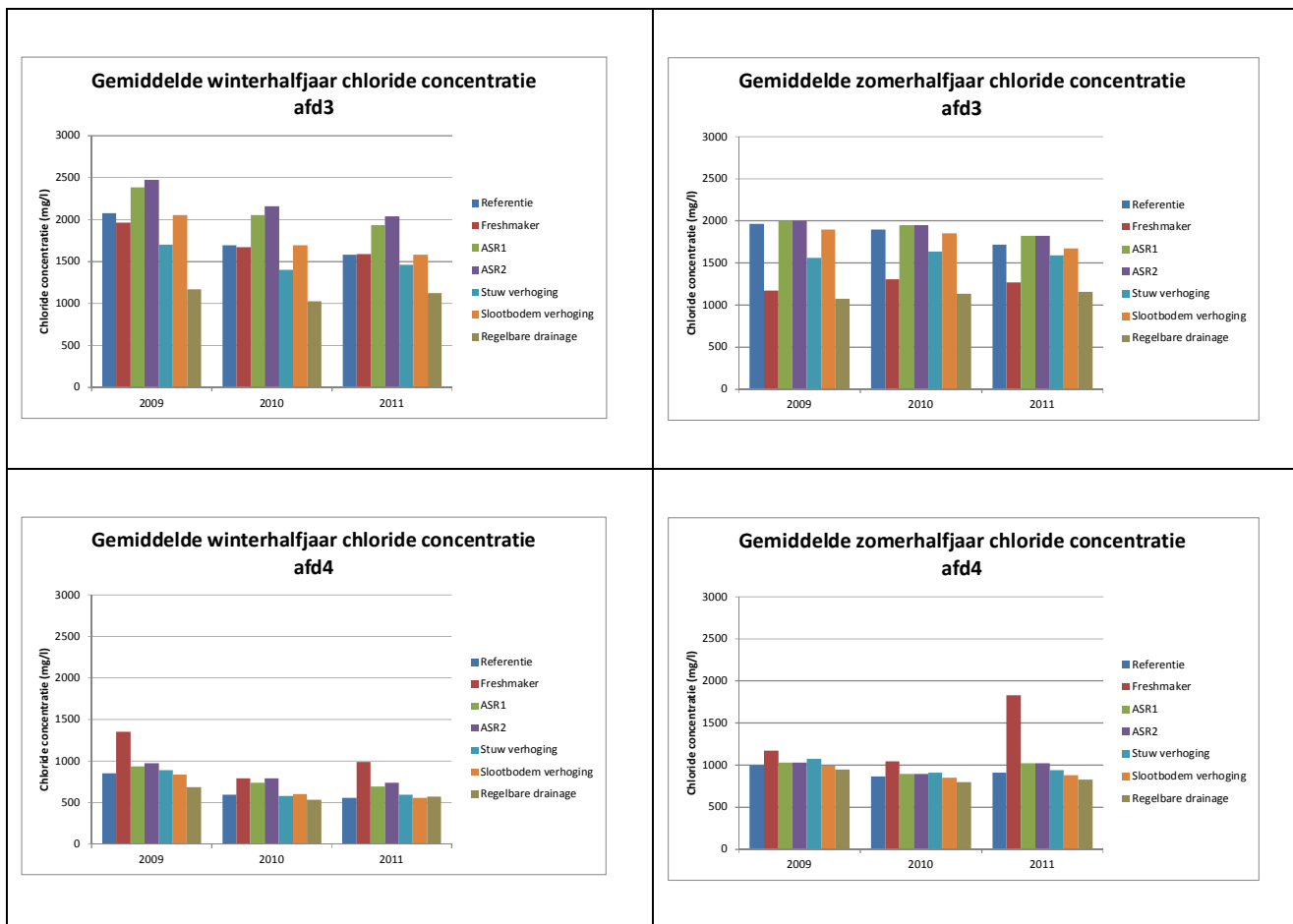
4.5.3 Resulterende verandering van zoutbalans

Voor de verschillende oplossingen kunnen de rekenresultaten per afdeling sterk verschillen (Figuur 52 t/m Figuur 56). Deze verschillen tussen de afdelingen worden veroorzaakt door de verschillende redenen. Hierbij gaat het voornamelijk om verschillen in de mate van waterinlaat, de mate van doorspoeling en de zoutbelasting via kwelwater. Evenals bij de waterbalans heeft het verhogen van de slootbodernagenoeg geen effect op de zoutbalans. De freshmaker heeft tot gevolg dat voornamelijk in afdeling 4 het zoutgehalte toeneemt doordat in deze afdeling nagenoeg geen doorspoeling plaatsvindt en het grondwater dat geloosd wordt op het oppervlaktewater heeft een hoge zoutconcentratie. Ook de oplossing ASR heeft een verhoging van het zoutgehalte van het oppervlaktewater tot gevolg. Deze verhoging wordt veroorzaakt doordat een deel van het relatief zoete water afkomstig van de percelen wordt geïnfiltreerd waardoor naast een afname van de hoeveelheid afvoerwater ook het zoutgehalte van het oppervlaktewater gedurende de winterperiode toeneemt. De oplossing 'stuwen verhogen' en regelbare drainage laten een afname van het zoutgehalte van het oppervlaktewater zien. Enerzijds kan deze afname worden verklaard door de nattere omstandigheden waardoor de kwel met een relatief hoog zoutgehalte afneemt. Anderzijds is er ook meer wateraanvoer waardoor er meer doorspoeling plaatsvindt.

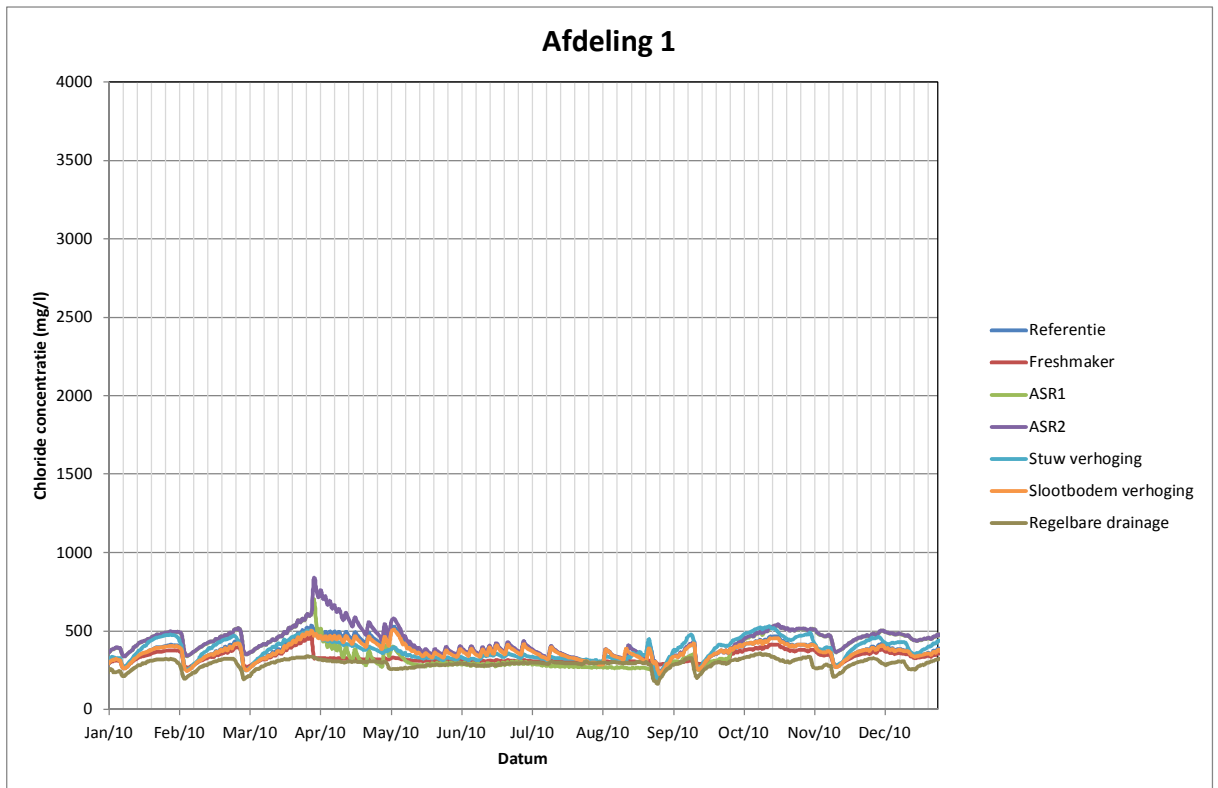


De effecten van de oplossingen op de zoutbalans worden in hoge mate bepaald door de omstandigheden, hetgeen tot uiting komt in de verschillen per afdeling. Het effect van de oplossingen is relatief klein indien er veel doorspoeling plaatsvindt en indien de zoutbelasting via kwel hoog is. De oplossing ASR heeft over het algemeen een verhoging van de zoutconcentratie in het oppervlaktewater tot gevolg. De oplossing 'stuwen verhogen' heeft een geringe afname van de zoutconcentratie in het oppervlaktewater tot gevolg. De verlaging van de zoutconcentratie in het oppervlaktewater is voor de oplossing regelbare drainage het grootst.

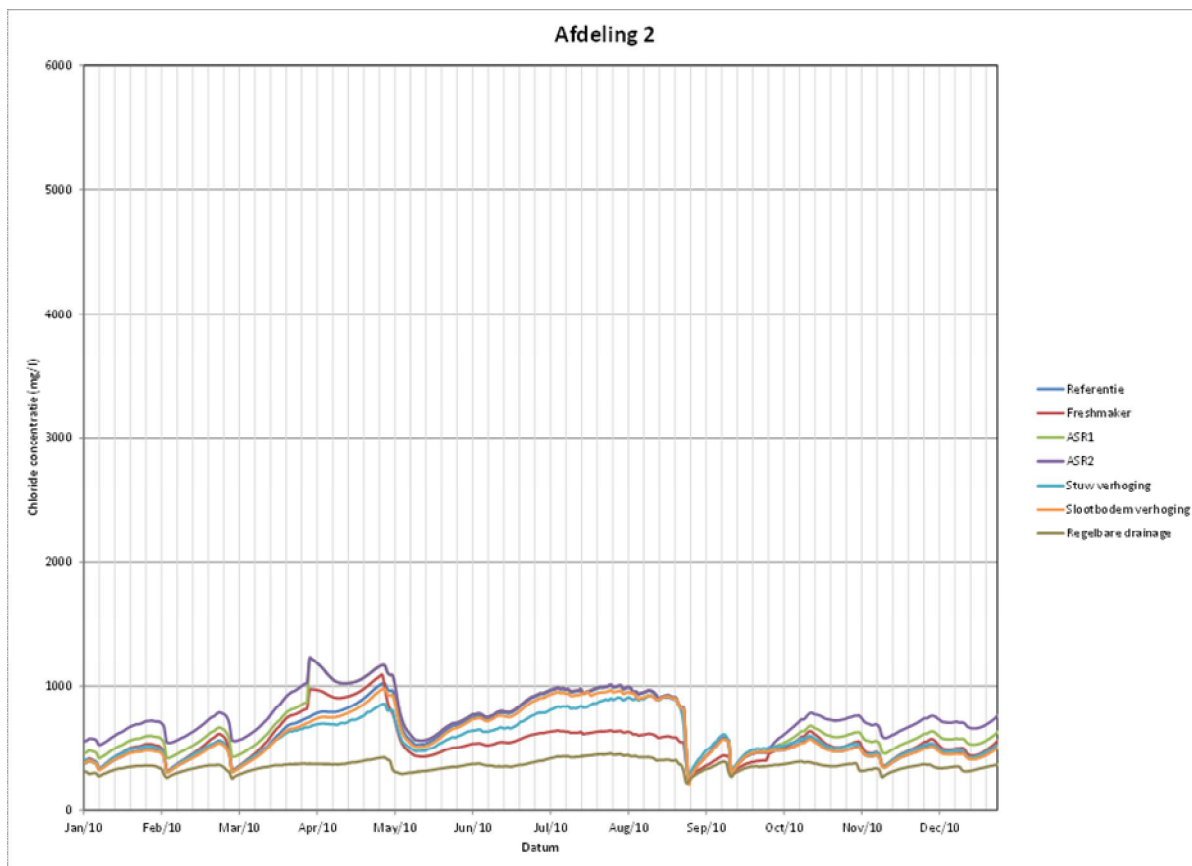




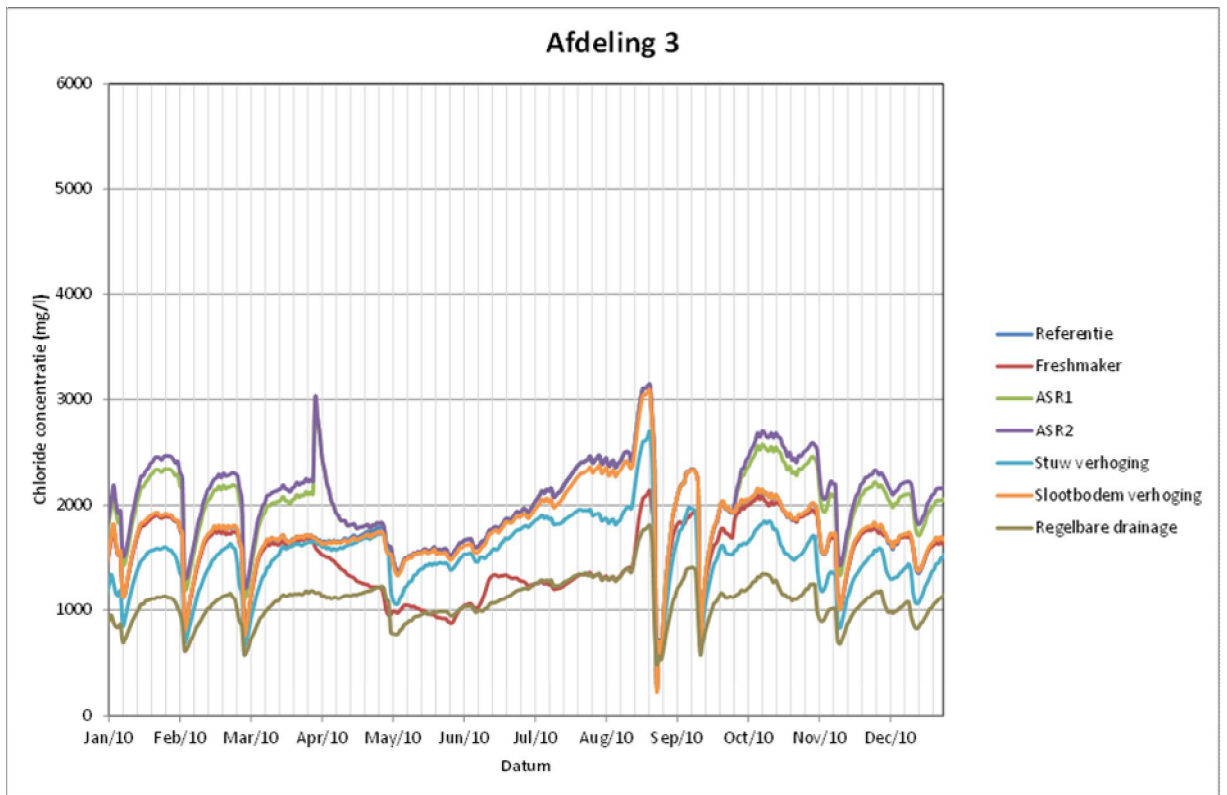
Figuur 52 Gemiddelde zoutconcentratie per winterhalfjaar (links) en zomerhalfjaar (rechts) voor de afzonderlijke afdelingen in de Wieringermeer.



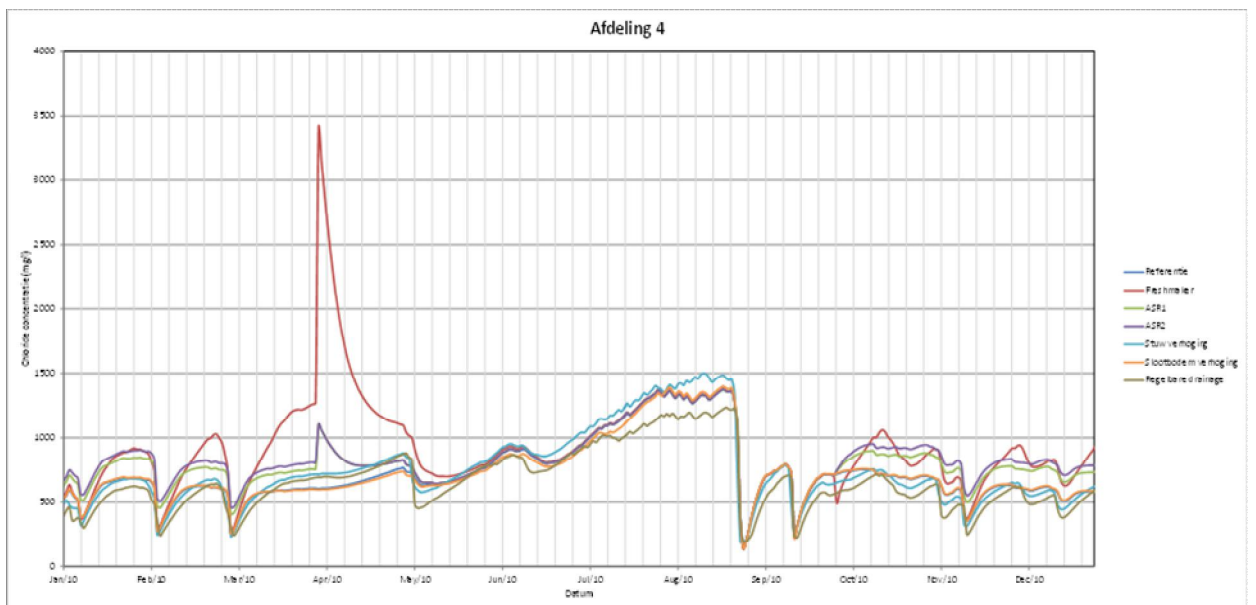
Figuur 53 Tijdreeks chlorideconcentratie Afdeling 1



Figuur 54 Tijdreeks chlorideconcentratie Afdeling 2



Figuur 55 Tijdreeks chlorideconcentratie Afdeling 3



Figuur 56 Tijdreeks chlorideconcentratie Afdeling 4

4.6 Optimalisatie oplossingenkeuze en totale zoetwaterberging

In de vorige paragrafen is voor drie typen oplossingen getoetst welke veranderingen de oplossingen teweegbrengen in het grondwater en oppervlaktewater. In deze paragraaf worden dezelfde principes gebruikt om te bepalen welke oplossingen op welke locatie het meeste waterbergend effect hebben en wat het totale waterbergend vermogen van de oplossingen in het gebied is. Daarbij zijn vijf oplossingen in beschouwing genomen:

- Kreekruginfiltratie
- Drains2buffer
- Regelbare drainage
- Waterconservering stuwen
- Waterconservering d.m.v. slootboderverhoging.

4.6.1 Waterberging door verhoging GVG

Het doel van de oplossingen is om de beschikbare zoetwatervoorraad in een bepaalde regio te verhogen. Niet alle oplossingen hebben effect op de GVG; oplossingen verschillen onderling ook in effectiviteit m.b.t. vergroting van de beschikbare hoeveelheid aan zoet water. Zo kan met kreekruginfiltratie meer zoet water worden geborgen dan met waterconservering m.b.t. stuwen. In Tabel 22 zijn de oplossingen die de GVG beïnvloeden in volgorde van effectiviteit weergegeven.

Tabel 22 Volgorde in effectiviteit zoetwaterberging en vertaling van kans in verhoging van de GVG [m] (waarden komen overeen met die in Tabel 10)

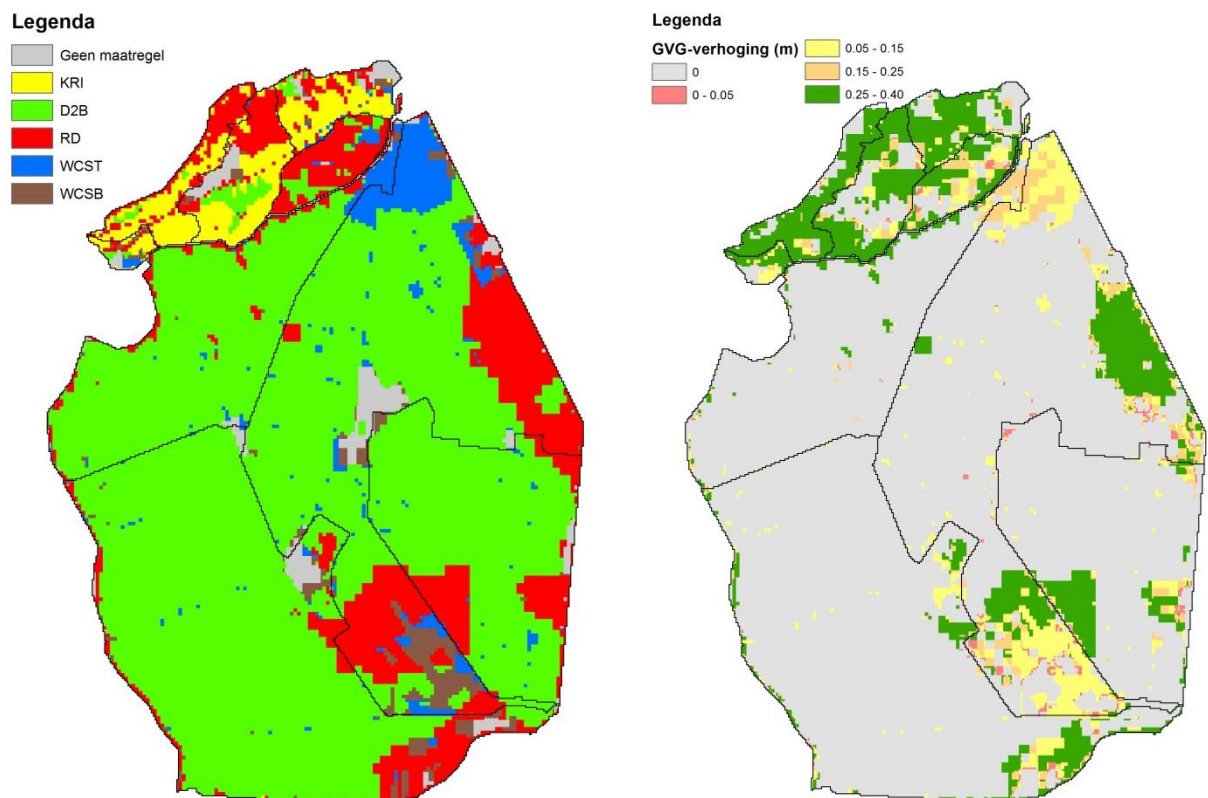
| Volgorde | Oplossing | Code | Niet kansrijk | Kansrijk | Zeer kansrijk |
|----------|----------------------------------------------|------|---------------|----------|---------------|
| 1 | Kreekruginfiltratie | KRI | 0 | 0,3* | 0,4* |
| 2 | Drains2buffer | D2B | 0 | 0 | 0 |
| 3 | Regelbare drainage | RD | 0 | 0,3 | - |
| 4 | Waterconservering stuwen | WCST | 0 | 0,1 | 0,2 |
| 5 | Waterconservering d.m.v. slootboderverhoging | WCSB | 0 | 0,1 | 0,2 |

* Voor gebieden waar kreekruginfiltratie kansrijk is, is de GVG-verhoging gelijk gesteld aan regelbare drainage, voor gebieden waar kreekruginfiltratie zeer kansrijk is een verhoging van 0,4 m aangehouden; dit betreft een beperkt gebied.

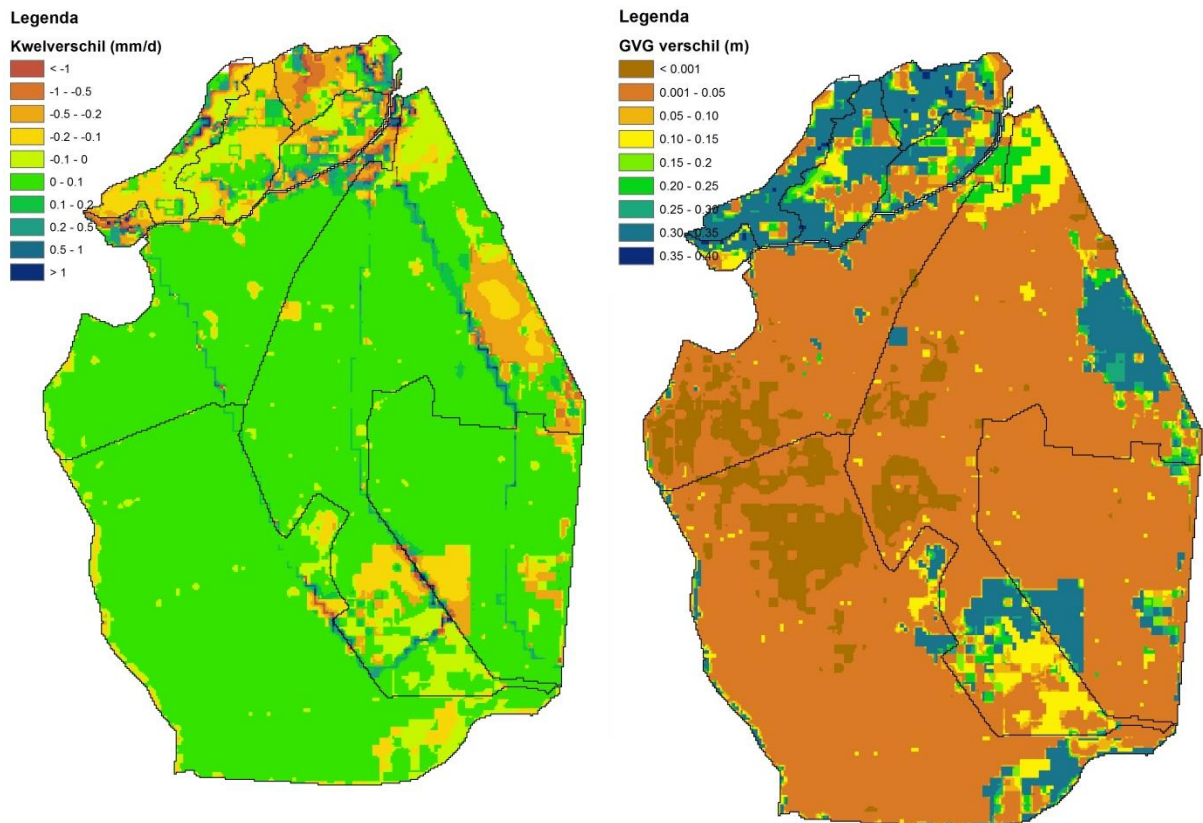


De vijf oplossingen uit Tabel 22 kunnen in principe nog worden gecombineerd met de oplossingen Verticale ASR en FreshMaker, op dezelfde locatie, zodat uiteindelijk meer zoet water kan worden geborgen. Hiervoor is geen berekening uitgevoerd.

Uiteindelijk is de kaart gemaakt waarin per locatie is aangeduid welke van de op die locatie kansrijke of zeer kansrijke oplossingen het meeste water oplevert. Deze oplossingenkaart (Figuur 57 links) is geclassificeerd naar een uit de oplossingen resulterende GVG-verhoging (Figuur 57 rechts), op basis van Tabel 22, en rekening houdend met de maatregelruimte (Figuur 39). Vervolgens is met MODFLOW een nieuwe berekening uitgevoerd. De effecten op de kwel en de GVG zijn weergegeven in Figuur 58.



Figuur 57 Ruimtelijke configuratie van de oplossingen die per locatie een maximale vergroting van de zoetwatervoorraad opleveren (links) en vertaling hiervan naar de GVG-verhoging (rechts)



Figuur 58 Kwelderskil (links) en verschil in GVG (rechts) tussen referentiesituatie en na toepassing van de meest kansrijke oplossing

Uit Figuur 58 blijkt dat de oplossingen leiden tot een toename van de wegzijging (negatief kwelderskil) op het eiland Wieringen, waar over grote delen de oplossing kreekruuginfiltratie is toegepast. In de Wieringermeer vindt over grote delen een geringe toename van de kwel plaats (gering positief kwelderskil), langs het IJsselmeer en in het zuidelijk deel van afdeling 3 zien we een gebied met toename van de infiltratie in gebieden met de oplossing regelbare drainage (rood aangemerkt gebied in Figuur 57). De gebieden met een toename van infiltratie komen overeen met de gebieden waar de GVG is verhoogd. In het gebied waar de GVG niet is verhoogd, oplossing Drains2Buffer, is de berekende verhoging van de GVG gering.

In Tabel 23 is het kwelderskil vertaald naar m^3/d , en opgesplitst naar deelgebied en oplossing. Het totale effect van de oplossingen in het casegebied is een afname in de kwel van 3292 m^3/d . De bergingsverandering van het grondwater, de verandering van de GVG, is weergegeven in Tabel 24. In totaal wordt er 1,26 miljoen m^3 extra water geborgen in de bodem ten opzichte van de referentiesituatie.



Tabel 23 Kwel voor deelgebieden binnen de Wieringermeerpolder en Wieringen

| Gebied | Oplossing | Gridcellen aantal | Area ha | Gemiddeld m | Kwel m3/d |
|-----------------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|--------------|
| Afdeling 1 | | 12614 | 3153.5 | 0.006 | 191 |
| | D2B | 11271 | 2817.75 | 0.024 | 672 |
| | RD | 698 | 174.5 | -0.200 | -349 |
| | WCST | 459 | 114.75 | -0.167 | -192 |
| | WCSB | 101 | 25.25 | 0.008 | 2 |
| | Geen oplossing | 85 | 21.25 | 0.267 | 57 |
| Afdeling 2 | | 26027 | 6506.75 | 0.006 | 371 |
| | KRI | 8 | 2 | -0.054 | -1 |
| | D2B | 22414 | 5603.5 | 0.019 | 1063 |
| | RD | 2165 | 541.25 | -0.130 | -702 |
| | WCST | 190 | 47.5 | 0.019 | 9 |
| | WCSB | 686 | 171.5 | -0.010 | -17 |
| | Geen oplossing | 564 | 141 | 0.013 | 19 |
| Afdeling 3 | | 27607 | 6901.75 | -0.013 | -927 |
| | D2B | 16696 | 4174 | 0.039 | 1635 |
| | RD | 5807 | 1451.75 | -0.161 | -2342 |
| | WCST | 2645 | 661.25 | -0.053 | -353 |
| | WCSB | 1506 | 376.5 | 0.015 | 56 |
| | Geen oplossing | 953 | 238.25 | 0.032 | 77 |
| Afdeling 4 | | 13122 | 3280.5 | 0.006 | 188 |
| | D2B | 10735 | 2683.75 | 0.033 | 884 |
| | RD | 1986 | 496.5 | -0.141 | -698 |
| | WCST | 155 | 38.75 | -0.052 | -20 |
| | WCSB | 96 | 24 | 0.049 | 12 |
| | Geen oplossing | 150 | 37.5 | 0.029 | 11 |
| Hippolytushoeverkoog | | 2937 | 734.25 | -0.065 | -476 |
| | KRI | 1300 | 325 | -0.103 | -334 |
| | D2B | 396 | 99 | 0.052 | 52 |
| | RD | 866 | 216.5 | -0.093 | -201 |
| | WCST | 8 | 2 | 0.688 | 14 |
| | WCSB | 81 | 20.25 | 0.021 | 4 |
| | Geen oplossing | 286 | 71.5 | -0.016 | -11 |
| Hoelmerkoog | | 2086 | 521.5 | -0.127 | -660 |
| | KRI | 1188 | 297 | -0.106 | -316 |
| | D2B | 78 | 19.5 | 0.026 | 5 |

| | | | | | |
|--|-------------------------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| | RD | 807 | 201.75 | -0.170 | -342 |
| | WCSB | 1 | 0.25 | 0.139 | 0 |
| | Geen oplossing | 12 | 3 | -0.256 | -8 |
| | Oosterlanderkoog | 2118 | 529.5 | -0.246 | -1300 |
| | KRI | 1117 | 279.25 | -0.285 | -795 |
| | D2B | 99 | 24.75 | -0.001 | 0 |
| | RD | 491 | 122.75 | -0.555 | -681 |
| | WCST | 70 | 17.5 | 0.269 | 47 |
| | WCSB | 97 | 24.25 | 0.274 | 67 |
| | Geen oplossing | 244 | 61 | 0.102 | 62 |
| | Waard-Nieuwland | 1851 | 462.75 | -0.080 | -369 |
| | KRI | 8 | 2 | -0.150 | -3 |
| | D2B | 355 | 88.75 | 0.178 | 158 |
| | RD | 1362 | 340.5 | -0.164 | -559 |
| | WCST | 110 | 27.5 | 0.072 | 20 |
| | WCSB | 6 | 1.5 | 0.125 | 2 |
| | Geen oplossing | 10 | 2.5 | 0.502 | 13 |
| | Westerlanderkoog | 498 | 124.5 | -0.249 | -310 |
| | KRI | 190 | 47.5 | -0.561 | -266 |
| | D2B | 46 | 11.5 | 0.289 | 33 |
| | RD | 77 | 19.25 | -0.857 | -165 |
| | WCST | 45 | 11.25 | -0.303 | -34 |
| | WCSB | 75 | 18.75 | 0.474 | 89 |
| | Geen oplossing | 65 | 16.25 | 0.206 | 33 |
| | Totaal | 88860 | 22215 | -0.015 | -3292 |



Tabel 24 Bergingsverandering grondwater voor deelgebieden binnen de Wieringermeerpolder en Wieringen

| Gebied | Oplossing | Gridcellen aantal | Area ha | Gemiddeld m | Berging m ³ |
|-----------------------------|----------------|-------------------|----------------|--------------|------------------------|
| Afdeling 1 | | 12614 | 3153.5 | 0.022 | 68036 |
| | D2B | 11271 | 2817.75 | 0.006 | 15523 |
| | RD | 698 | 174.5 | 0.207 | 36152 |
| | WCST | 459 | 114.75 | 0.123 | 14081 |
| | WCSB | 101 | 25.25 | 0.066 | 1678 |
| | Geen oplossing | 85 | 21.25 | 0.028 | 601 |
| Afdeling 2 | | 26027 | 6506.75 | 0.026 | 169335 |
| | KRI | 8 | 2 | 0.153 | 306 |
| | D2B | 22414 | 5603.5 | 0.005 | 26354 |
| | RD | 2165 | 541.25 | 0.226 | 122287 |
| | WCST | 190 | 47.5 | 0.085 | 4036 |
| | WCSB | 686 | 171.5 | 0.072 | 12269 |
| | Geen oplossing | 564 | 141 | 0.029 | 4084 |
| Afdeling 3 | | 27607 | 6901.75 | 0.059 | 407860 |
| | D2B | 16696 | 4174 | 0.006 | 23799 |
| | RD | 5807 | 1451.75 | 0.197 | 285660 |
| | WCST | 2645 | 661.25 | 0.102 | 67378 |
| | WCSB | 1506 | 376.5 | 0.079 | 29754 |
| | Geen oplossing | 953 | 238.25 | 0.005 | 1269 |
| Afdeling 4 | | 13122 | 3280.5 | 0.037 | 122421 |
| | D2B | 10735 | 2683.75 | 0.005 | 12969 |
| | RD | 1986 | 496.5 | 0.210 | 104490 |
| | WCST | 155 | 38.75 | 0.100 | 3875 |
| | WCSB | 96 | 24 | 0.031 | 747 |
| | Geen oplossing | 150 | 37.5 | 0.009 | 340 |
| Hippolytushoeverkoog | | 2937 | 734.25 | 0.204 | 149631 |
| | KRI | 1300 | 325 | 0.247 | 80368 |
| | D2B | 396 | 99 | 0.047 | 4685 |
| | RD | 866 | 216.5 | 0.232 | 50182 |
| | WCST | 8 | 2 | 0.098 | 197 |
| | WCSB | 81 | 20.25 | 0.126 | 2560 |
| | Geen oplossing | 286 | 71.5 | 0.163 | 11640 |
| Hoelmerkoog | | 2086 | 521.5 | 0.249 | 129679 |
| | KRI | 1188 | 297 | 0.262 | 77925 |
| | D2B | 78 | 19.5 | 0.144 | 2810 |
| | RD | 807 | 201.75 | 0.239 | 48185 |
| | WCSB | 1 | 0.25 | 0.100 | 25 |
| | Geen oplossing | 12 | 3 | 0.245 | 734 |

| | | | | | |
|-------------------------|----------------|--------------|---------------|--------------|----------------|
| Oosterlanderkoog | | 2118 | 529.5 | 0.217 | 115010 |
| | KRI | 1117 | 279.25 | 0.243 | 67870 |
| | D2B | 99 | 24.75 | 0.131 | 3234 |
| | RD | 491 | 122.75 | 0.280 | 34313 |
| | WCST | 70 | 17.5 | 0.086 | 1507 |
| | WCSB | 97 | 24.25 | 0.108 | 2619 |
| | Geen oplossing | 244 | 61 | 0.090 | 5468 |
| waard-Nieuwland | | 1851 | 462.75 | 0.174 | 80514 |
| | KRI | 8 | 2 | 0.263 | 527 |
| | D2B | 355 | 88.75 | 0.032 | 2806 |
| | RD | 1362 | 340.5 | 0.218 | 74264 |
| | WCST | 110 | 27.5 | 0.096 | 2648 |
| | WCSB | 6 | 1.5 | 0.100 | 150 |
| | Geen oplossing | 10 | 2.5 | 0.048 | 120 |
| Westerlanderkoog | | 498 | 124.5 | 0.199 | 24795 |
| | KRI | 190 | 47.5 | 0.293 | 13901 |
| | D2B | 46 | 11.5 | 0.094 | 1081 |
| | RD | 77 | 19.25 | 0.293 | 5636 |
| | WCST | 45 | 11.25 | 0.100 | 1124 |
| | WCSB | 75 | 18.75 | 0.115 | 2150 |
| | Geen oplossing | 65 | 16.25 | 0.056 | 904 |
| Totaal | | 88860 | 22215 | 0.057 | 1267282 |

4.6.2 Waterberging in oppervlaktewater

Bij de oplossing WCST wordt extra water geborgen in het oppervlaktewatersysteem, terwijl bij oplossing WCSB juist minder water in het oppervlaktewatersysteem kan worden geborgen dan in de referentiesituatie. De overige oplossingen hebben geen effect op de waterberging in het oppervlaktewatersysteem (Tabel 25). In totaal wordt er ruim 40 000 m³ extra in het oppervlaktewatersysteem geborgen.



Tabel 25 Bergingsverandering oppervlaktewater voor deelgebieden binnen de Wieringermeerpolder en Wieringen

| Gebied | Oplossing | Area ha | Gemiddeld m | Fractie Oppw | Berging m3 |
|-----------------------------|---------------------|----------------|--------------|---------------|--------------|
| Afdeling 1 | | 3153.5 | 0.022 | 0.0243 | 6640 |
| | D2B | 2817.75 | 0.006 | 0.0243 | |
| | RD | 174.5 | 0.207 | 0.0243 | |
| | WCST | 114.75 | 0.123 | 0.0243 | 6844 |
| | WCSB | 25.25 | 0.066 | 0.0243 | -204 |
| | Geen op- lossing | 21.25 | 0.028 | 0.0243 | |
| Afdeling 2 | | 6506.75 | 0.026 | 0.0255 | 494 |
| | KRI | 2 | 0.153 | 0.0255 | |
| | D2B | 5603.5 | 0.005 | 0.0255 | |
| | RD | 541.25 | 0.226 | 0.0255 | |
| | WCST | 47.5 | 0.085 | 0.0255 | 2058 |
| | WCSB | 171.5 | 0.072 | 0.0255 | -1564 |
| | Geen op- lossing | 141 | 0.029 | 0.0255 | |
| Afdeling 3 | | 6901.75 | 0.059 | 0.0235 | 28172 |
| | D2B | 4174 | 0.006 | 0.0235 | |
| | RD | 1451.75 | 0.197 | 0.0235 | |
| | WCST | 661.25 | 0.102 | 0.0235 | 31668 |
| | WCSB | 376.5 | 0.079 | 0.0235 | -3496 |
| | Geen op- lossing | 238.25 | 0.005 | 0.0235 | |
| Afdeling 4 | | 3280.5 | 0.037 | 0.0231 | 1704 |
| | D2B | 2683.75 | 0.005 | 0.0231 | |
| | RD | 496.5 | 0.210 | 0.0231 | |
| | WCST | 38.75 | 0.100 | 0.0231 | 1790 |
| | WCSB | 24 | 0.031 | 0.0231 | -86 |
| | Geen op- lossing | 37.5 | 0.009 | 0.0231 | |
| Hippolytushoeverkoog | | 734.25 | 0.204 | 0.0347 | -308 |
| | KRI | 325 | 0.247 | 0.0347 | |
| | D2B | 99 | 0.047 | 0.0347 | |
| | RD | 216.5 | 0.232 | 0.0347 | |
| | WCST | 2 | 0.098 | 0.0347 | 136 |
| | WCSB | 20.25 | 0.126 | 0.0347 | -444 |
| | Geen op- lossing | 71.5 | 0.163 | 0.0347 | |
| Hoelmerkoog | | 521.5 | 0.249 | 0.0354 | -4 |

| | | | | |
|-------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| KRI | 297 | 0.262 | 0.0354 | |
| D2B | 19.5 | 0.144 | 0.0354 | |
| RD | 201.75 | 0.239 | 0.0354 | |
| WCSB | 0.25 | 0.100 | 0.0354 | -4 |
| Geen op- lossing | 3 | 0.245 | 0.0354 | |
| Oosterlanderkoog | 529.5 | 0.217 | 0.0446 | 760 |
| KRI | 279.25 | 0.243 | 0.0446 | |
| D2B | 24.75 | 0.131 | 0.0446 | |
| RD | 122.75 | 0.280 | 0.0446 | |
| WCST | 17.5 | 0.086 | 0.0446 | 1344 |
| WCSB | 24.25 | 0.108 | 0.0446 | -584 |
| Geen op- lossing | 61 | 0.090 | 0.0446 | |
| Waard-Nieuwland | 462.75 | 0.174 | 0.0697 | 3638 |
| KRI | 2 | 0.263 | 0.0697 | |
| D2B | 88.75 | 0.032 | 0.0697 | |
| RD | 340.5 | 0.218 | 0.0697 | |
| WCST | 27.5 | 0.096 | 0.0697 | 3691 |
| WCSB | 1.5 | 0.100 | 0.0697 | -52 |
| Geen op- lossing | 2.5 | 0.048 | 0.0697 | |
| Westerlanderkoog | 124.5 | 0.199 | 0.0354 | 415 |
| KRI | 47.5 | 0.293 | 0.0354 | |
| D2B | 11.5 | 0.094 | 0.0354 | |
| RD | 19.25 | 0.293 | 0.0354 | |
| WCST | 11.25 | 0.100 | 0.0354 | 796 |
| WCSB | 18.75 | 0.115 | 0.0354 | -381 |
| Geen op- lossing | 16.25 | 0.056 | 0.0354 | |
| Totaal | 22215 | 0.057 | 0.0263 | 41511 |

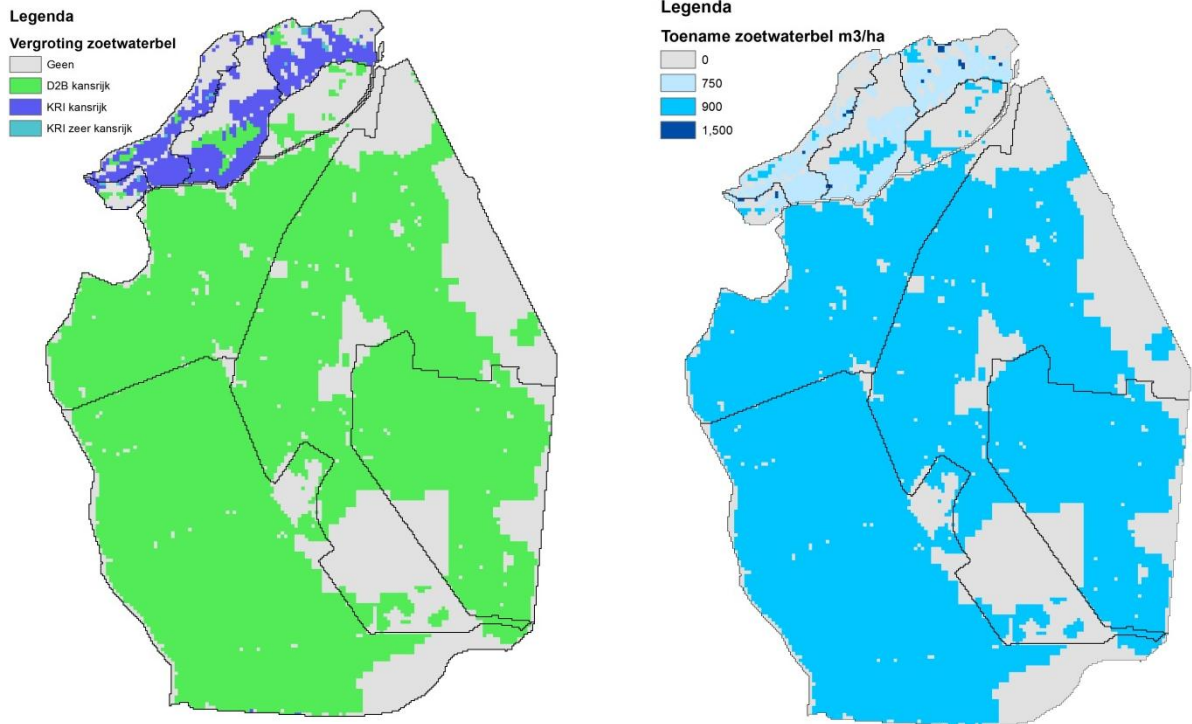
4.6.3 Waterberging door toename zoetwaterlensdikte

Naast een toename van de zoetwaterberging door verhoging van de GVG als gevolg van de lokaal uitgevoerde oplossingen en/of uitstraling van oplossingen in de omgeving, leiden twee van de onderzochte oplossingen bij uitvoering (ook) tot een naar de diepte gerichte vergroting van de zoetwatervoorraad in de ondergrond: Kreekruginfiltratie en Drains2buffer. In Figuur 59 (links) is aangegeven waar deze oplossingen bij voorkeur worden genomen (ligging komt overeen met die in Figuur 57). Per deelgebied is het aantal m³ zoet water bepaald (Tabel 26) dat bij deze oplossing extra in de ondergrond wordt geborgen.

De totale hoeveelheid extra zoetwater die beschikbaar komt vanwege de toename van de dikte van de zoetwaterlens in de ondergrond bedraagt 14,7 miljoen m³. Deze is in Tabel 27 uitgesplitst naar de afzonderlijke oplossingen. De



grootste bijdrage aan de vergroting van de zoetwaterlens geeft de oplossing D2B met bijna 14 miljoen m³. Deze oplossing wordt in 70% van het gebied genomen.



Figuur 59 Gebieden waar D2B en KRI kansrijk zijn (links) en de te verwachten toename van de zoetwaterlens [m³/ha] (rechts)

Tabel 26 Toename van de zoetwaterlens in de ondergrond voor deelgebieden binnen de Wieringermeerpolder en Wieringen

| Gebied | Oplossing | Area Ha | Vergroting zoetwaterlens m ³ /ha | m ³ |
|-------------------|----------------|----------------|---------------------------------------------|----------------|
| Afdeling 1 | | 3153.5 | 804 | 2535975 |
| | D2B | 2817.75 | 900 | 2535975 |
| | RD | 174.5 | 0 | 0 |
| | WCST | 114.75 | 0 | 0 |
| | WCSB | 25.25 | 0 | 0 |
| | Geen oplossing | 21.25 | 0 | 0 |
| Afdeling 2 | | 6506.75 | 775 | 5044650 |
| | KRI | 2 | 750 | 1500 |
| | D2B | 5603.5 | 900 | 5043150 |
| | RD | 541.25 | 0 | 0 |

| | | | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|------------|----------------|
| | WCST | 47.5 | 0 | 0 |
| | WCSB | 171.5 | 0 | 0 |
| | Geen oplossing | 141 | 0 | 0 |
| Afdeling 3 | | 6901.75 | 544 | 3756600 |
| | D2B | 4174 | 900 | 3756600 |
| | RD | 1451.75 | 0 | 0 |
| | WCST | 661.25 | 0 | 0 |
| | WCSB | 376.5 | 0 | 0 |
| | Geen oplossing | 238.25 | 0 | 0 |
| Afdeling 4 | | 3280.5 | 736 | 2415375 |
| | D2B | 2683.75 | 900 | 2415375 |
| | RD | 496.5 | 0 | 0 |
| | WCST | 38.75 | 0 | 0 |
| | WCSB | 24 | 0 | 0 |
| | Geen oplossing | 37.5 | 0 | 0 |
| Hippolytushoeverkoog | | 734.25 | 455 | 333788 |
| | KRI | 325 | 753 | 244688 |
| | D2B | 99 | 900 | 89100 |
| | RD | 216.5 | 0 | 0 |
| | WCST | 2 | 0 | 0 |
| | WCSB | 20.25 | 0 | 0 |
| | Geen oplossing | 71.5 | 0 | 0 |
| Hoelmerkoog | | 532.75 | 459 | 244613 |
| | KRI | 298 | 762 | 227063 |
| | D2B | 19.5 | 900 | 17550 |
| | RD | 211.25 | 0 | 0 |
| | WCSB | 0.25 | 0 | 0 |
| | Geen oplossing | 3.75 | 0 | 0 |
| Oosterlanderkoog | | 533.5 | 457 | 243975 |
| | KRI | 279.25 | 788 | 220125 |
| | D2B | 26.5 | 900 | 23850 |
| | RD | 124.25 | 0 | 0 |
| | WCST | 17.5 | 0 | 0 |
| | WCSB | 24.25 | 0 | 0 |
| | Geen oplossing | 61.75 | 0 | 0 |
| Waard-Nieuwland | | 462.75 | 176 | 81375 |
| | KRI | 2 | 750 | 1500 |
| | D2B | 88.75 | 900 | 79875 |



| | | | |
|-------------------------|-----------------|------------|-----------------|
| RD | 340.5 | 0 | 0 |
| WCST | 27.5 | 0 | 0 |
| WCSB | 1.5 | 0 | 0 |
| Geen oplossing | 2.5 | 0 | 0 |
| Westerlanderkoog | 124.5 | 399 | 49725 |
| KRI | 47.5 | 829 | 39375 |
| D2B | 11.5 | 900 | 10350 |
| RD | 19.25 | 0 | 0 |
| WCST | 11.25 | 0 | 0 |
| WCSB | 18.75 | 0 | 0 |
| Geen oplossing | 16.25 | 0 | 0 |
| Totaal | 22230.25 | 662 | 14706075 |

Tabel 27 Toename zoetwatervoorraad door vergroting van de dikte van de zoetwaterlens in Wieringermeerpolder en Wieringen

| Oplossing | Area ha | percentage | Vergroting zoetwaterlens | |
|----------------|---------------|---------------|--------------------------|-----------------|
| | | | m3/ha | m3 |
| KRI | 25.5 | 4.3% | 770 | 734250 |
| D2B | 953.75 | 69.9% | 900 | 13971825 |
| RD | 15524.25 | 16.0% | 0 | 0 |
| WCST | 3575.75 | 4.1% | 0 | 0 |
| WCSB | 920.5 | 3.0% | 0 | 0 |
| Geen oplossing | 662.25 | 2.7% | 0 | 0 |
| Totaal | 593.75 | 100.0% | 662 | 14706075 |

4.6.4 Totale zoetwaterberging in casegebied

In de voorgaande paragrafen is per oplossing voorgerekend met welke volumes de zoetwaterberging in het grondwater en oppervlaktewater toenemen binnen het casegebied. Deze volumes zijn samengevat in Tabel 28.

Tabel 28 Toename van zoetwaterberging in grondwater en oppervlaktewater, per oplossing, voor het gebied Wieringen en Wieringermeer.

| | Area [ha] | Area [%] | Grondwater [m3] | Oppervlaktewater [m3] | Vergroting zoetwaterlens [m3] |
|-----------------------|---------------|---------------|------------------|-----------------------|-------------------------------|
| KRI | 952 | 4.3% | 240.896 | | 734.250 |
| D2B | 15.522 | 69.9% | 93.261 | | 13.971.825 |
| RD | 3.564 | 16.0% | 761.168 | | 0 |
| WCST | 920 | 4.1% | 94.845 | 48.327 | 0 |
| WCSB | 662 | 3.0% | 51.952 | -6.816 | 0 |
| Geen oplossing | 592 | 2.7% | 25.160 | | 0 |
| Totaal | 22.215 | 100.0% | 1.267.282 | 41.511 | 14.706.075 |

Uit Tabel 28 blijkt dat middels de oplossingen in totaal circa 16 miljoen m3 zoetwater kan worden geborgen in het casegebied. Uitgaande van het totale oppervlak van het casegebied is dit gemiddeld 72 mm. De gemiddelde water-vraag gedurende het groeiseizoen in het casegebied wordt geraamd op 200 mm. Deze raming is gebaseerd op het neerslagtekort van een 1/10 droog jaar (werkgroep herziening cultuurtechnisch Vademecum 1988). Aan een dergelijke water-vraag kan middels de oplossingen dus nog niet volledig worden voldaan. Anderzijds blijkt uit de waterbalans van de Wieringermeerpolder (zie paragraaf 4.5.2) dat hier in het zomerhalfjaar zo'n 11 miljoen m3 water wordt ingelaten. Dit is minder dan de opbrengst van de beschouwde oplossingen.

De oplossing D2B is in het gebied dominant. Deze beslaat bijna 70% van het areaal. De oplossing RD wordt in 16% van het gebied toegepast terwijl de overige oplossingen samen slechts betrekking hebben op minder dan 5% van het oppervlak. In slechts 2,7% van het gebied kan geen oplossing worden ingepast.

Bij oplossing D2B wordt de GVG eigenlijk niet verhoogd. De toename van de berging in het grondwater komt tot stand via uitstraling van andere oplossingen in de omgeving; daarom bedraagt de bijdrage aan de toename van de berging in het grondwater, ondanks het grote areaal waarop de oplossing wordt toegepast, slechts 7,4%. Het voornaamste effect van D2B is dat de dikte van de zoetwaterlens in de diepte groter wordt. Door het grote toepassingsgebied van de oplossingen is deze bijdrage aan het totale volume extra water dominant: meer dan 90%.

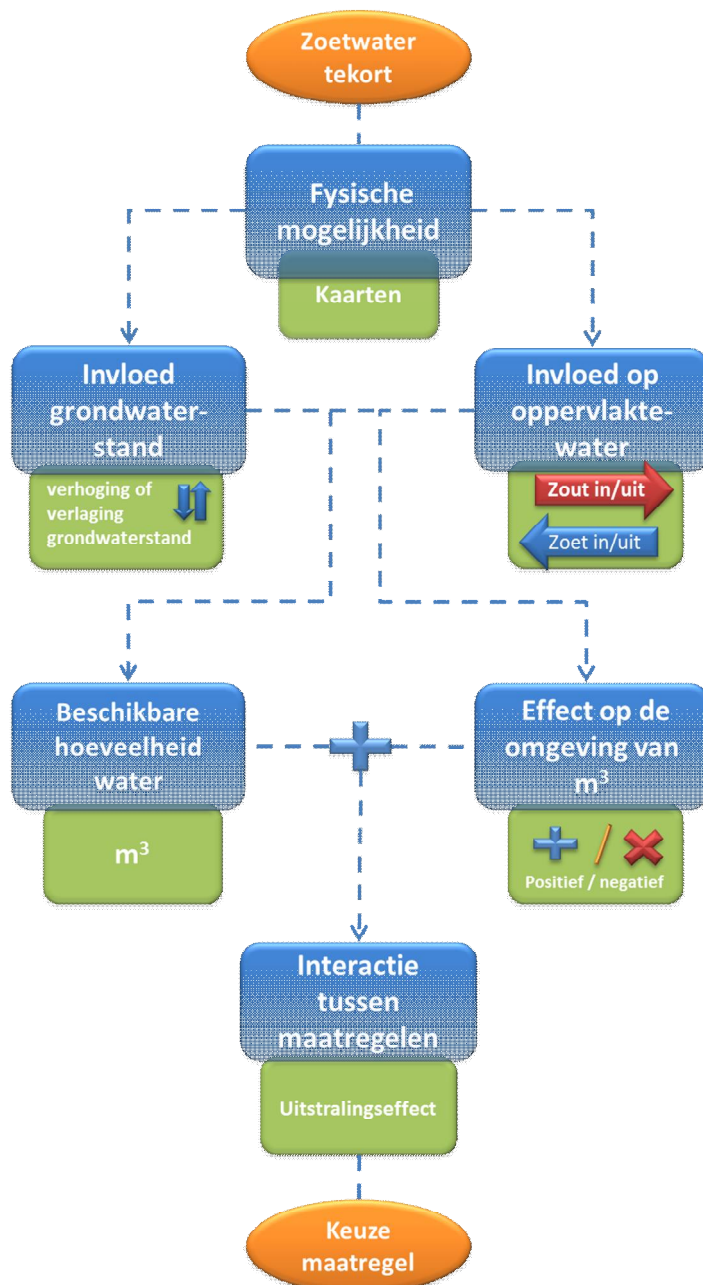


De bijdrage van de oppervlaktewaterberging bij oplossing WCST bedraagt ongeveer de helft van de grondwaterberging bij oplossing WCST, terwijl de afname van oppervlaktewaterberging bij oplossing WCSB 13% bedraagt van de grondwaterberging bij deze oplossing.

NB. In de hier uitgevoerde analyse zijn de oplossingen Verticale ASR en FreshMaker niet meegenomen. Deze twee oplossingen kunnen op 1 locatie met de andere oplossingen worden gecombineerd om daar de waterbergingscapaciteit verder te verhogen. Ramingen van deze wateropbrengst, en een vergelijk van deze opbrengst met de uitgangspunten van het Deltaprogramma Zoetwater, zijn onderwerp van de thesis van Nikkels (juli 2014).

5 Handreiking Fresh Water Options Optimization

Dit hoofdstuk geeft een samenvatting van de methodologie in de vorm van een stappenplan. Het doorlopen van stappen 1 t/m 5 is geschematiseerd in Figuur 60.



Figuur 60 Stappen (1 t/m 5) in de methodiek voor selectie van zoetwateroplossingen



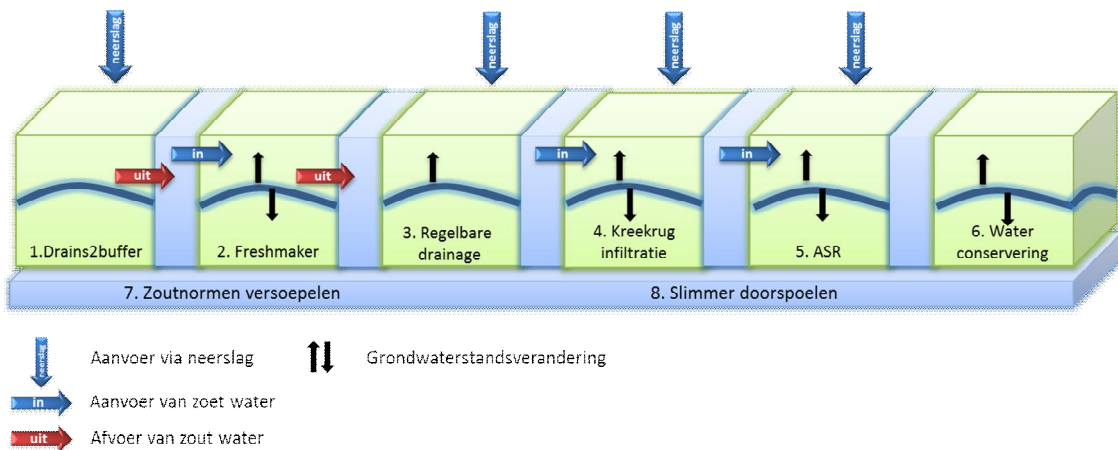
1 Bepaal het zoetwatertekort. Om een de toegevoegde waarde van oplossingen te kunnen bepalen, is het zaak te beginnen met een analyse van het eventuele huidige en toekomstige zoetwatertekort in een gebied. Treedt er momenteel al droogteschade of zoutschade op? En wordt deze schade mogelijk groter als gevolg van klimaatverandering? Hoeveel water wordt er momenteel aangevoerd om in de waterbehoefte te voorzien? Zijn er knelpunten (te verwachten) in deze zoetwatervoorziening, bijvoorbeeld wanneer er meer kapitaalintensieve gewassen zullen worden geteeld? Wanneer er schades zijn en de zoetwatervoorziening kan een knelpunt (gaan) vormen, is het i.i.g. zinnig om de potentie van alternatieve bronnen van zoetwater te onderzoeken.

2 Bepaal kansen voor oplossingen o.b.v. de mogelijkheden die het fysieke systeem biedt. De volgende stap is het bepalen van de geschiktheid van de ondergrond en het watersysteem voor verschillende typen oplossingen. Daartoe wordt gebruik gemaakt van kansenkaarten.

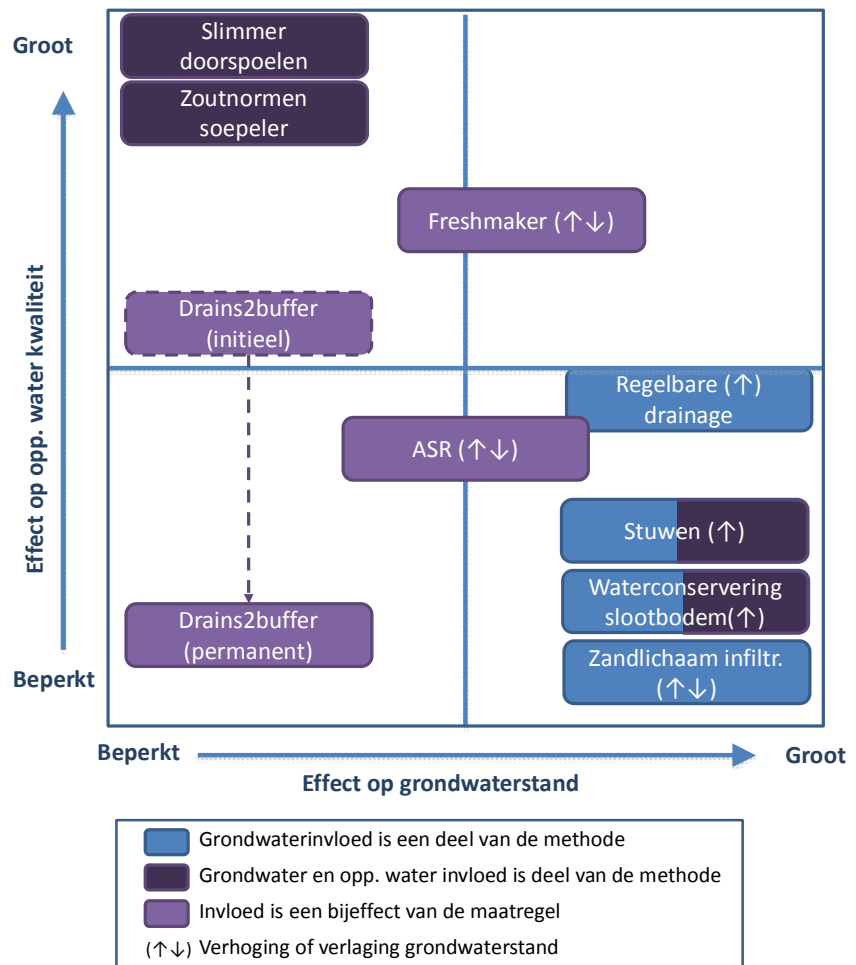
Op de website klimaateffectatlas.wur.nl/fwoo/ kunnen de kaarten worden geraadpleegd en kan via links uitgebreidere informatie over de verschillende oplossingen worden gevonden.

De kaarten in dit rapport en op de website kunnen op een regionaal schaalniveau worden gebruikt om te bepalen welke oplossingen op welke plaats meer of minder kansrijk zijn. Wanneer kan worden beschikt over gedetailleerdere regionale informatie dan de informatie die voor de landelijke kaarten is gebruikt, dan loont het om de kaarten op dit schaalniveau te reconstrueren. Uit een toets is namelijk gebleken dat de landelijke kaarten conservatief kunnen zijn t.a.v. kansen. Na analyse van de lokale situatie en constructie van gedetailleerdere kaarten, kan meer mogelijk blijken. Voor het maken van gedetailleerde kaarten kan gebruik worden gemaakt van de in dit rapport beschreven werkwijze.

3 Beoordeel invloed op oppervlaktewatersysteem. Oplossingen kunnen het oppervlaktewater beïnvloeden. Dit effect kan variëren van meer of minder kwelwater, een vergrootte zoutvracht tot meer vraag naar aanvoer van zoet water. Sommige oplossingen vereisen aanvoer van water in de periode dat de zoetwatervoorraad wordt opgebouwd (Freshmaker, kreekruginfiltratie, ASR). Er zijn ook oplossingen die zout water moeten kunnen lozen op het oppervlaktewater (Drains2Buffer, Freshmaker). Beoordeeld moet worden of deze invloed acceptabel en inpasbaar is binnen het bestaande watersysteem.



4 Houdt rekening met interactie met omgeving en tussen oplossingen onderling. Oplossingen hebben niet alleen effect op de zoetwaterbeschikbaarheid op de locatie waarop de oplossing wordt toegepast, maar beïnvloeden ook het grondwater en oppervlaktewater in het aangrenzende gebied. Bij het maken van keuzes voor of tussen oplossingen is inzicht in deze uitstralingseffecten relevant. Navolgende figuur geeft weer welke effecten bij welke oplossingen kunnen worden verwacht.



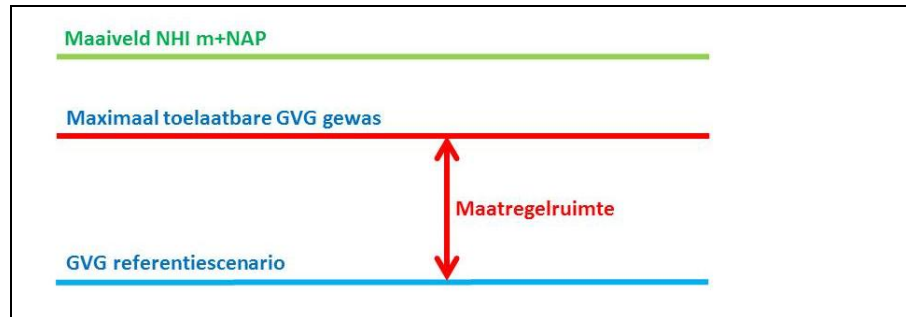
Inzicht in de te verwachten interactie met de omgeving kan leiden tot andere keuzes. Sommige oplossingen zullen wellicht niet mogelijk blijken te zijn, of hebben een ongewenst effect. Er zijn ook ongewenste combinaties van oplossingen: wanneer Drains2Buffer is toegepast kan daarna geen waterconservering met stuwen of door middel van slootbodembodemverhoging plaatsvinden. Slootbodembodemverhoging is ook niet meer mogelijk als er regelbare drainage is aangelegd. Voor elk specifiek gebied zullen andere afwegingen gelden omdat elk gebied weer op andere wijzen wordt beheerd. Bovenstaande punten zijn daarom discussiepunten voor een consultatie van gebiedskenners.

5 Raam de maximaal mogelijke toename van de zoetwatervoorraad op locatieniveau. Wanneer duidelijk is waar de kans op het succesvol toepassen van een oplossing meer of minder groot is, wordt het effect van de oplossing op het grondwater geraamd. De raming is voor elk gebied maatwerk. In een poldergebied in Laag Nederland kan bij dat maatwerk worden voortgebouwd op de volgende generieke cijfers:

| Oplossing | Effect op grondwater | | |
|----------------------------------------------------|----------------------------|------------------|----------------------------------------------|
| | Δ zoetwaterlens (m) | Δ GVG (m) | Wijze van vergroting zoewaterbeschikbaarheid |
| Drains2buffer (D2B) | 0,5 | 0 | verzilting bestrijding op het perceel |
| Regelbare drainage (RD) | 3 | 0,3 | reductie uitzakken / verzilting bestrijding |
| Kreekruginfiltratie (KRI) | 5 | 0,5 | oppompen water uit ondergrond |
| Freshmaker (FM) | 10 | 0 | oppompen water uit ondergrond |
| Verticale ASR (VASR) | 15 | 0 | oppompen water uit ondergrond |
| Waterconservering door stuwen (WCST) | 0 | 0,2 | reductie uitzakken / verzilting bestrijding |
| Waterconservering door slootbodempverhoging (WCSB) | 0 | 0,15 | reductie uitzakken / verzilting bestrijding |

De cijfers in bovenstaande tabel zijn met zorg gekozen door een team van experts. Echter, elk gebied is weer anders. Het is daarom aanbevelenswaardig om bij toepassing van de methodiek de geldigheid van de cijfers voor het betreffende gebied bij gebiedskenners (bv. een hydroloog van het waterschap) te toetsen.

Bepaal met een landgebruikskartaal welke gewassen in het gebied aanwezig zijn. Voor elk gewas geldt namelijk een maximaal toelaatbare grondwaterstand. De maximaal toelaatbare of mogelijke GVG verhoging is de zgn. 'beheersruimte' of 'maatregelruimte'. Deze ruimte (de afstand tussen de huidige GVG en maximaal te realiseren GVG) wordt gebruikt om het volume water te berekenen dat extra kan worden geborgen. Bedenk hierbij wel dat gewastypen op een perceel kunnen rouleren.



Er kunnen op 1 locatie meerdere oplossingen kansrijk zijn. Wanneer wordt gestreefd naar een maximale wateropbrengst, wordt gekozen voor de oplossing die kansrijk is en geen ongewenste neveneffecten heeft (zie voorgaande punten), de meeste maatregelruimte heeft en, in een gebied met zout grondwater op geringe diepte, waarmee de dikste zoetwaterlens wordt gecreëerd.

6 Bereken de totale toename van de zoetwaterberging in het gehele gebied.

Met de in dit rapport beschreven rekenregels kan een verkennende raming van de verkregen zoetwaterberging worden gemaakt (zie paragrafen 3.2.1 en 3.2.2). Zoals bij de toets op een casegebied die in deze studie is uitgevoerd, kan daarbij de hulp worden ingeroepen van (sub)regionale modellen (in deze studie NHI, MODFLOW, SWAP).

Bijlage 1: Voorbeeldanalyse van uitstralingseffecten op grondwater

Het ruimtelijk effect van een verandering van de grondwaterstand op een specifieke locatie naar de omgeving bestaat uit een verandering van de grondwaterstand en van de kwel. Deze veranderingen kunnen worden bepaald met behulp van analytische oplossingen, numerieke modellen (o.a. MODFLOW en NHI) of een combinatie hiervan (Analytische Elementenmethode (De Lange, 1996). Hierna wordt beschreven, als voorbeeld voor drainage, hoe de uitstraling met behulp van analytische formules kan worden berekend. Belangrijk is op te merken dat de grondwaterstands- en kwelveranderingen die met analytische formules zijn berekend de veranderingen zijn die uiteindelijk zullen optreden omdat geen rekening wordt gehouden met berging.

De beïnvloeding van drainage op de grondwaterstand in de omgeving wordt bepaald met behulp van analytische oplossingen die zijn ontleend aan Mazure (1936). Bij het gebruik van de analytische oplossingen wordt uitgegaan van berekeningen volgens het principe van superpositie van effecten, en wordt alleen voor de stationaire stromingssituatie gerekend. Het uitstralingseffect van een drainagesysteem kan in een GIS-omgeving worden berekend. Voor berekening van de verandering van de grondwaterstroming in de omgeving van het gedraineerde perceel moeten de volgende gegevens bekend zijn om de drainageweerstand vast te kunnen stellen:

- perceelsgrenzen
- ontwateringssituatie
- waterlopen (ligging, klasse)
- ontwateringsniveau
- ligging van de bestaande drainage
- geohydrologie (c -waarden, kD -waarden en dikten).

Afhankelijk van de grondwaterstand zullen verschillende ontwateringsmiddelen deelnemen aan het drainageproces. De gegevens betreffende slootafstanden zijn ontleend aan het TOP10-Vectorbestand. In het TOP10-Vectorbestand worden de volgende klassen van waterlopen onderscheiden:

- greppel/droge sloot
- sloten < 3 meter



- waterlopen 3 – 6 meter
- waterlopen > 6 meter

Indien de ingreep als gevolg van de aanleg van drainage bekend is kan in een GIS een grondwaterstandsverlagingkaart gemaakt worden door bijvoorbeeld voor intervallen van 5 cm grondwaterstandsverlaging de afstand tot het gedraineerde perceel te berekenen. Bij de bepaling van de grondwaterstandsverlaging spelen de spreidingslengte en de drainageweerstand een cruciale rol:

$$\lambda^* = \sqrt{kDc^*} \quad (21)$$

waarin:

| | | |
|-------------|------------------------|-------|
| λ^* | : spreidingslengte | (m) |
| k | : doorlaatfactor | (m/d) |
| D | : laagdikte | (m) |
| c^* | : vervangende c-waarde | (d) |

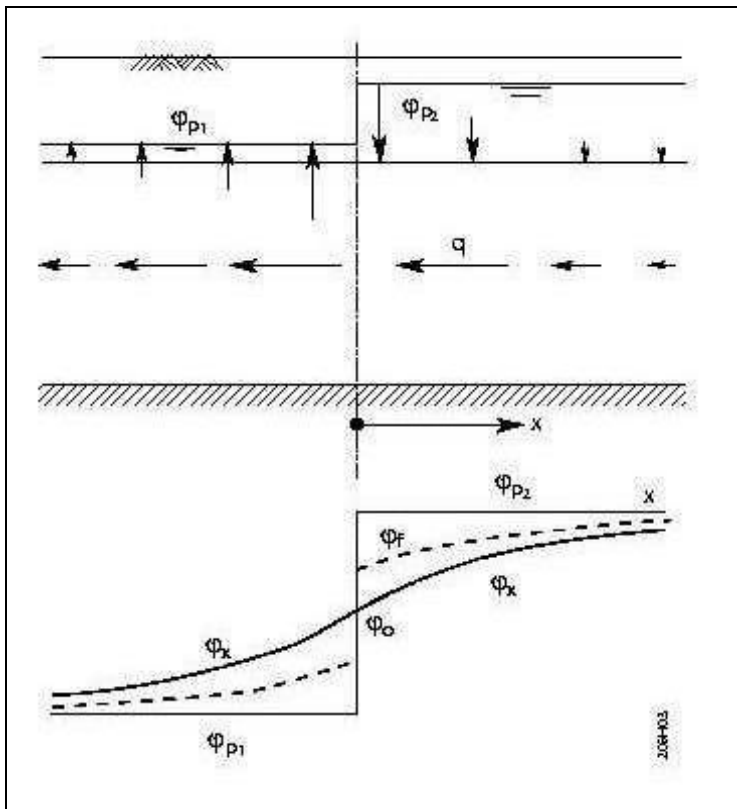
De spreidingslengte kan vervolgens gebruikt worden in de formule van Mazure (1936) voor de bepaling van effecten van twee gebieden met een verschillend peil en een rechte grens (Figuur 61) (Edelman, 1972; TNO, 1964; Verruijt, 1974); zie:

$$\frac{Q_x}{Q_0} = \frac{(\varphi_p - \varphi_x)}{(\varphi_p - \varphi_k)} = e^{-x/\lambda^*} \quad (22)$$

waarin:

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Q_x | : debiet in het eerste watervoerend pakket op een afstand x | (m ³ /dag) |
| Q_0 | : debiet in het eerste watervoerend pakket op een afstand 0 | (m ³ /dag) |

| | | |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| f_x | : stijghoogte in het eerste watervoerend pakket op een afstand x | (m) |
| f_p | : polderpeil | (m) |
| f_0 | : stijghoogte in het eerste watervoerend pakket op de grens tussen de twee gebieden | (m) |
| λ^* | : spreidingslengte ($\sqrt{kDc^*}$) | (m) |
| x | : afstand | (m) |



Figuur 61 Overzicht van de effecten van 2 gebieden met een verschillend polderpeil (Naar Edelman, 1972)

De afname van zowel het debiet als het stijghoogteverschil is logaritmisches met de afstand tot de gebiedsgrens volgens $e^{-x/\lambda}$. In Figuur 62 is deze afname van het debiet bij toename van de afstand (x) weergegeven. Aan de hand van Figuur 62 kan geconcludeerd worden dat het effect van peilverschillen in theorie oneindig ver door gaat. Praktisch gezien blijkt echter dat op een afstand groter dan driemaal de spreidingslengte nog maar een beïnvloeding van 5% plaatsvindt.

Bij gebieden die min of meer cirkelvormig zijn, speelt radiale stroming een belangrijke rol. Voor de verhouding tussen het debiet in het eerste watervoerend



pakket op een afstand r vanaf een gebied met een afwijkend peil ten opzichte van de omgeving, geldt de volgende formule (Figuur 63) (TNO, 1964):

$$\frac{Q_r}{Q_R} = \frac{\frac{r}{\lambda^*} K_1\left(\frac{r}{\lambda^*}\right)}{\frac{R}{\lambda^*} K_1\left(\frac{R}{\lambda^*}\right)} \quad (23)$$

waarin:

Q_r : debiet in het eerste watervoerend pakket op een afstand r (m³/dag)

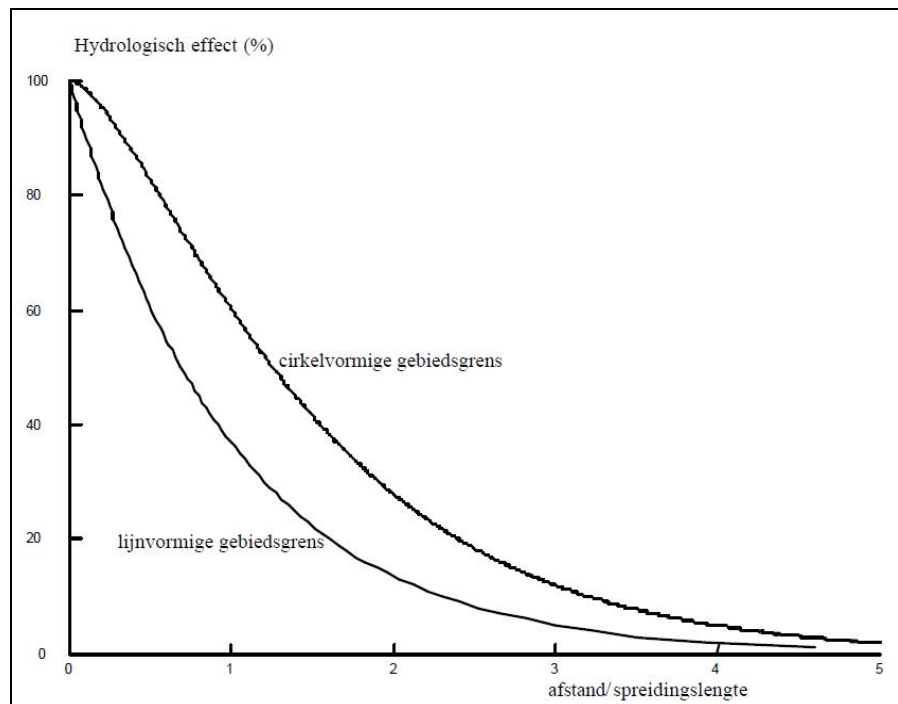
Q_R : debiet in het eerste watervoerend pakket op een afstand R (m³/dag)

r : afstand (m)

R : straal van het gebied (m)

λ^* : spreidingslengte ($\sqrt{kDc^*}$) (m)

K_1 : Besselfunctie van de tweede soort en van de orde 1



Figuur 62 Grondwaterstandsverlaging in de omgeving: het uitstralingseffect; grafische weergave van formule 22 en 24.

Indien de straal (R) van het cirkelvormige gebied klein is ten opzichte van de spreidingslengte, kan bovenstaande formule vereenvoudigd worden. Voor de verhouding tussen het debiet in het eerste watervoerend pakket op een af-

stand r vanaf een onttrekking en het debiet op een afstand r geldt dan volgende formule (TNO, 1964):

$$\frac{Q_r}{Q_R} = \frac{r}{\lambda^*} K_1\left(\frac{r}{\lambda^*}\right) \quad (24)$$

In Figuur 62 is het verloop van formule 24 weergegeven. Uit deze figuur kan geconcludeerd worden dat de invloed van peilverschillen snel afneemt bij toename van de afstand. Op een afstand van viermaal de spreidingslengte ($4\lambda^*$) de beïnvloeding is nog maar 5%.

Voor bij benadering cirkelvormige gebieden met peilverschillen is het hydrologische effect afhankelijk van de straal van het gebied waarin een afwijkend peil gehandhaafd wordt. Het hydrologische effect neemt met de volgende constante toe bij toename van de straal van het gebied:

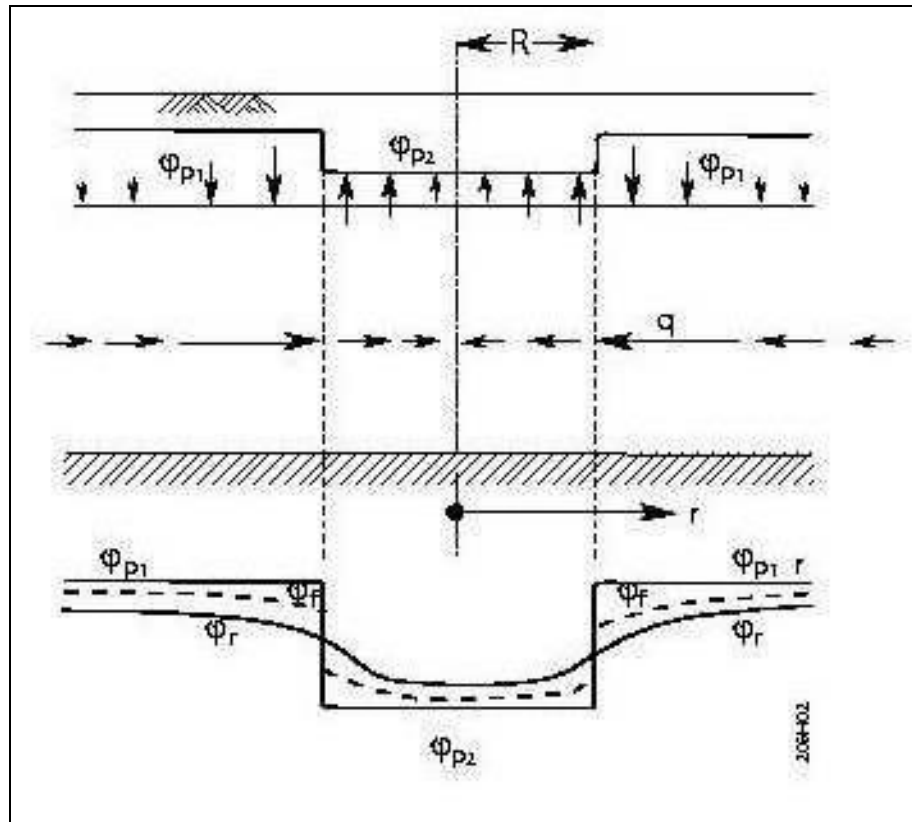
$$\text{constante} = \frac{1}{\frac{R}{\lambda^*} K_1\left(\frac{R}{\lambda^*}\right)} \quad (25)$$

Aanleg van drainage leidt mogelijk tot schade als zich binnen de invloedssfeer van de drainage natuurwaarden bevinden die gevoelig zijn voor verandering in grondwaterstand en/of kwelintensiteit. Voor effectberekeningen van ingrepen in de freatische grondwaterstand in open profielen geldt:

$$\frac{\varphi_r - \varphi_0}{\varphi_R - \varphi_0} = \frac{K_0\left(\frac{r}{\lambda^*}\right)}{K_0\left(\frac{R}{\lambda^*}\right)} \quad (26)$$

waarin:

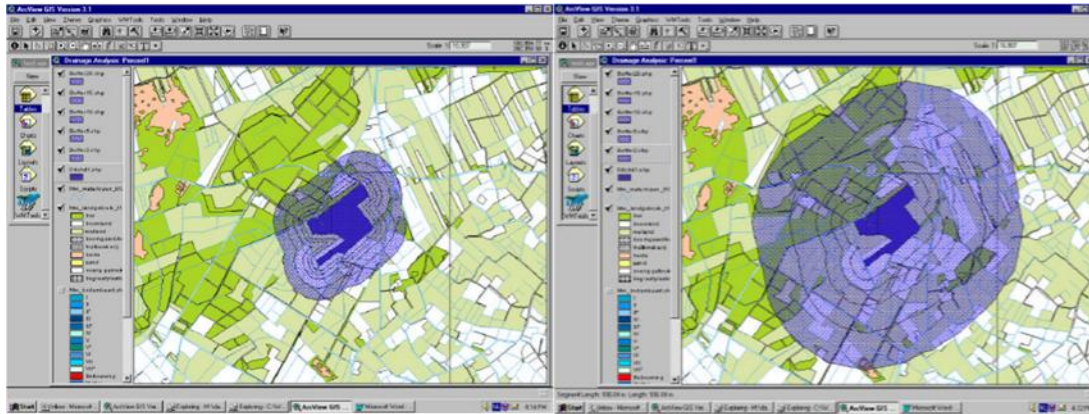
| | | |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| f_r | : stijghoogte in het eerste watervoerend pakket op een afstand r | (m) |
| f_R | : stijghoogte in het eerste watervoerend pakket op de rand van een cirkelvormig gebied | (m) |
| f_0 | : stijghoogte in het eerste watervoerend pakket in de uitgangssituatie | (m) |
| r | : afstand | (m) |
| R | : straal van het gebied | (m) |
| λ^* | : spreidingslengte ($\sqrt{kDc^*}$) | (m) |
| K_0 | : Besselfunctie van de tweede soort en van de orde 0 | |



Figuur 63 Situatieschets voor een cirkelvormig gebied (naar Edelman, 1972)

Op een afstand van vier maal de spreidingslengte (λ) is de invloed van de drainage tot minder dan 5% van de in het gedraineerde gebied optredende verandering gereduceerd. De verlaging van de grondwaterstand rond een nieuwe drainage hangt af van de grondwaterstandsverlaging Δh die door de nieuwe drainage wordt veroorzaakt. Indien een nu bekende Gt (bijvoorbeeld Gt III) wordt gedraineerd om de voor het grondgebruik specifieke ontwateringseisen te bereiken, kan de verlaging op het perceel (Δh) bepaald worden aan de hand van de beschreven drainageformules. Met dit gegeven kan het uitstralings-effect van de nieuwe drainage op de omgeving worden vastgesteld. Bij de methode (in zijn huidige vorm) wordt bij de berekening van de spreidingslengte geen rekening gehouden met de 'anisotropie' of heterogeniteit van de factoren die de spreidingslengte bepalen.

De drainageweerstand (c_d) is onder natte omstandigheden kleiner dan onder droge (Figuur 64), en daarmee neemt de spreidingslengte onder natte omstandigheden af. De spreidingslengte, en daarmee ook van de mate van grondwaterstandsverlaging (beïnvloeding) door de geplande drainage zijn dus seizoensafhankelijk (zomer/winter).



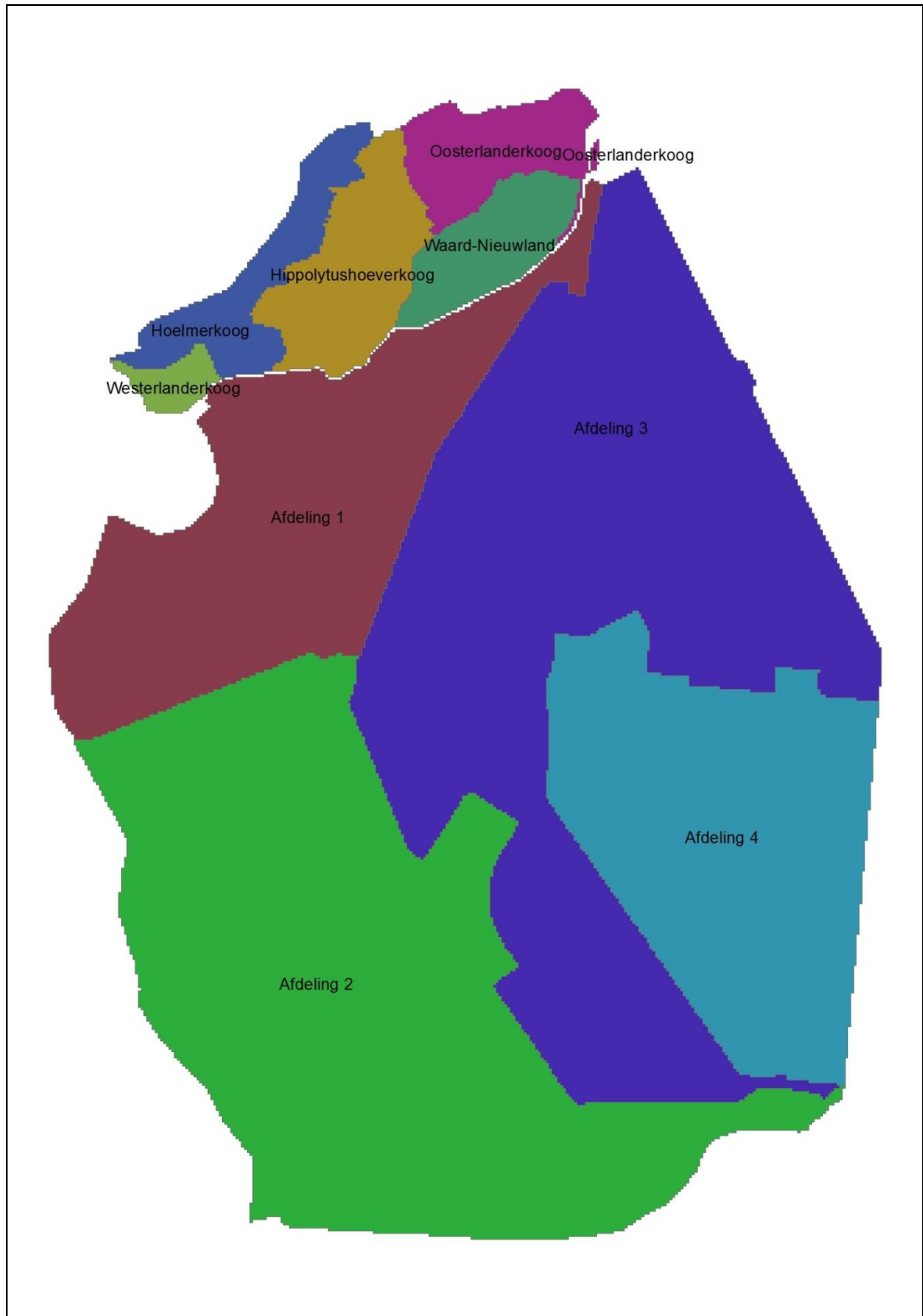
Figuur 64 Uitstralings-effect van drainage in centraal gelegen perceel. Links: berekening voor een natte periode; alle waterlopen zijn watervoerend. Rechts: berekening voor een drogere periode: alleen de grotere waterlopen zijn watervoerend. De beïnvloedingsafstand is groter in drogere perioden (Gaast en Stuyt, 2000)² Dergelijke beelden zijn ook te maken van kwelveranderingen, zowel voor de oplossinglocatie als de omgeving. Met zoutinformatie uit (bijvoorbeeld) NHI volgt daaruit, via 'Δ kwel', de verandering van de zoutvracht.

Effecten en uitstralingen van oplossingen kunnen elkaar overlappen. Zij worden dan bij elkaar opgeteld, waarbij rekening wordt gehouden met het feit dat we in de hydrologie te maken hebben met niet-lineaire systemen, en daarom van louter optellen geen sprake is. Vaak worden bij dit soort berekeningen vereenvoudigende aannames gedaan.

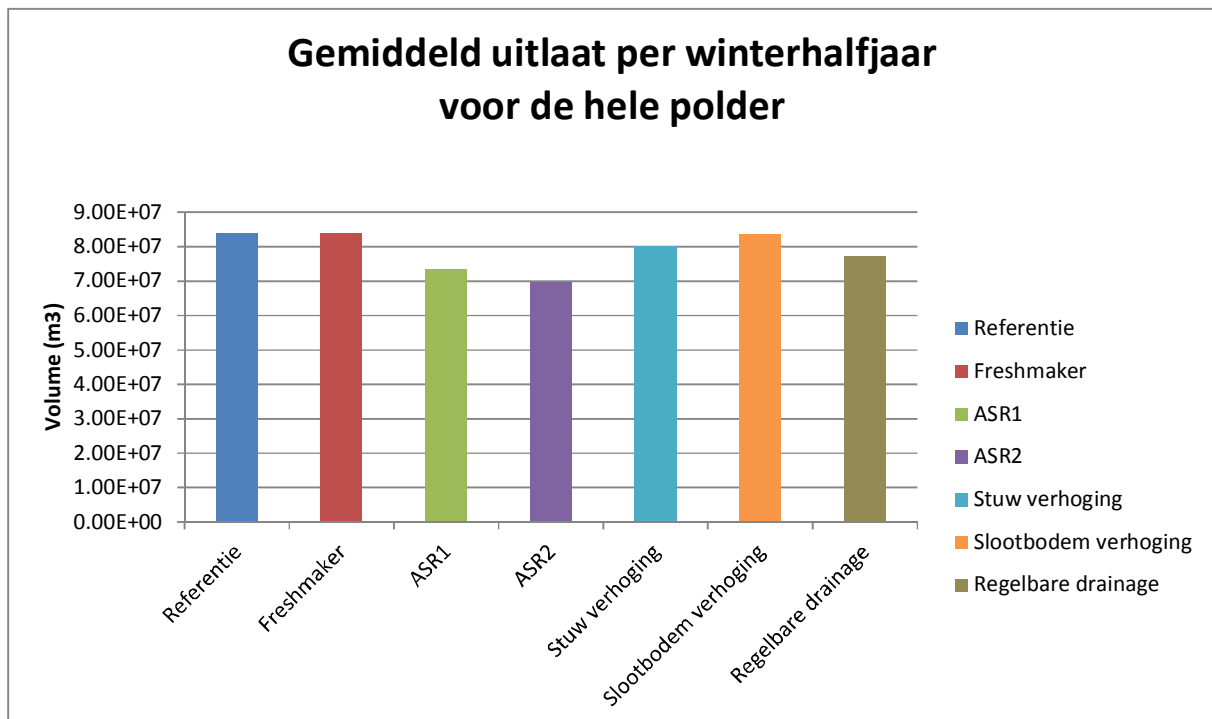
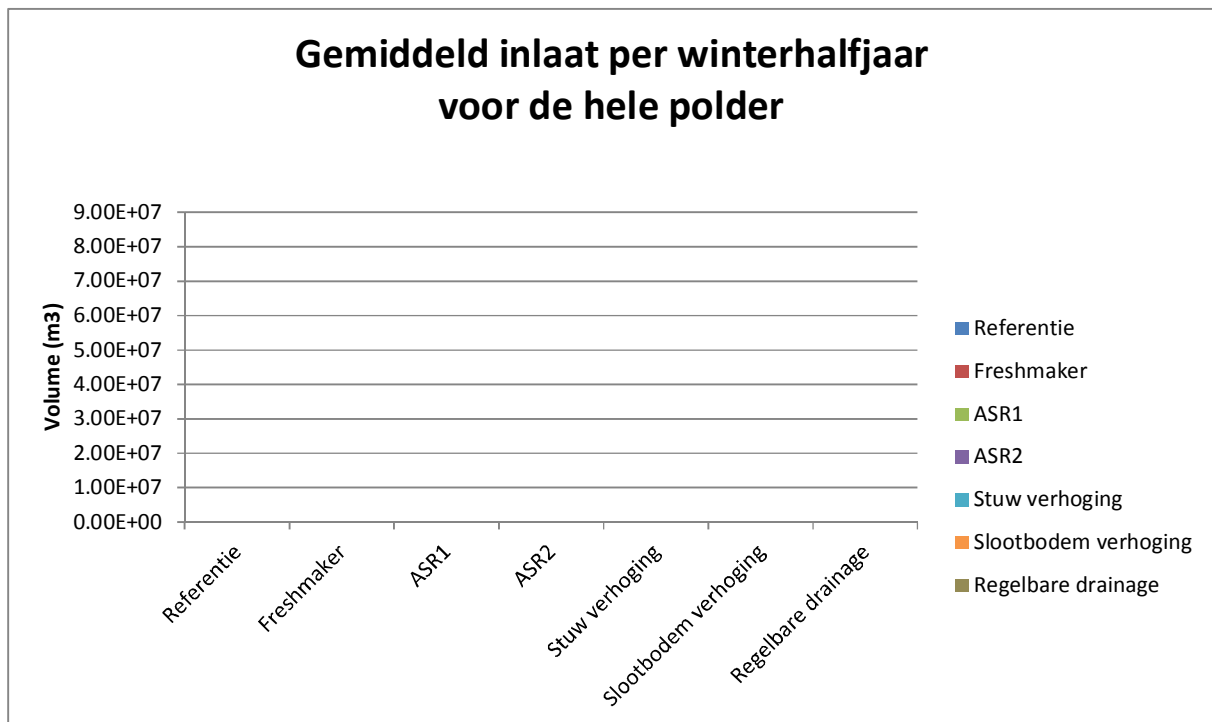
² Gaast, van der, J.W.J. en L.C.P.M. Stuyt, 2000. *Drainagevergunningen. Methodiek voor de beoordeling van aanvragen voor de aanleg van buisdrainage*. Rapport 12, Alterra, Wageningen.



Bijlage 2: Afdelingen in casegebied

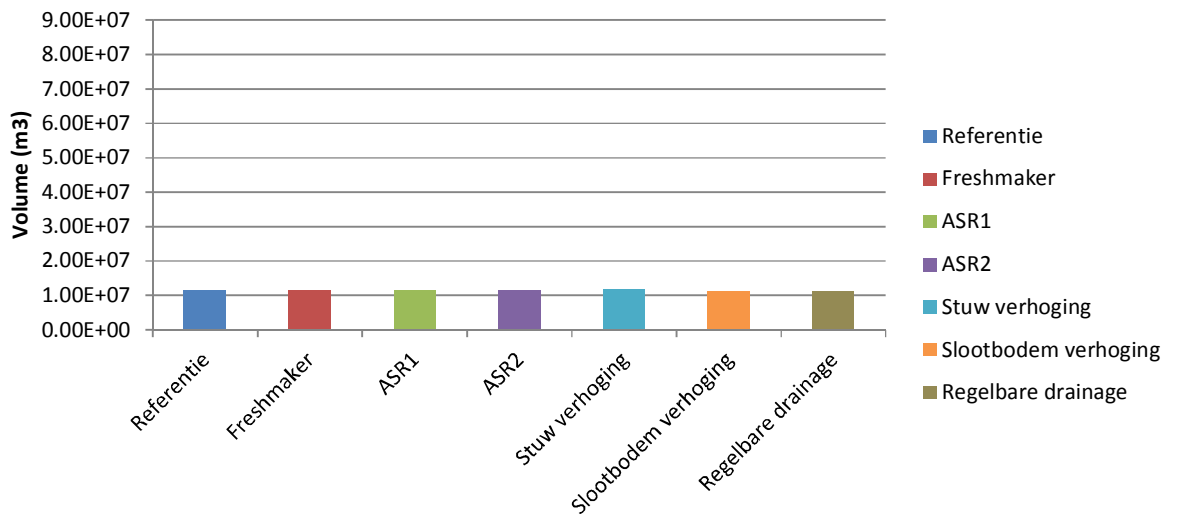


Bijlage 3: Waterbalansberekeningen per afdeling

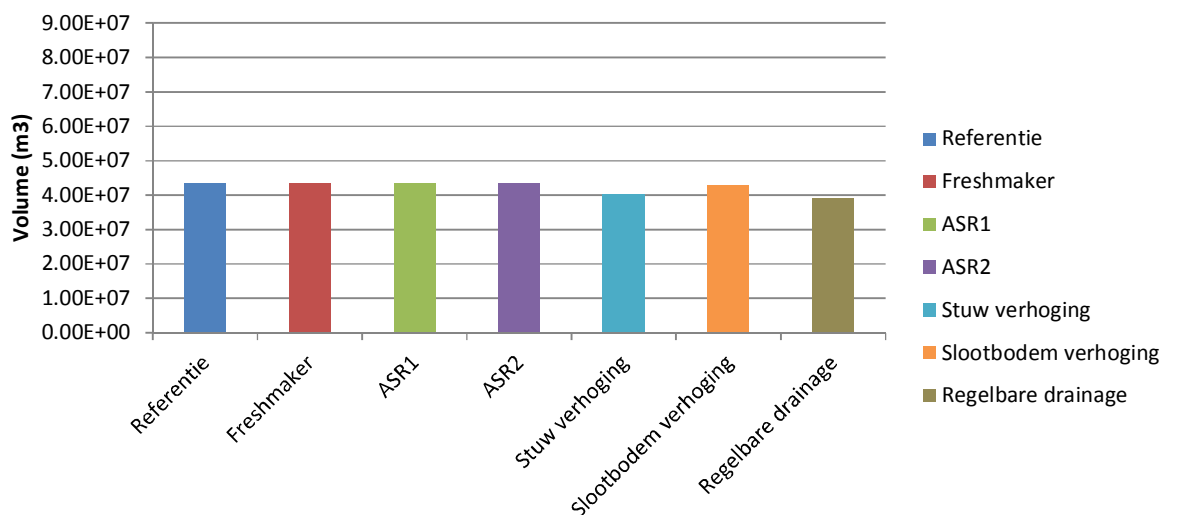




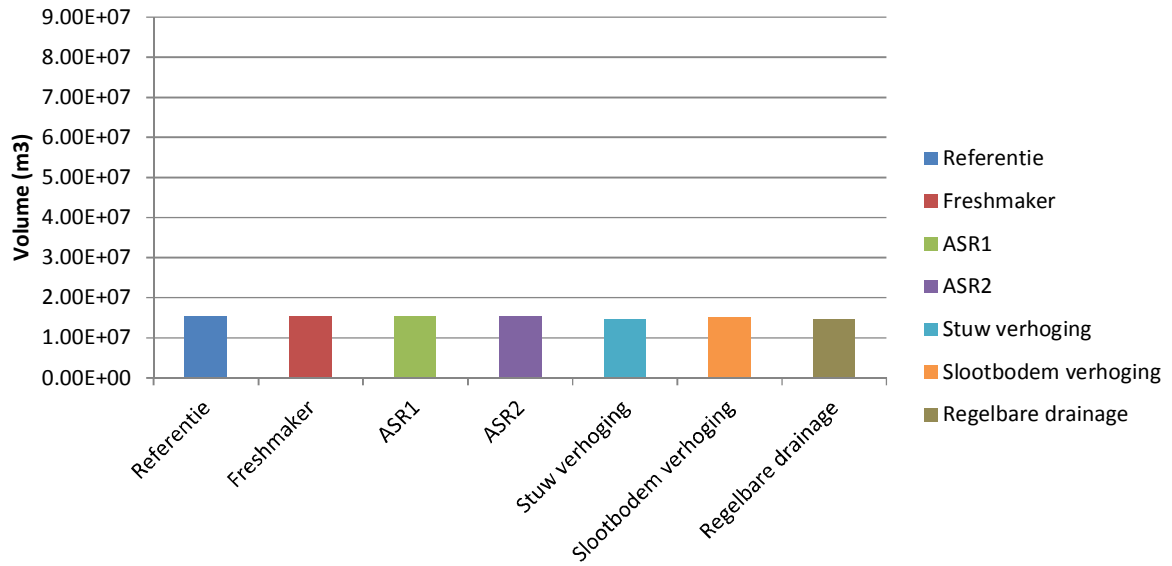
Gemiddeld inlaat per zomerhalfjaar voor de hele polder



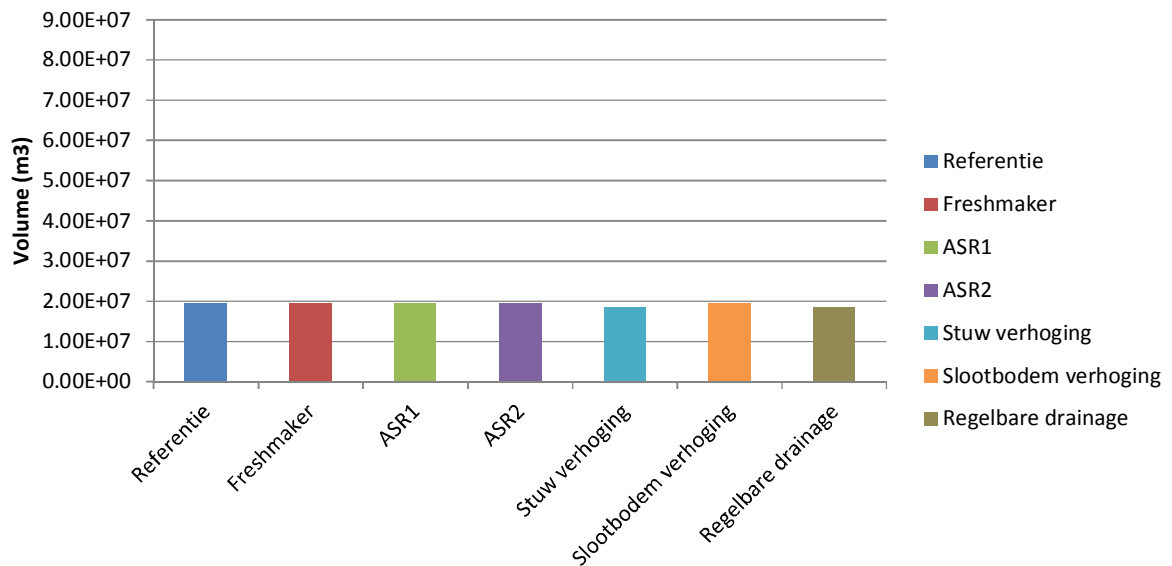
Gemiddeld uitlaat per zomerhalfjaar voor de hele polder



Gemiddeld inlaat per zomerhalfjaar afdeling1

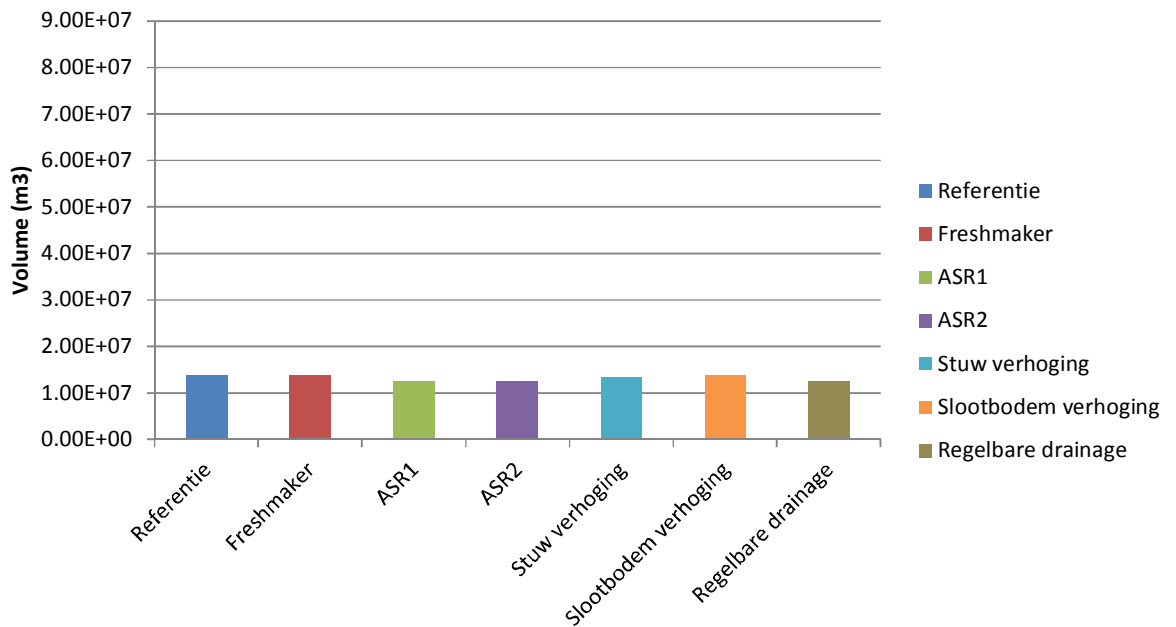


Gemiddeld uitgemalen per zomerhalfjaar afdeling1

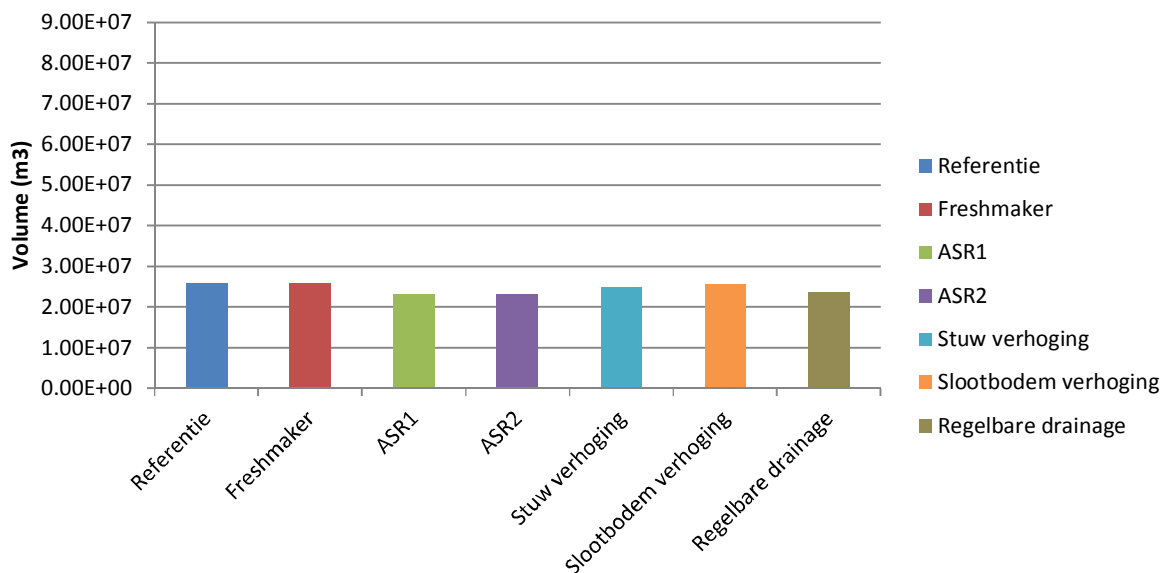




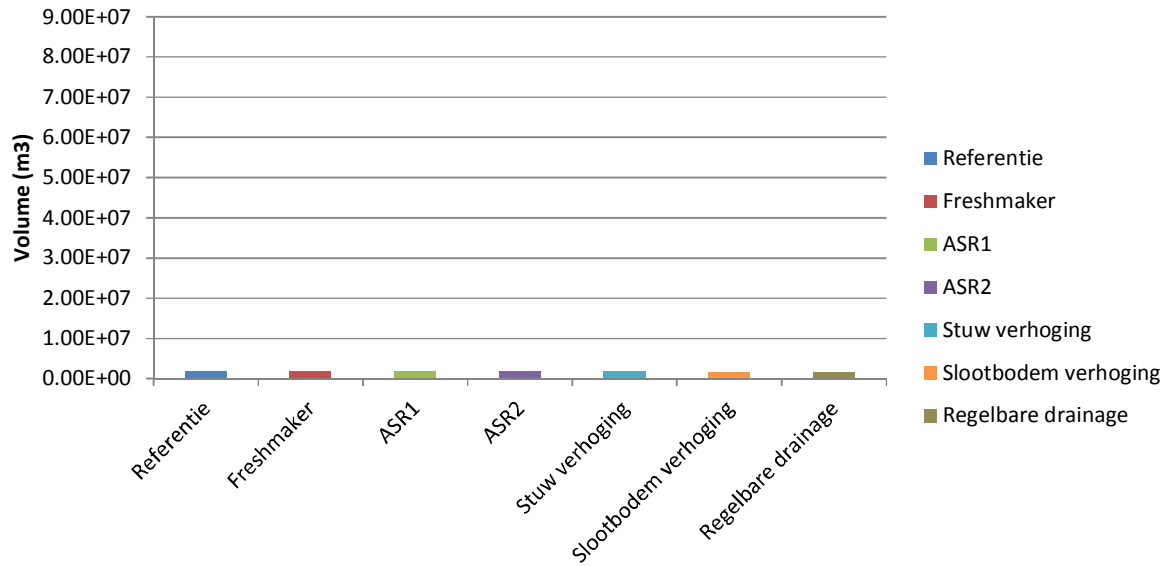
Gemiddeld inlaat per winterhalfjaar voor afdeling1



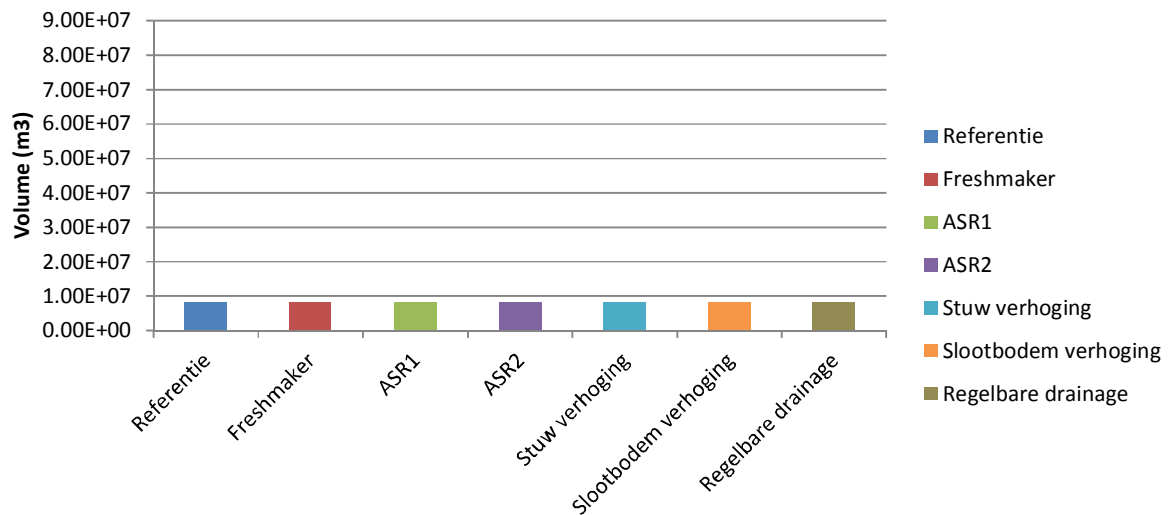
Gemiddeld uitgemalen per winterhalfjaar voor afdeling1



Gemiddeld inlaat per zomerhalfjaar voor afdeling2

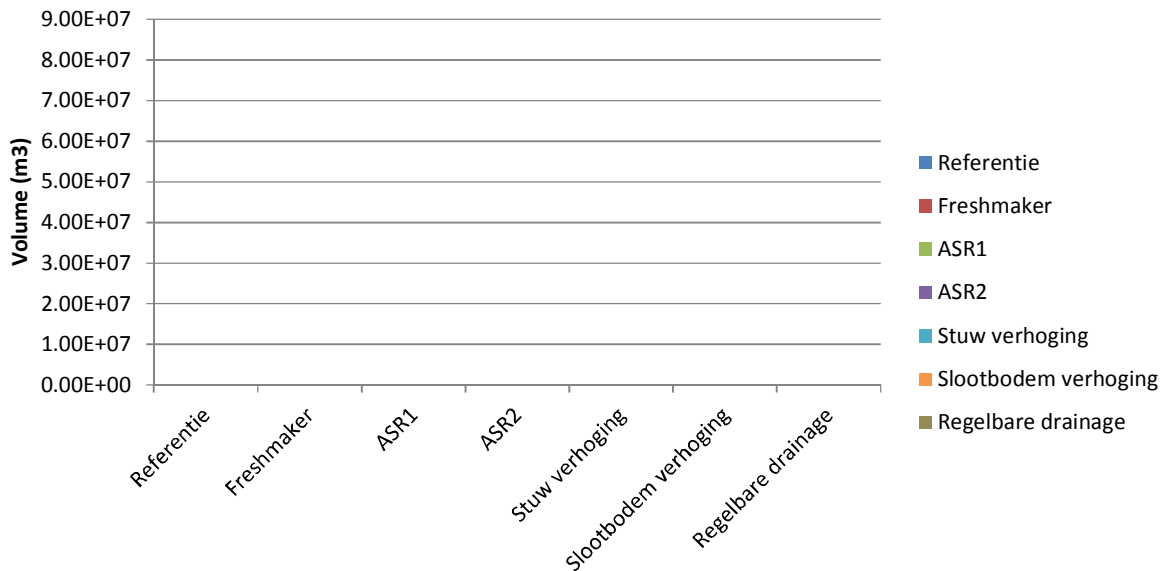


Gemiddeld uitgemalen per zomerhalfjaar voor afdeling2

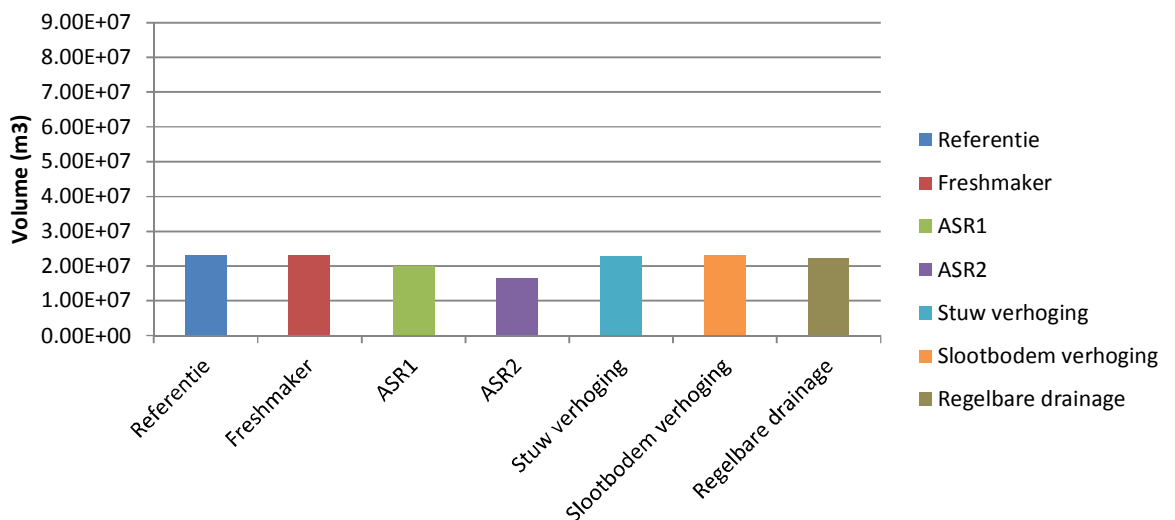




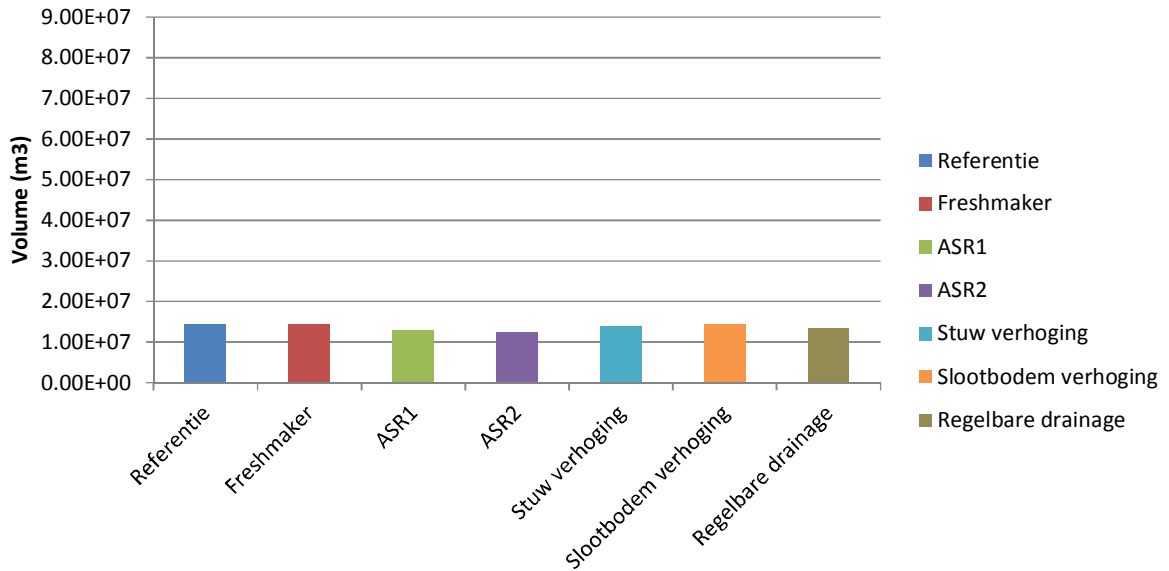
Gemiddeld inlaat per winterhalfjaar voor afdeling2



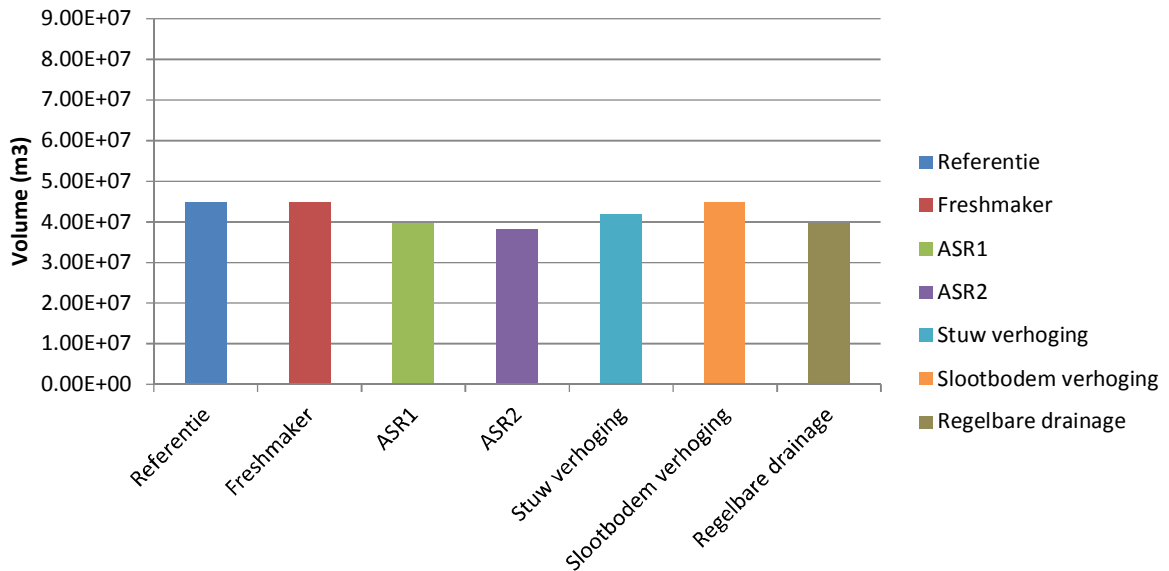
Gemiddeld uitgemaal en per winterhalfjaar voor afdeling2



Gemiddeld inlaat per winterhalfjaar voor afdeling 3

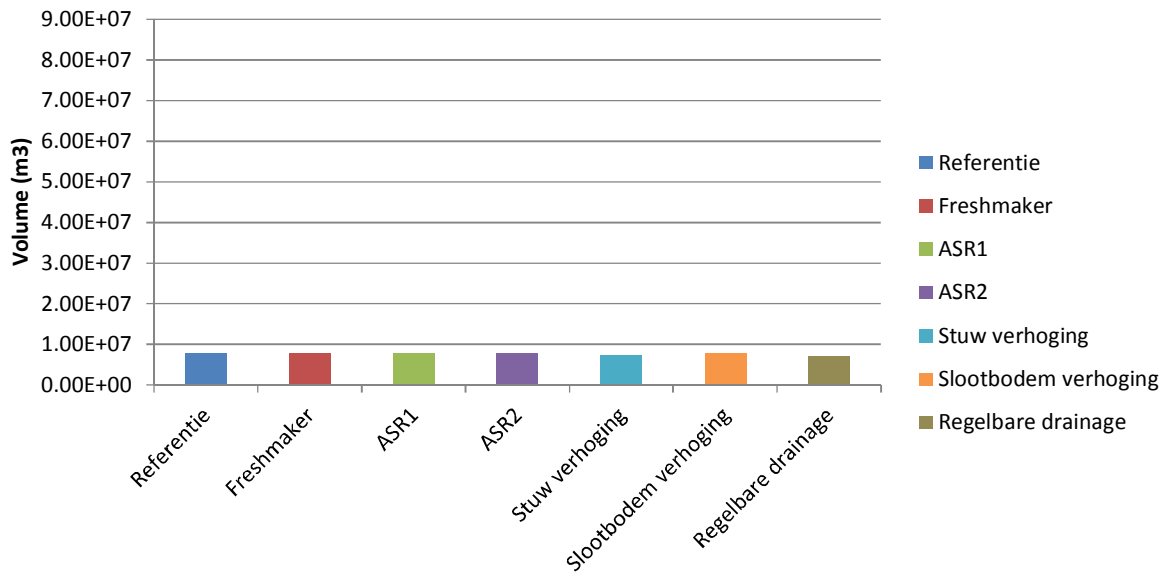


Gemiddeld uitgemalen winterhalfjaar voor afdeling 3

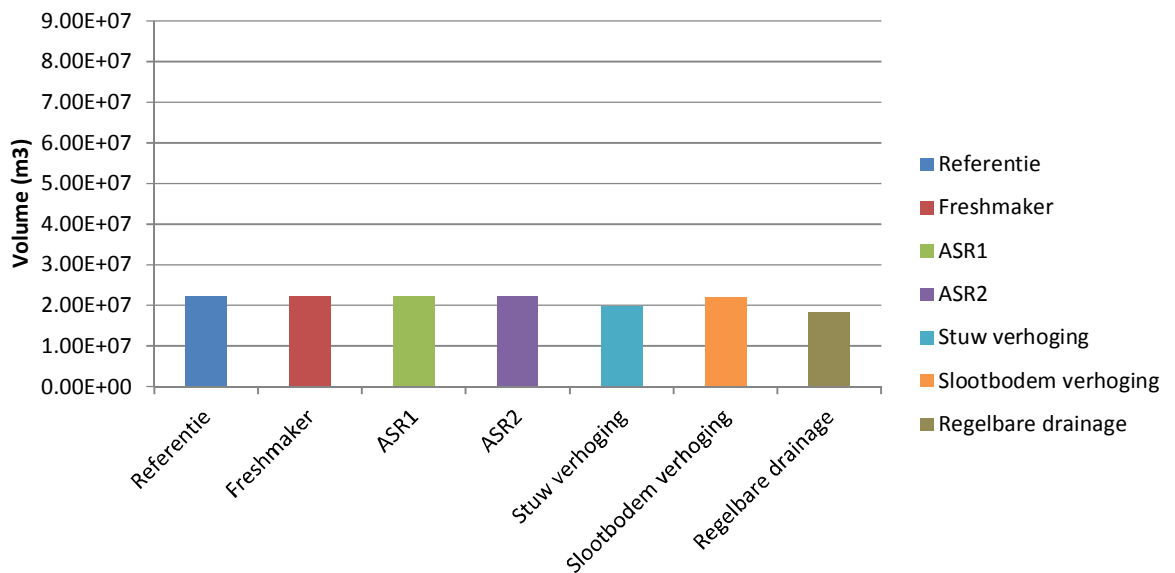




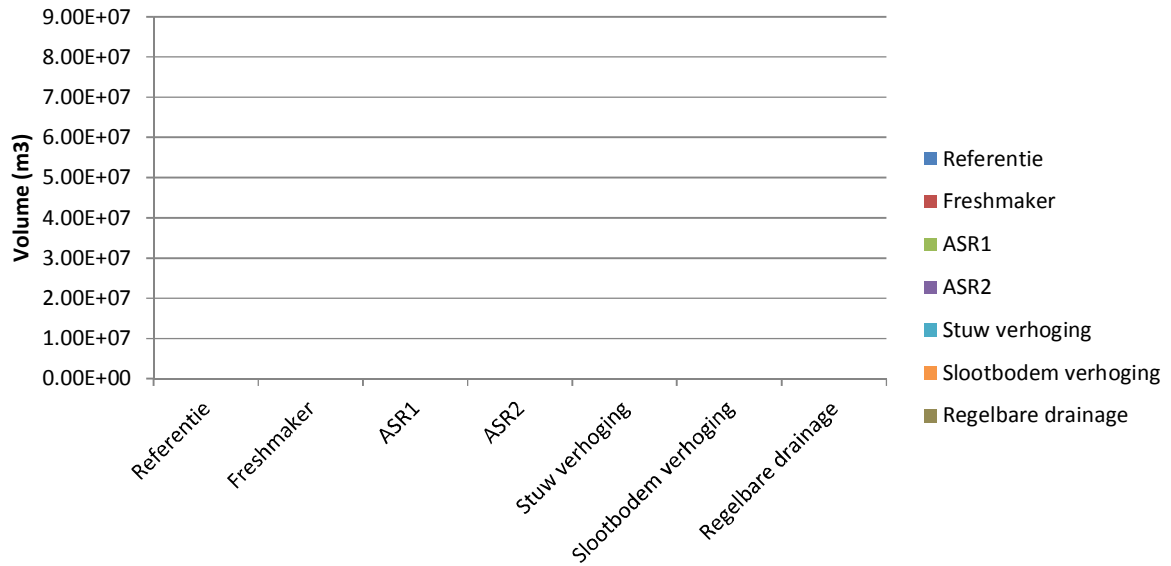
Gemiddeld inlaat per zomerhalfjaar voor afdeling 3



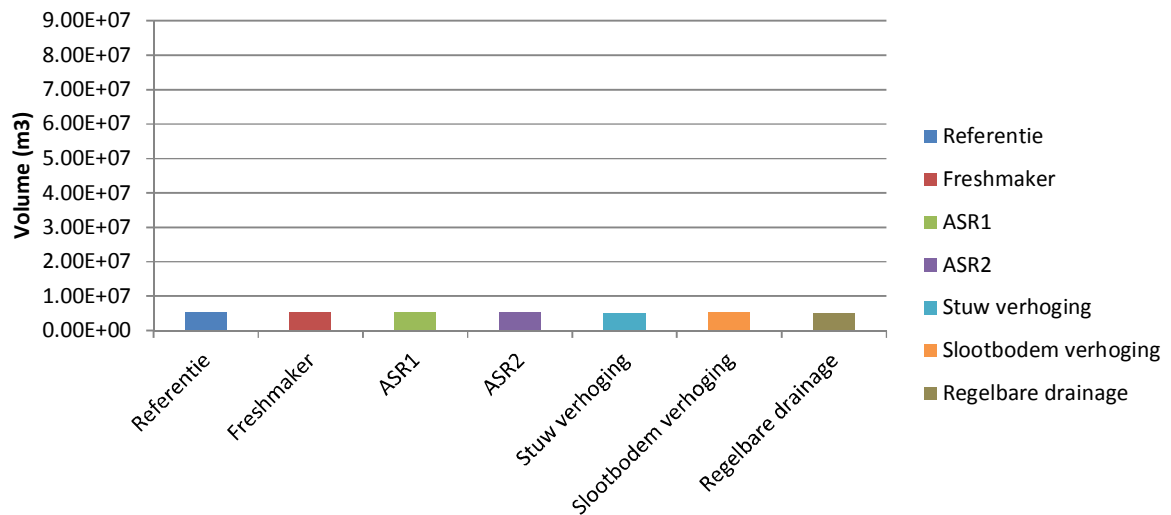
Gemiddeld uitgemalen zomerhalfjaar voor afdeling 3



Gemiddeld inlaat zomerhalfjaar voor afdeling4

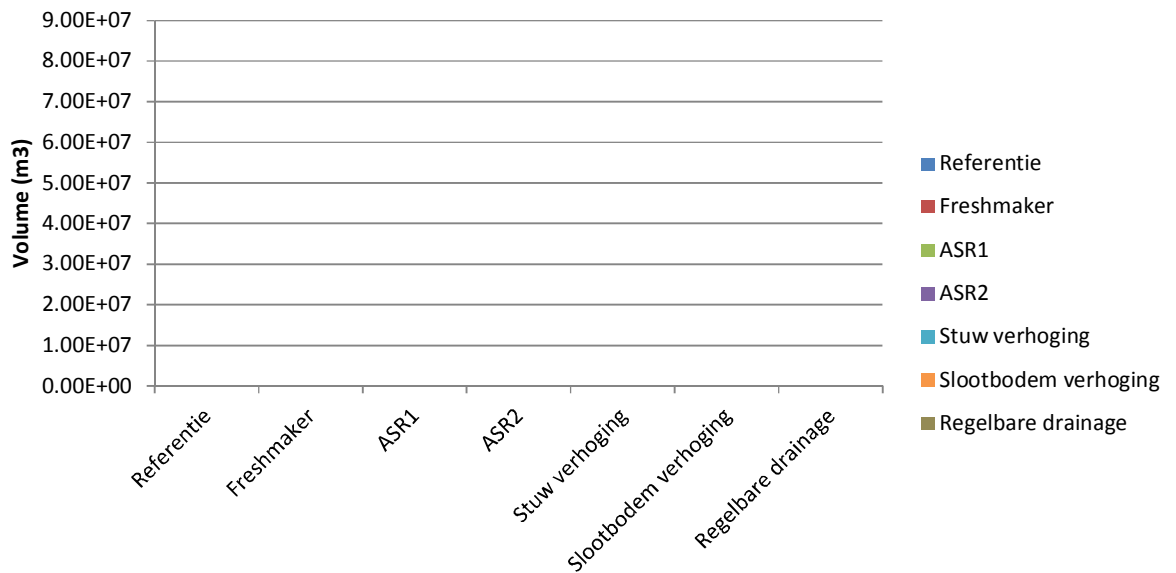


Gemiddeld uitgemalen per zomerhalfjaar voor afdeling4

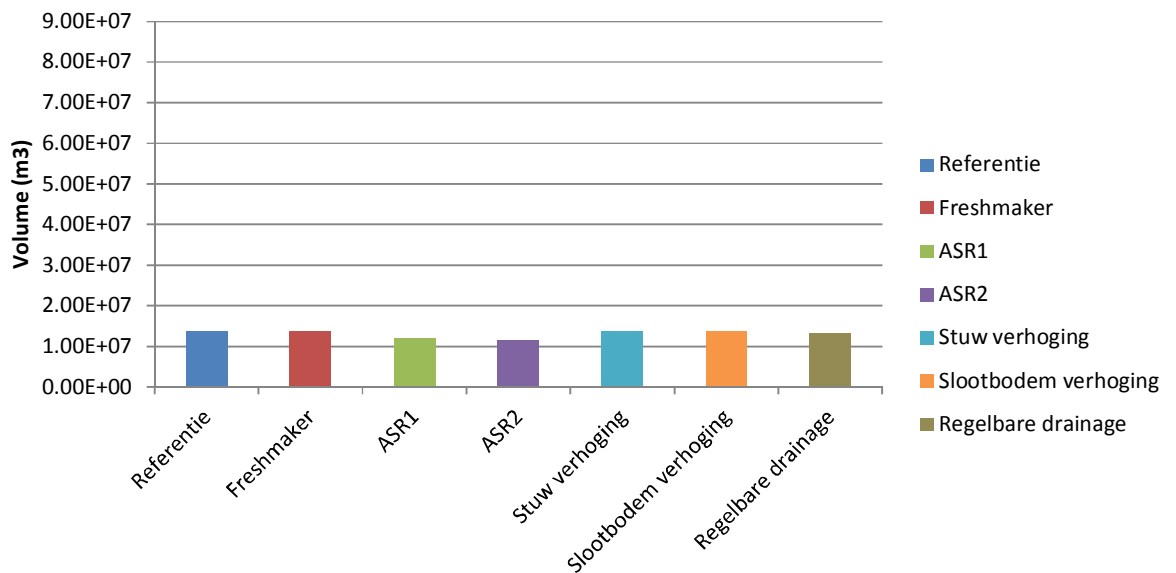


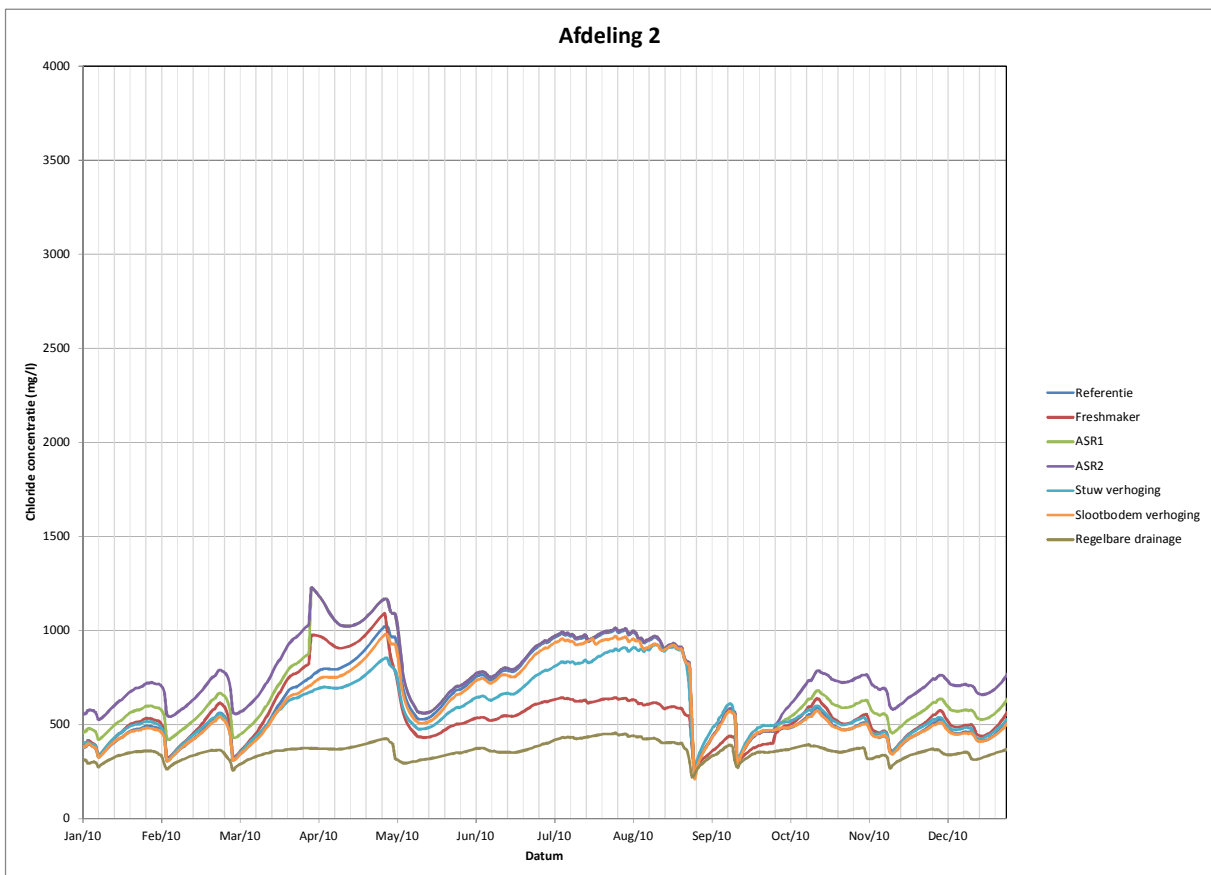
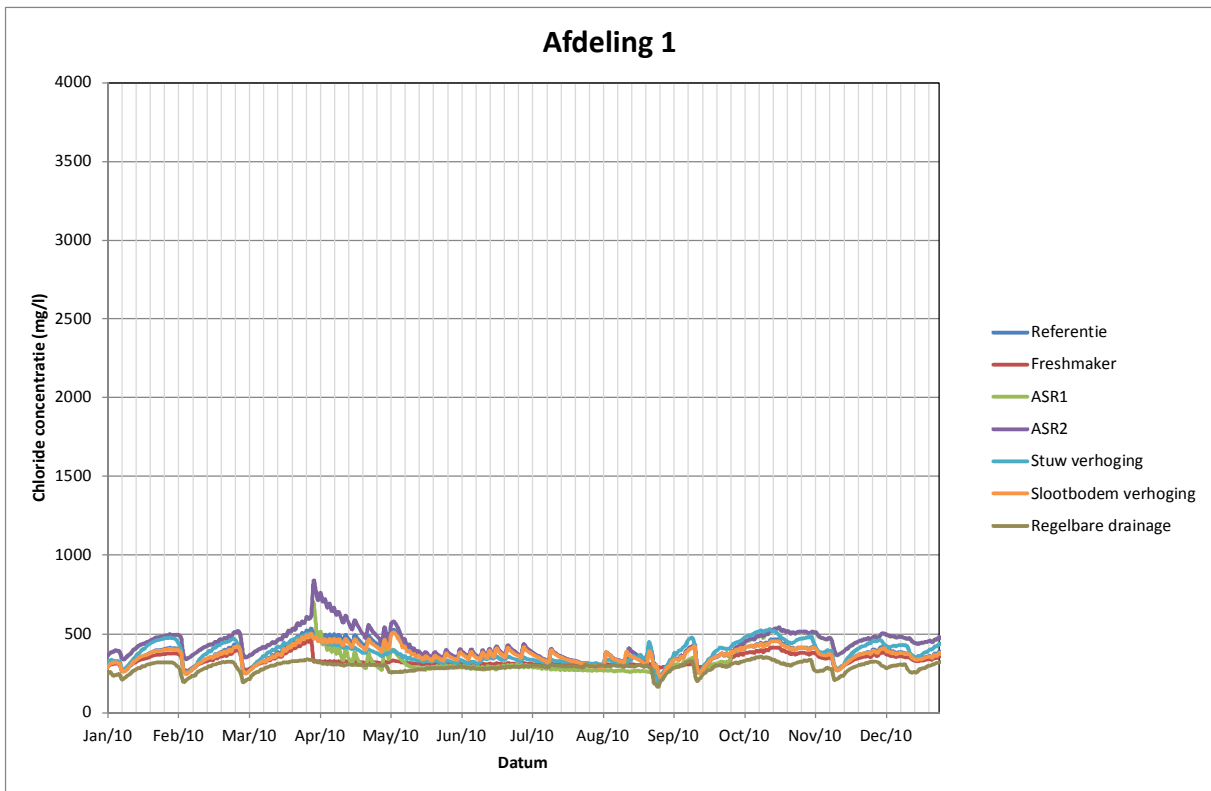


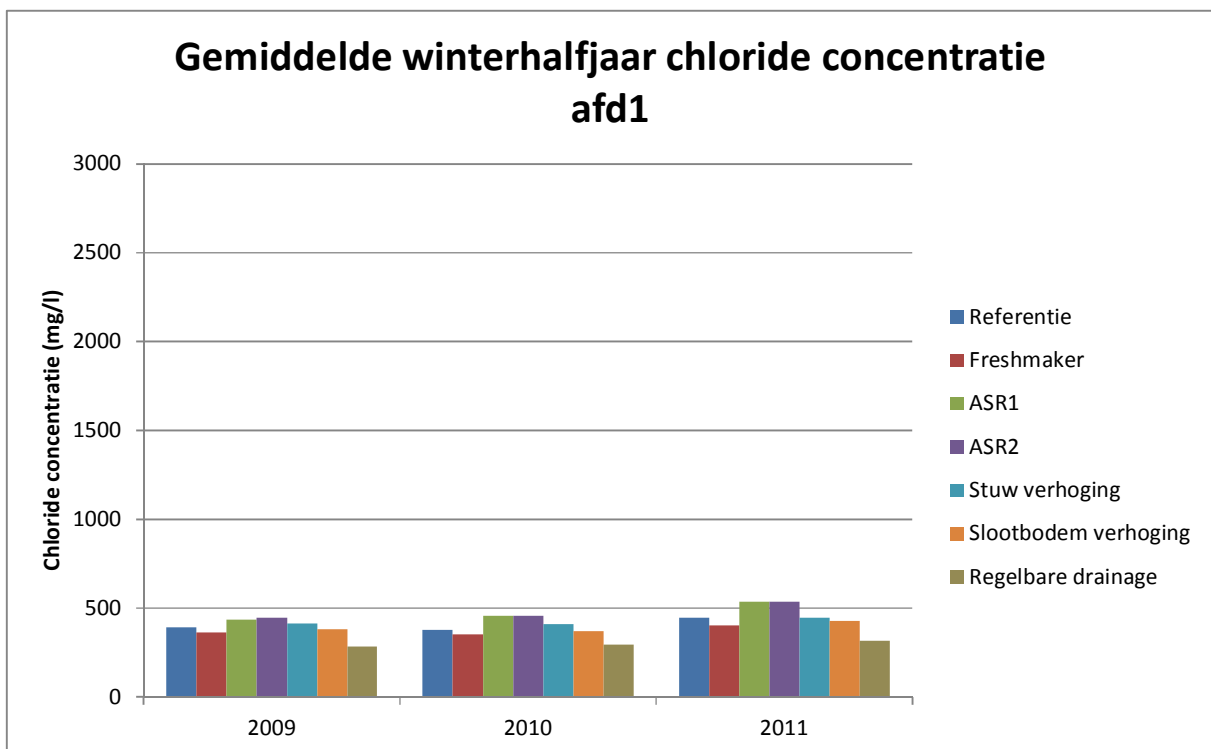
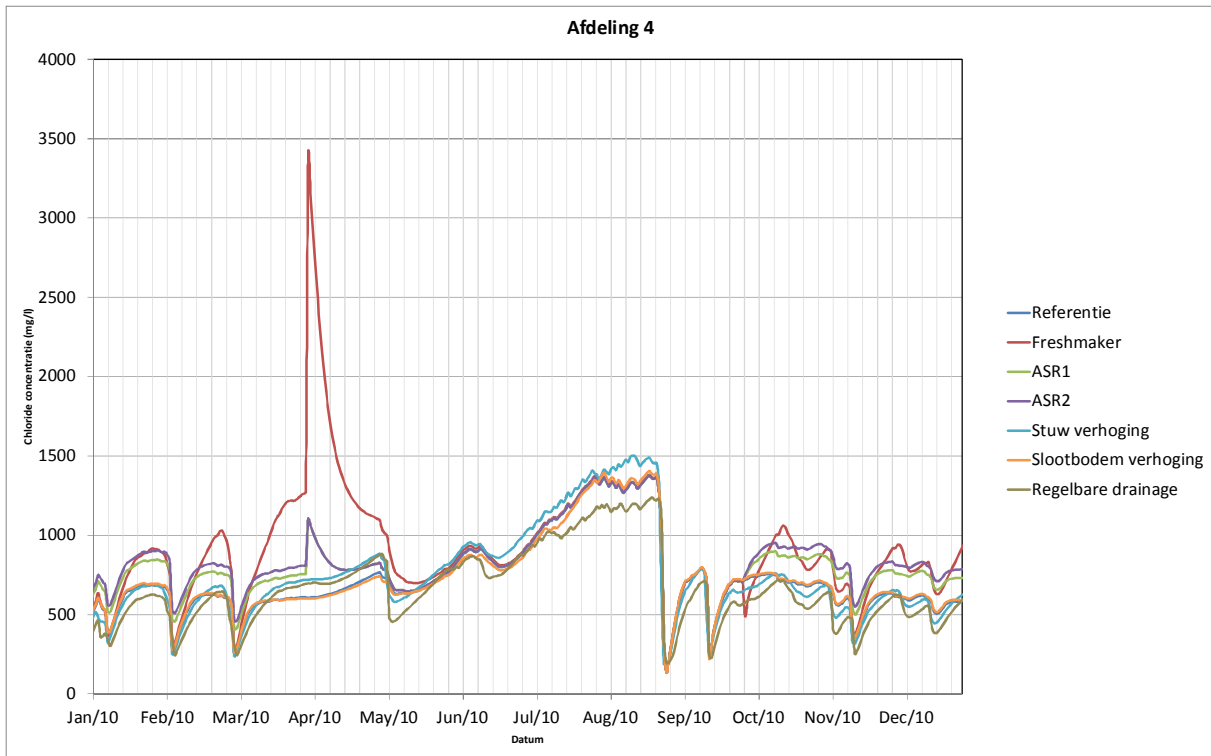
Gemiddeld inlaat per winterhalfjaar voor afdeling4



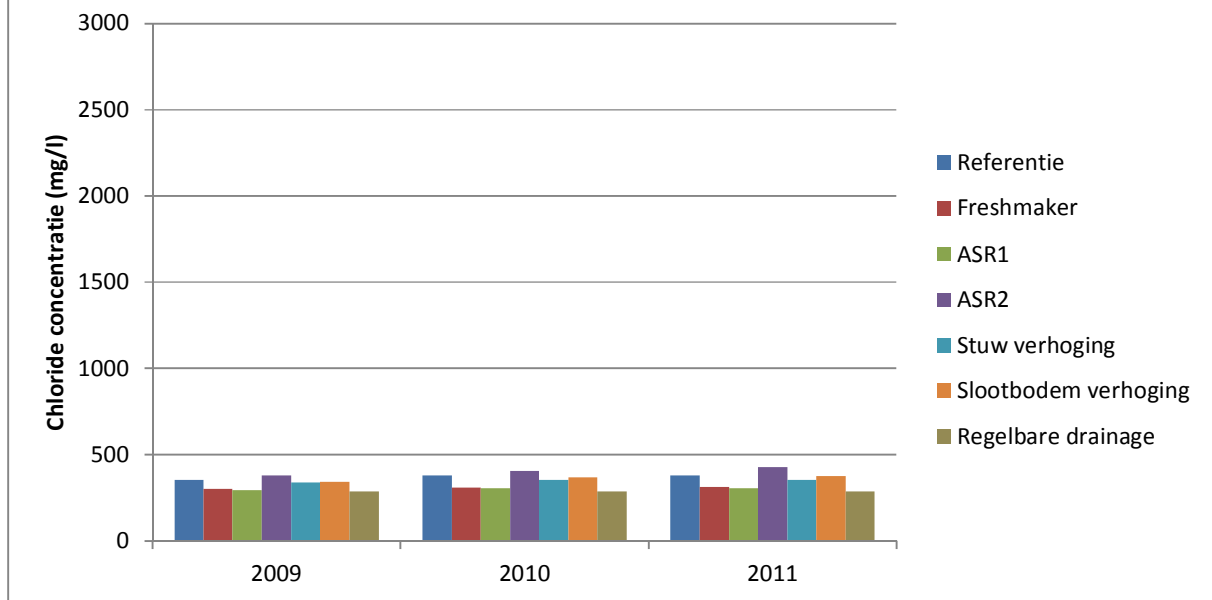
Gemiddeld uitgemaalend winterhalfjaar voor afdeling4

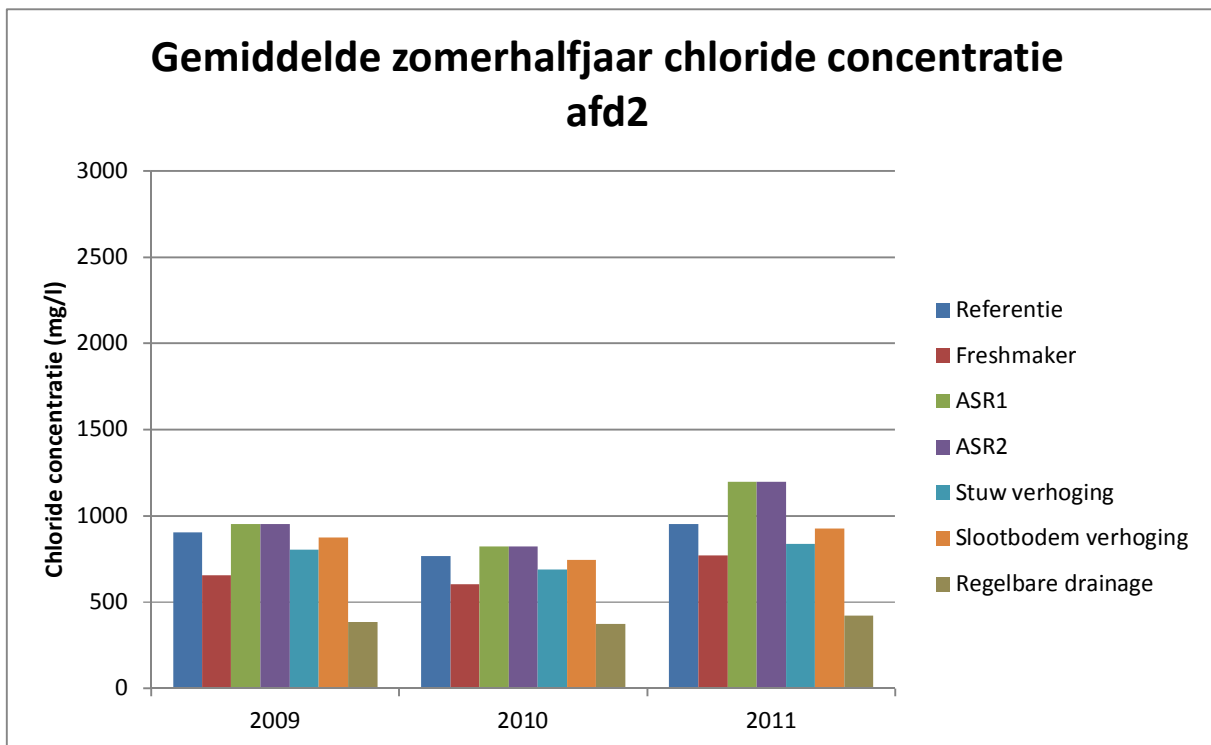
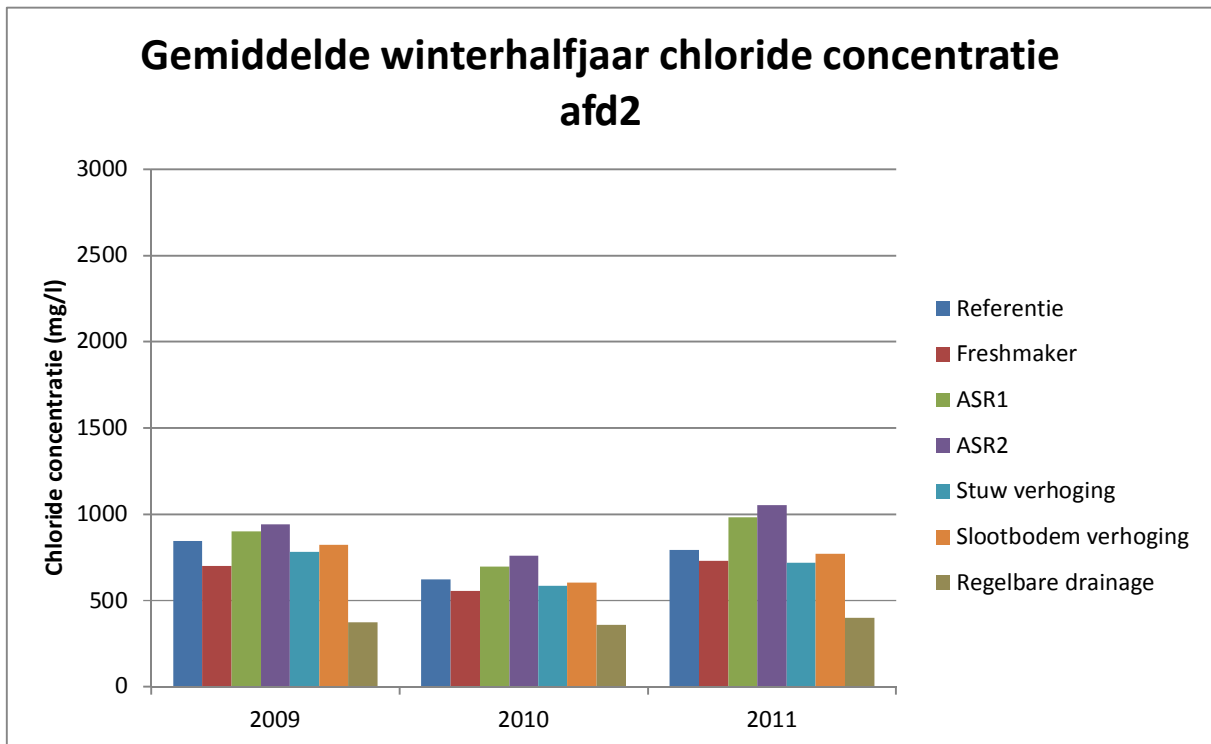




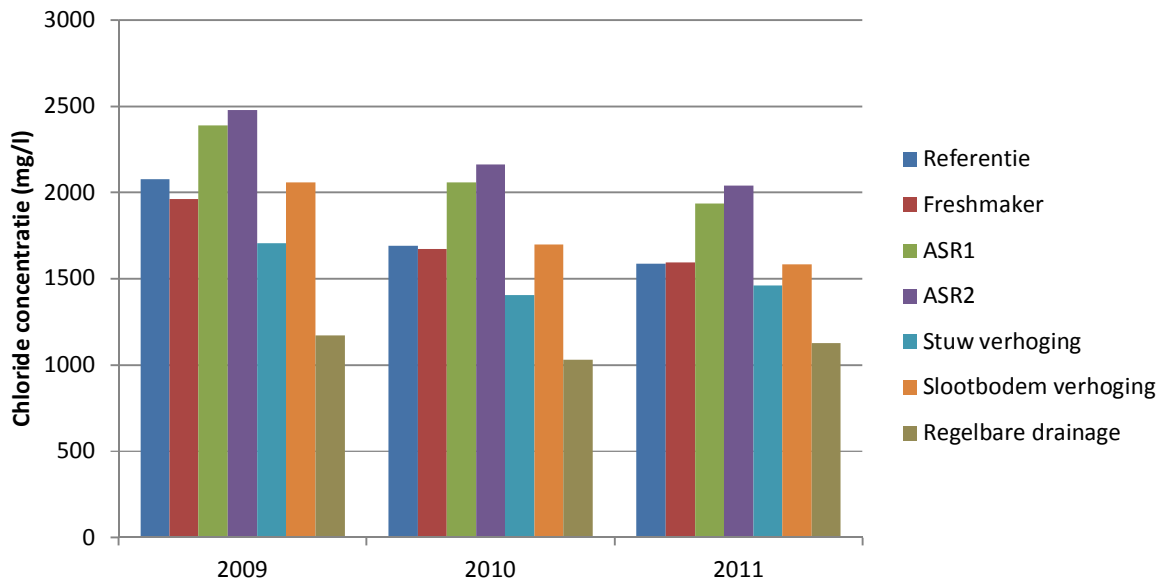


Gemiddelde zomerhalfjaar chloride concentratie afd1

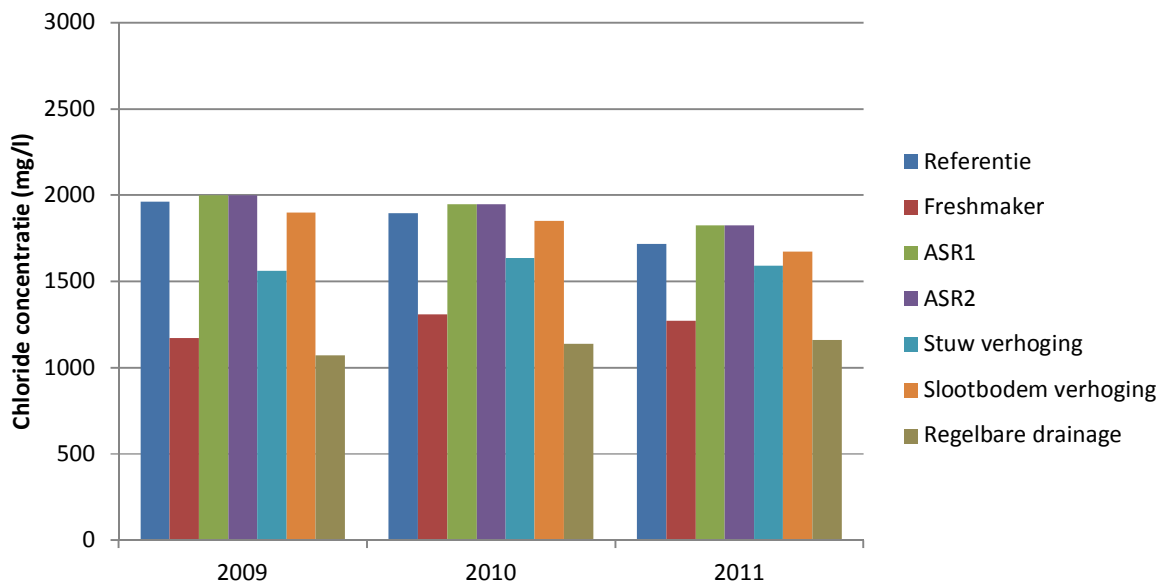




Gemiddelde winterhalfjaar chloride concentratie afd3

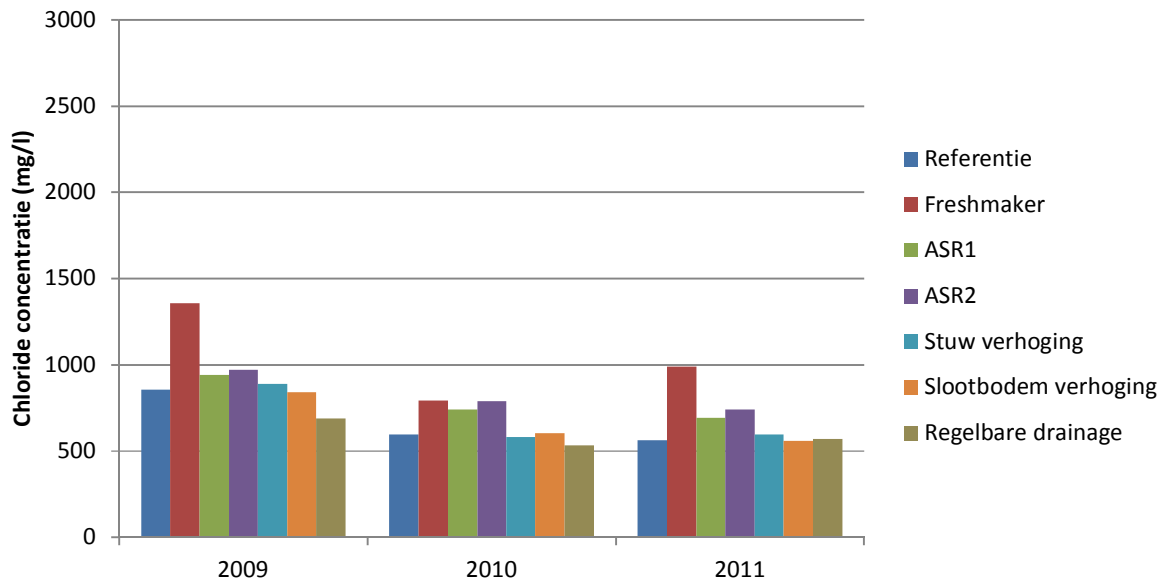


Gemiddelde zomerhalfjaar chloride concentratie afd3

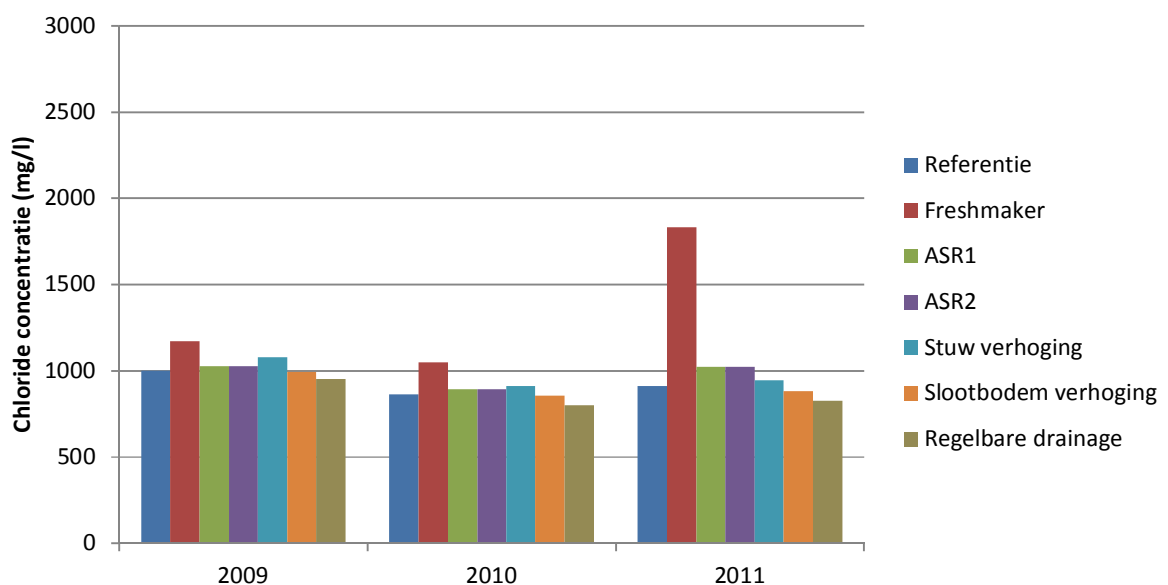




Gemiddelde winterhalfjaar chloride concentratie afd4



Gemiddelde zomerhalfjaar chloride concentratie afd4



Literatuur

- Bakel, P.J.T. van, 1986a. A systematic approach to improve the planning, design and operation of surface water management systems. A case study. Report 13. ICW, Wageningen (also published as Thesis of Agricultural University).
- Bakel, P.J.T., E.M.P.M. van Boekel en I.G.A.M. Noij, 2008. Modelonderzoek naar effecten van conventionele en samengestelde peilgestuurde drainage op de hydrologie en nutriëntenbelasting. Alterra-rapport 1647.
- Bierkens, M.F.P. en H.Th.L. Massop, 2000. Optimalisatie meetlocaties grondwaterstanden waterschap De Aa. Alterra-rapport 010
- Drecht, G. van, 1997. Modellen voor diffuse ontwatering in de toplaag. In: Stromingen, jaargang 3, nr 2, pag 5-16.
- Edelman, H.J., 1972. Groundwater hydraulics of extensive aquifers. International institute for land reclamation and improvement, ILRI, bulletin 13, Wageningen.
- Ernst, L.F., 1956. Calculation of the steady flow of groundwater in vertical cross sections. Neth. J. Agr. Sci. 4: 126-131.
- Ernst, L.F., 1962. Grondwaterstroming in de verzadigde zone en hun berekening bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen. Proefschrift, Wageningen
- Ernst, L.F., 1963. De berekening van grondwaterstroming tussen evenwijdige open leidingen. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Mededeling 52, Wageningen.
- Ernst, L.F., 1983. Wegzijing en kwel; de grondwaterstroming van hogere naar lagere gebieden. ICW, rapport 7, Wageningen.
- Gaast, J.W.J. van der en P.J.T. van Bakel, 1997. Verdroging door droge en natte rijksinfrastructuur in Overijssel en Gelderland; een verkennende studie. Rapport 500, DLO Staring Centrum, Wageningen



- Gaast, J.W.J. van der en P.J.T. van Bakel, 1997. Differentiatie van waterlopen ten behoeve van het bestrijdingsmiddelenbeleid in Nederland. Rapport 526, DLO Staring Centrum, Wageningen.
- Go-Fresh. Zie <https://publicwiki.deltares.nl/display/ZOETZOUT/GO-FRESH+-+Valorisatie+kansrijke+oplossingen+robuuste+zoetwatervoorziening>
- Jousma, G en H. Th. L. Massop, 1996. Intreeweerstanden waterlopen; Inventarisatie en analyse. TNO, TNO-rapport GG-R-96-15(A), Delft.
- Kant, G.R. en L.C.P.M. Stuyt, 1980. Mogelijkheden tot waterconservering in hellende zandgebieden in oost-Nederland. Nota 21202, ICW, Wageningen.
- Kuijper, M.J.M., Broers, H.P., Rozemeijer, J.C., 2012. Effecten van peilgestuurde drainage op natuur. Deltares-rapport 1206925-000, Utrecht.
- Kroes, J.G., Van Dam, J.C., Groenendijk, P., Hendriks, R.F.A. , Jacobs, C.M.J., 2008, SWAP version 3.2. Theory description and user manual, Wageningen, Alterra, Alterra-report 1649, 262 pag.
- Louw, P. de, P.J.T. van Bakel, J. Buma, H. Hakvoort en A.A. Veldhuizen, 2006. Vergroting Retentiewerking. Rapport 2006-U-R-122/A. TNO Bouw en Ondergrond/Alterra/WL Delft Hydraulics.
- Louw, P.G.B. de, 2013. Saline seepage in deltaic areas. Preferential groundwater discharge through boils and interactions between thin rainwater lenses and upward saline seepage. PhD-thesis VU-Amsterdam, Deltares-Utrecht, 200 pp.
- Massop, H. Th. L., Kwakernaak, C en van Bakel, J.M.M., 2012. Fysieke onderlegger voor het Deltaprogramma. Kansen voor waterconservering in regionale stroomgebieden. Alterra-rapport 2287, Wageningen.
- Massop, H. Th. L. en P.A.J.W. de Wit , 1994. Hydrologisch onderzoek naar drainageweerstanden van het tertiair ontwateringsstelsel in Oost-Gelderland. Rapport 373, DLO Staring Centrum, Wageningen.
- Massop, H.Th.L., L.C.P.M. Stuyt, P.J.T, van Bakel, J.M.M. Bouwmans en H.Prak, 1997. Invloed van de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand. Leidraad voor de kwantificering van de effecten van ver-

anderingen in de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand. Rapport 527.1, DLO Staring Centrum. Wageningen.

Massop H. Th. L., L. C. P. M Stuyt, P. J. T van Bakel, J. M. M. Bouwmans en H. Prak, 1997. Invloed van de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand. Leidraad voor kwantificering van de effecten van veranderingen in de oppervlaktewaterstand. SC-DLO rapport 420.1, Wageningen

Massop H. Th. L., L. C. P. M Stuyt en P. J. T van Bakel, 1998. Het realiseren van het gewenste grondwaterregime, een leidraad. Landinrichting 38 (1998), 3: 14-19

Mazure, J.P., 1936. Geohydrologische gesteldheid van de Wieringermeer. Algemene landsdrukkerij, pp 67-131, 's-Gravenhage.

Nikkels, M. (juli 2014). The potential of local groundwater measures. A feasibility study of local groundwater measures. Their applicability, costs and impact on regional water demand. Vrije Universiteit Amsterdam.

Rothe, J., 1924. Die Strangentfernung bei Dränungen. Landw. Jb. 59, pag. 453-490.

Schaaf, S. van der, 1995. Snelle oudjes: Toepassing van Mazure's oplossingen voor eerste effectschattingen van waterhuishoudkundige veranderingen. In: H2O, nr. 25, 750-753.

Stuyt, L.C.P.M. (2013). Regelbare drainage als schakel in toekomstbestendig waterbeheer. Alterra-rapport 2370, Wageningen.

Van Bakel, J.M.M., Van den Eertwegh, G.A.P.H., Massop, H. Th. L., Brandsma, J., 2013. Klimaatadaptieve drainage. Landelijke geschiktheid van conventionele, samengestelde peilgestuurde en klimaatadaptieve drainage. FutureWater rapport 118.

Velstra J., Van Staveren G., Oosterwijk J., Van der Werf R., Tolk L. & Groen J., 2013. Verziltingsstudie Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Eindrapport februari 2013. Adviesbureau Acacia Water. Opdrachtgever Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.

Verruijt, A., Theory of groundwater flow. Macmillan and Co LTD, London.



Vries, J.J. de, 1974. Groundwater flow systems and stream nets in The Netherlands. Proefschrift, Amsterdam.

Ward, J.D., Simmons, C.T., Dillon, P.J., Pavelic, P., 2009. Integrated assessment of lateral flow, density effects and dispersion in aquifer storage and recovery. *Journal of Hydrology*, 370(1-4): 83-99.

Wit, K.E, H.Th.L.Massop en J.G. te Beest, 1991. Relatie tussen oppervlaktewater en grondwater in de provincie Drenthe. Rapport 134, DLO Staring Centrum. Wageningen.

Zuurbier, K., Bakker, M., Zaadnoordijk, W., Stuyfzand, P., 2013. Identification of potential sites for aquifer storage and recovery (ASR) in coastal areas using ASR performance estimation methods. *Hydrogeology Journal*, 21(6): 1373-1383.

Zuurbier, K.G., Zaadnoordijk, W.J., Stuyfzand, P.J., In Press. How multiple partially penetrating wells improve the freshwater recovery of coastal ASR systems: a field and modeling study. *Journal of Hydrology*.

Ontwikkelen van wetenschappelijke en toegepaste kennis voor een
klimaatbestendige inrichting van Nederland en het creëren van een
duurzame kennisinfrastructuur voor het omgaan met klimaatverandering

Contactinformatie

Programmabureau Kennis voor Klimaat

Secretariaat:

p/a Universiteit Utrecht

Postbus 80115

3508 TC Utrecht

T +31 88 335 7881

E office@kennisvoorklimaat.nl

Communicatie:

p/a Alterra, Wageningen UR

Postbus 47

6700 AA Wageningen

T +31 317 48 6540

E info@kennisvoorklimaat.nl

www.kennisvoorklimaat.nl