



# Methode voor het bepalen van de potentie voor het toepassen van lokale zoetwateroplossingen

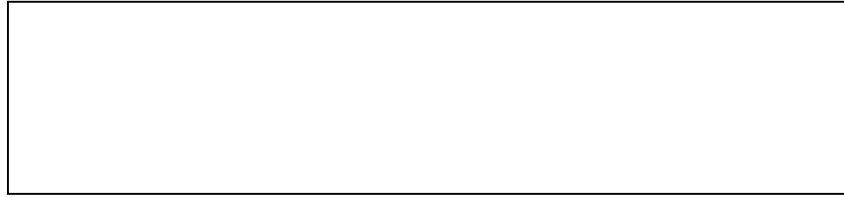
Fresh Water Options Optimizer – Fase 1

# 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 – Fase 1

## Auteurs

Jan van Bakel (De Bakelse Stroom)  
Perry de Louw (Deltares)  
Lodewijk Stuyt (WUR)  
Lieselotte Tolk (Acacia Water)  
Jouke Velstra (Acacia Water)  
Marco Hoogvliet (Deltares)



Stowa rapportnummer 2014-16

KvK rapportnummer KvK118/2014

ISBN 9789490070847

Dit onderzoeksproject wordt uitgevoerd in het kader van het Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat ([www.kennisvoorklimaat.nl](http://www.kennisvoorklimaat.nl)). Dit onderzoeksprogramma wordt medefinancierd 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 .....	13
1.1 Achtergrond.....	13
1.2 Opschalingmogelijkheden kleinschalige maatregelen.....	13
1.3 Afwegingskader voor verscheidene toepassingen .....	14
1.4 Status van het project.....	15
2 Fysische geschiktheid maatregelen .....	16
2.1 Aanpak kaartvervaardiging .....	16
2.2 Drains2buffer .....	17
2.3 Regelbare drainage en klimaatadaptieve drainage .....	21
2.4 Kreekruginfiltratie.....	23
2.5 Freshmaker .....	30
2.6 Verticale ASR.....	36
2.7 Waterconservering door stuwen.....	42
2.8 Waterconservering door slootbodemverhoging .....	48
3 Lokale effecten, vereisten en uitstralingseffecten .....	52
3.1 Doelvariabelen.....	53
3.1.1 Doelvariabelen per maatregel .....	54
3.1.2 Toelichting per maatregel.....	55
3.2 Beoogde effecten in zoetwaterbeschikbaarheid.....	57
3.2.1 Schatting van wateropbrengst.....	59
3.3 Uitstralingseffecten en neveneffecten .....	62
3.4 Uitstralingseffecten op grondwaterstand en zoutgehalte oppervlaktewater .....	63
3.4.1 Uitstralingseffecten op grondwater (voorbeeld drainage).....	66
3.4.2 Kwantificeren uitstralingseffecten in oppervlaktewater .....	73
3.5 Interferentie tussen maatregelen.....	75
4 Methodiek bepaling geschikte maatregelen & mogelijke combinaties	77
4.1 Mogelijkheden en effecten per maatregel bepalen .....	77
4.2 Bepalen van interactie met omgeving.....	78
Literatuur.....	80





## Samenvatting

Verkennen van grootschalige potentie van kleinschalige maatregelen

Binnen Kennis voor Klimaat worden kleinschalige maatregelen ontwikkeld om de zoetwatervoorziening te verbeteren. In deze studie zijn middelen ontwikkeld waarmee de potentie van dergelijke maatregelen op het schaalniveau van een groter gebied kan worden verkend.

Kaarten en een methodiek

Opschalingmogelijkheden zijn op de eerste plaats afhankelijk van de fysische eigenschappen van het water en bodemsysteem. Voor een selectie van maatregelen zijn deze fysische eigenschappen nauwkeurig bepaald. Het gaat om de oplossingen (1) drains2buffer, (2) regelbare en klimaatadaptieve drainage, (3) kreekruuginfiltratie, (4) freshmaker, (5) verticale ASR, (6) waterconservering door stuwen en (7) waterconservering door slootbodempverhoging. Voor deze maatregelen zijn landsdekkende kaarten gemaakt die aangeven waar de fysische omstandigheden meer of minder gunstig zijn. De kaarten 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 een methodiek ontwikkeld waarmee in beeld kan worden gebracht op welke wijze de maatregelen niet alleen het watersysteem op de toepassingslocatie, maar ook in de omgeving beïnvloeden. De combinatie van kaarten en methodiek vormt een belangrijke basis voor de afwegingen die worden gemaakt bij de implementatie van de kleinschalige maatregelen.

Globale opzet gereed, vanaf nu verfijnen

Dit rapport beschrijft Fase 1 van de studie, waarin de methodiek globaal is opgezet. In Fase 2 worden de kaarten en methodiek getoetst in een casegebied, wat leidt tot verfijningen. Eindresultaten zijn er in juli 2014.

Aanpak kaartvervaardiging

De methodiek om te komen tot de fysische geschiktheid is gebaseerd op de beschikbaarheid en (on)nauwkeurigheid van landelijke gegevens. Per maatregel is bepaald welke factoren van belang zijn en zijn deze gewogen om te komen tot een geschiktheidsklasse. De methodiek is zo eenvoudig en transparant mogelijk gehouden zodat duidelijk valt te herleiden hoe de kaart tot stand is gekomen en deze reproduceerbaar is, bijvoorbeeld wanneer gedetailleerdere basisinformatie beschikbaar komt. Daartoe worden in het rapport naast de geschiktheidskaarten, ook kaarten gepresenteerd van de afzonderlijke wegingsfactoren.

## Voorbeeld kaartvervaardiging: kreekruuginfiltratie

De volgende 5 factoren zijn gebruikt voor het bepalen van de geschiktheid voor kreekruuginfiltratie:

### 1. Aanwezigheid zandige, hoger gelegen kreekrug of oude geul

De ligging van oude (zandige) kreek 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 is deze informatie niet beschikbaar. Bron: GeoTop

### 2. Ligging in zout gebied

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

### 3. Aanwezigheid infiltratie

Informatiebron: gemiddelde kwel-infiltratie flux van NHI (raster 250x250m)

### 4. Bodemgeschikt voor infiltratie via drainagebuizen

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

### 5. Voldoende diepe grondwaterstand

Informatiebron: GHG uit NHI (raster 250x250 m)

### 6. Aanwezigheid van klei- en veenlagen die de lensgroei belemmeren

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.

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

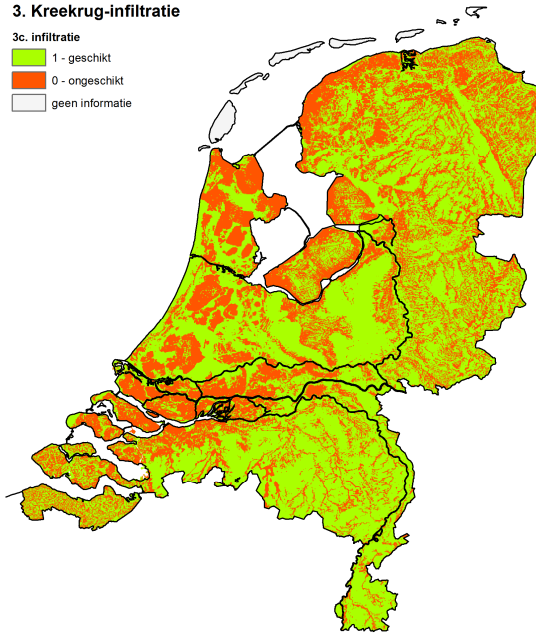




### 3. Kreekrug-infiltratie

3c. infiltratie

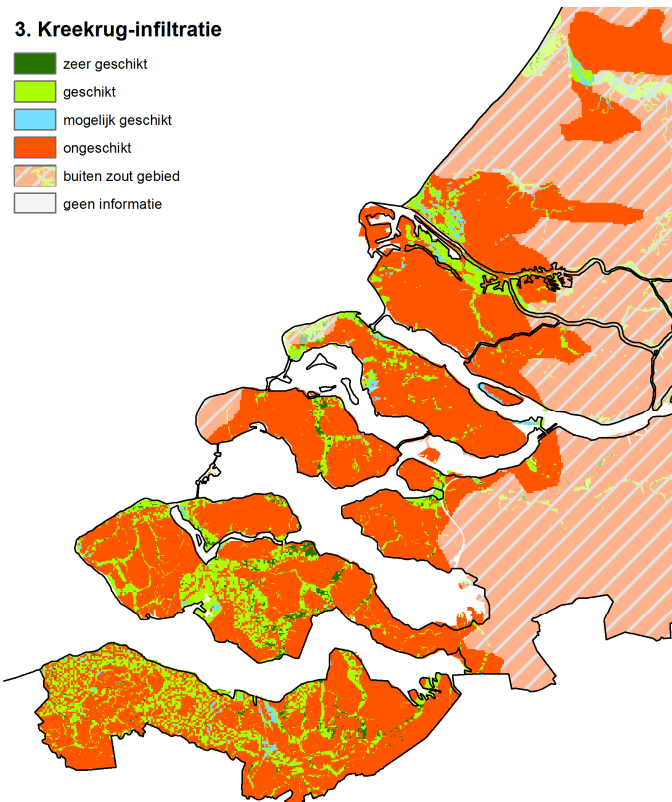
-  1 - geschikt
-  0 - ongeschikt
-  geen informatie



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.

### 3. Kreekrug-infiltratie

-  zeer geschikt
-  geschikt
-  mogelijk geschikt
-  ongeschikt
-  buiten zout gebied
-  geen informatie

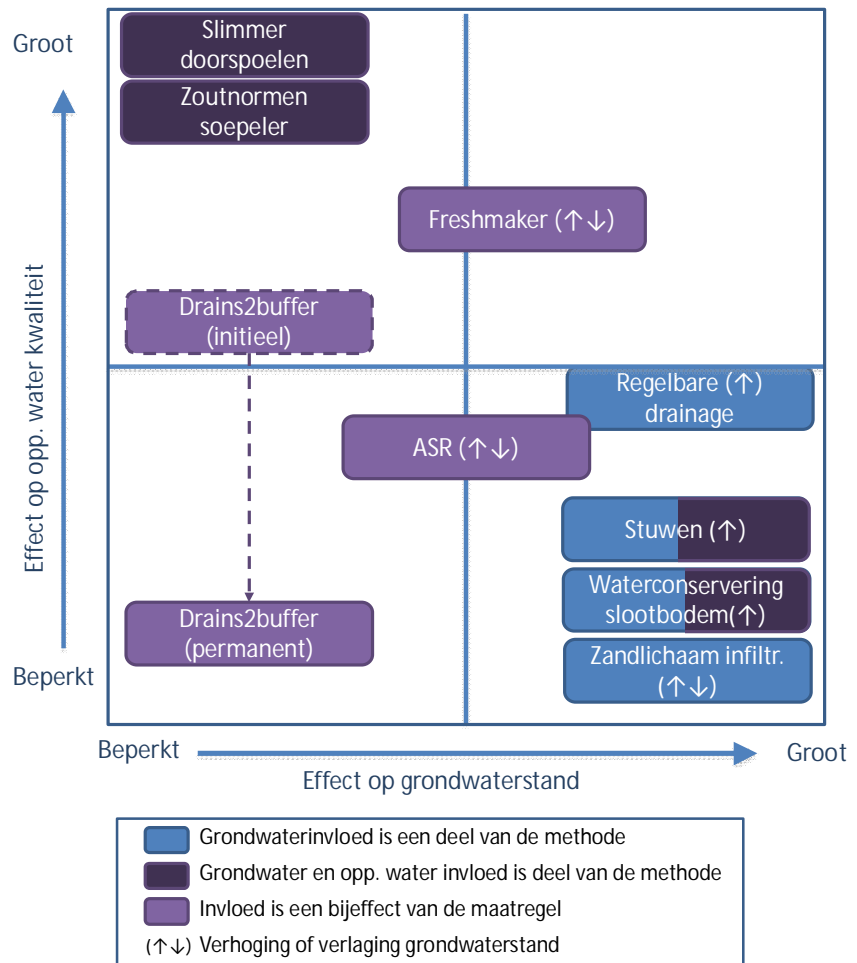


Additionele criteria: doelvariabelen en uitstralingseffecten

De toepassing van de verschillende maatregelen 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 afvoer. Hierbij is het van belang om een onderscheid te maken tussen de winter- en voorjaars situatie. Per maatregel is bepaald hoe welke variabele wijzigt.

Daarnaast stellen maatregelen ook eisen aan de omgeving. Zo is er voor een aantal maatregelen bijvoorbeeld in een deel van het jaar aanvoer van zoetwater nodig. Een maatregel kan andersom ook de waterhuishouding van de omgeving beïnvloeden. Navolgende figuur geeft samenvattend weer welke invloed een maatregel heeft op de grondwaterstand en oppervlaktewaterkwaliteit.

Bij kreekruginfiltratie wordt bijvoorbeeld 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 met name 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 maatregel is de beschikbaarheid van zoetwater voor infiltratie.



### Resultierend stappenplan

Uitkomst van onze analyse is dat bij de afweging van de mogelijkheden voor kleinschalige maatregelen, gestart kan worden met de volgende, samenvattende stappen (praktische handreikingen voor het uitvoeren van de stappen zijn in het rapport vermeld):

- Bepalen van de fysische mogelijkheid aan de hand van geschiktheidskaarten. De kaarten verschaffen een eerste indruk van de fysische geschiktheid van een maatregel.
- Analyseren van de invloed van de beoogde maatregel op de grondwaterstand en/of het zoetwatervolume. De verandering van de grondwaterstand en/of het zoetwatervolume moet overeenkomen met het beoogde doel van de maatregel.
- Uit de verandering in oppervlaktewaterpeilen, in grondwaterstand en in de omvang van zoetwaterlenzen, kan een grove schatting worden

gemaakt van de orde grootte van de hoeveelheid water die door een maatregel binnen een gebied potentieel beschikbaar komt.

- Bepaal bij het combineren van verschillende maatregelen in een gebied het effect op de omgeving, op het grondwater en het oppervlaktewater.
- Er zal ook wederzijdse beïnvloeding door maatregelen kunnen optreden. Ga na of er maatregelen elkaar versterken of dat ze elkaar tegenwerken.



# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Binnen Kennis voor Klimaat worden kleinschalige maatregelen 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 de voorliggende studie wordt gekeken naar de opschaalbaarheid van dit soort maatregelen naar grotere gebieden. 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 veel Nederlandse regio's wordt ingezet op meer zelfvoorzienendheid of het stabiliseren van de vraag van de regio (Deltaprogramma Zoetwater, 2013).

## 1.2 Opschalingmogelijkheden kleinschalige maatregelen

De opschalingmogelijkheden zijn op de eerste plaats afhankelijk van de fysische eigenschappen die noodzakelijk zijn om de maatregelen te kunnen implementeren. Voor een selectie van maatregelen zijn deze fysische eigenschappen nauwkeurig bepaald. Deze vereisten zijn vervolgens vertaald naar criteria die kunnen worden afgewogen met landelijk beschikbare informatie. Hiermee zijn kaarten voor heel Nederland gemaakt die aangeven waar verschillende maatregelen kunnen worden toegepast: geschiktheidskaarten. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de kaarten een globaal en regionaal beeld geven van de fysische geschiktheid op basis van landelijke informatie en zo dienen ze dan ook te worden geïnterpreteerd en gebruikt. De kaarten zijn bruikbaar voor een eerste verkenning van potentieel kansrijke maatregelen om de zoetwatervoorziening in een gebied te vergroten. Op lokale schaal is vaak betere en nauwkeurigere informatie beschikbaar op basis waarvan de fysische geschiktheid beter kan worden bepaald én waarbij additionele relevante factoren die bepalend zijn voor het succes, kunnen worden meegenomen.

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

kleinschalige maatregelen kunnen in principe vergelijkbare kaarten worden gemaakt.

Om tot een keuze te komen voor toepassing van deze maatregelen is alleen de fysische geschiktheid niet voldoende. Zeker wanneer veel van deze kleinschalige maatregelen worden toegepast zal het belangrijk zijn om zogenaamde uitstralingseffecten van de maatregelen mee te nemen in de selectie en de planning. Het implementeren van kleinschalige maatregelen kan namelijk leiden tot veranderingen in het grondwater en het oppervlaktewater. Vanwege het uitstralingseffect kunnen maatregelen 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 maatregelen 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 geschiktheidskaarten, vertaald in criteria en rekenregels die kunnen worden gebruikt met landelijk beschikbare informatie, zodat kan worden aangesloten bij reeds bestaand instrumentarium.

### 1.3 Afwegingskader voor verscheidene toepassingen

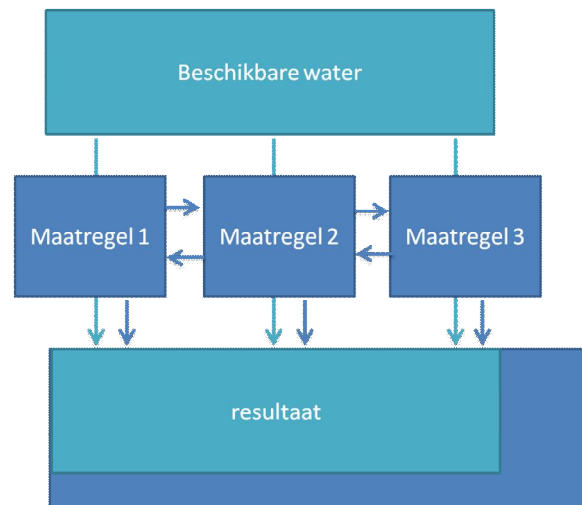
De combinatie van de in deze studie ontwikkelde geschiktheidskaarten en methodiek om de uitstralingseffecten naar de omgeving te bepalen, legt de basis voor een afwegingskader, een methodiek voor de implementatie van de kleinschalige maatregelen. De methodiek ontwikkeld in deze studie kan dan ook worden gezien als een eerste stap in de ontwikkeling van een instrumentarium voor de selectie en planning van kleinschalige maatregelen. Aangezien investeren in zelfvoorzienendheid een belangrijk onderdeel is waaropdoor het Delta-programma wordt ingezet, kan dit bijdragen aan de concrete uitwerking van de doelstellingen zoals geformuleerd in het Deltaprogramma.

De methodiek sluit aan op, en maakt gebruik van het bestaande instrumentarium, zoals bijvoorbeeld het NHI, en zorgt voor een aanvulling op bestaande afwegingsinstrumenten als de Eurekaopener en de Blokkendoos Zoetwatervoorziening. In de methodiek worden ruimtelijke interacties expliciet meegenomen.

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



Voor agrariërs biedt deze aanpak inspiratie over de mogelijke maatregelen waar in een bepaalde regio aan gedacht kan worden. Aangeraden wordt om voor de agrariërs aanvullend een specifieke perceelsanalyse te doen, aangezien de landelijke gegevens te grof zijn om op het schaalniveau van een perceel gedetailleerde uitspraken te doen. Er blijkt dan wellicht meer mogelijk dan wat de kaarten aanduiden. Tot slot kunnen de kaarten informatie geven voor het uitbreiden van maatregelen die in een deel van Nederland zijn getest naar een ander deel van Nederland. Hiermee kunnen de pilots die in verschillende delen van Nederland zijn uitgetest worden opgeschaald, en kan de zoetwaterpotentie van kleinschalige maatregelen worden vergroot.



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

#### 1.4 Status van het project

Het project bestaat uit twee fasen, waarvan de eerste met dit rapport wordt afgerond. Hierin zijn de indicatoren en criteria voor oplossingen gedefinieerd, en worden fysische geschiktheidskaarten gepresenteerd voor zeven typen kleinschalige maatregelen. Daarnaast wordt de methodiek beschreven om de uitstralingseffecten van de verschillende maatregelen op de omgeving te bepalen.

In fase 2 worden de criteria en de methodiek voor het combineren en configureren van oplossingen verder uitgewerkt, worden de kaarten en methodiek toegepast op een casegebied, en wordt een stuk software gebouwd waarmee de kaarten worden ontsloten, en de directe effecten en de effecten op de omgeving en de samenhang tussen maatregelen worden getoond.

## 2 Fysische geschiktheid maatregelen

### 2.1 Aanpak kaartvervaardiging

De fysische geschiktheid van een zevental kleinschalige maatregelen is bepaald met behulp van landelijke beschikbare informatie. De fysische geschiktheid wordt weergegeven als de kans dat de bodem- en ondergrondkarakteristieken geschikt zijn voor de maatregel. De maatregelen zijn:

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

De methodiek om te komen tot de fysische geschiktheid is gebaseerd op de beschikbaarheid en (on)nauwkeurigheid van landelijke gegevens. Per maatregel is bepaald welke fysische factoren van belang zijn en vervolgens zijn ze gewogen om te komen tot een geschiktheidsklasse. De methodiek is zo eenvoudig en transparant mogelijk gehouden zodat duidelijk valt te herleiden hoe de kaart tot stand is gekomen en reproduceerbaar is. Daartoe zijn naast de geschiktheidskaarten, ook kaarten gepresenteerd van de afzonderlijke factoren.

Er dient te worden opgemerkt dat de kaarten een globaal en regionaal 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 betere en nauwkeurigere informatie beschikbaar op basis waarvan de fysische geschiktheid beter kan worden bepaald én waarbij meerdere relevante factoren kunnen worden meegenomen. Desgewenst kunnen de kaarten met de hier gepresenteerde werkwijze dan worden gereproduceerd, gebruik makend van de nauwkeurigere informatie. De kans dat een oplossing met succes kan worden toegepast kan dan met meer nauwkeurigheid worden bepaald. In dat geval kan ook de terminologie van de legenda's worden gewijzigd, bijvoorbeeld van 'weinig kansrijk' naar 'ongeschikt'.





Op basis van karteerbare kenmerken zijn op een transparante en navolgbare wijze geschiktheidskaarten vervaardigd. Benadrukt moet worden dat het hierbij gaat om de 1e generatie geschiktheidskaarten. De herkenbaarheid c.q. toepasbaarheid van deze kaarten op regionale schaal ('kan een gebiedskenner zich erin vinden?') wordt getoetst in Fase 2.

In de navolgende paragrafen wordt per kaart aangeduid hoe deze tot stand is gekomen.

## 2.2 Drains2buffer

### Algemeen

In een deel van de zoute kwelgebieden (zuidwestelijke delta, noordelijk kustgebied) zijn de regenwaterlenzen zo dun dat er zout via capillaire opstijging in de wortelzone kan komen. Deze dunne regenwaterlenzen zijn erg kwetsbaar voor klimaatverandering. Door zout grondwater af te voeren met regelbare en diepere drains dan traditioneel maar met gelijkblijvende drainagecapaciteit kan de regenwaterlens groeien tijdens regenbuien waardoor de kans op zout in de wortelzone afneemt. Deze maatregel wordt drains2buffer genoemd en is dus alleen van toepassing in gebieden met dunne regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden. Deze effectiviteit van deze maatregel en praktische implicaties worden momenteel in het veld getest op Schouwen-Duiveland (project Go-Fresh).

### Factoren

De volgende 3 factoren zijn gebruikt voor het bepalen van de landelijke geschiktheid van drains2buffer.

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

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

Factor B: voorkomen van kwel.

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

Factor C: geschiktheid voor diepere regelbare drainage.

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 regenwaterlenzen 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 venige 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). In de maatregel regelbare, klimaat-adaptieve drainage wordt dieper ingegaan op de fysische factoren die de geschiktheid bepalen.

In navolgende kaarten staan voor de drie fysische factoren de scores weergegeven.

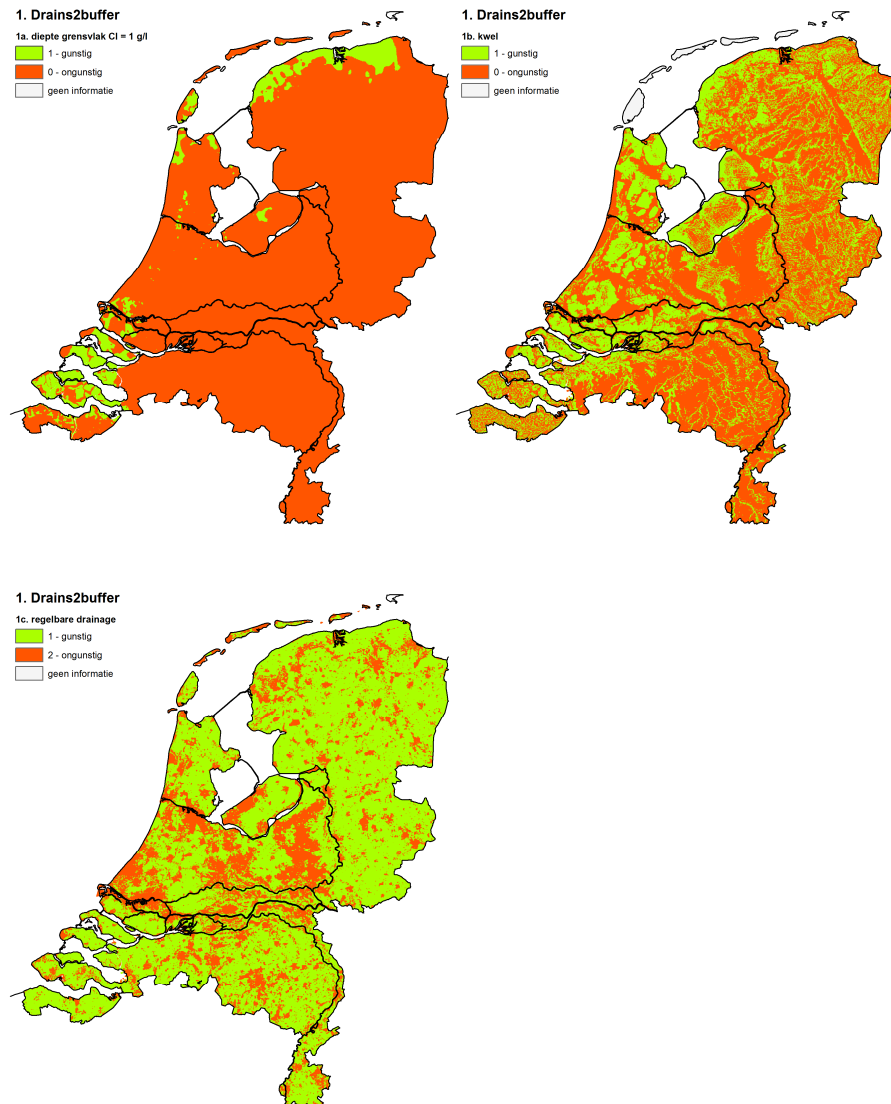
#### Score geschiktheidskaart

De score toekenning voor de individuele factoren en de geschiktheidsbepaling voor drains2buffer staan in de onderstaande tabellen samengevat.

	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



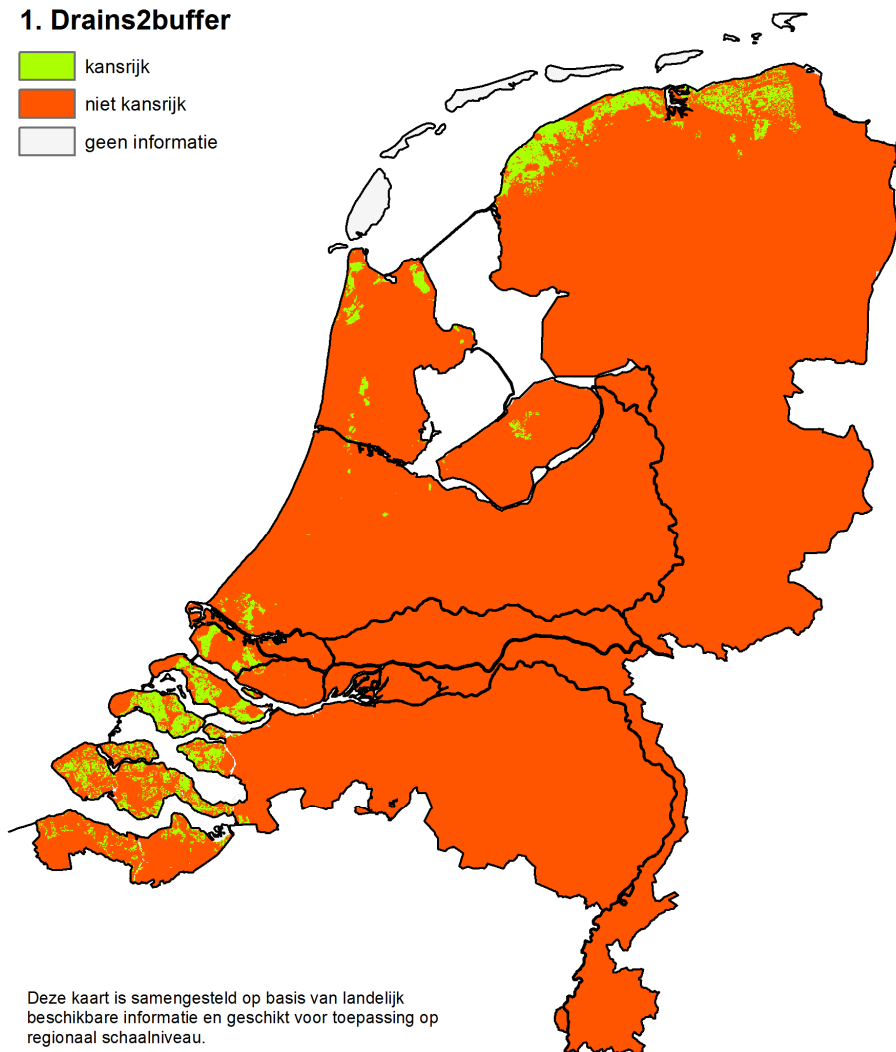
Geschiktheid drains2buffer	Score
kansrijk	$A + B + C = 3$
niet kansrijk	$A + B + C < 3$



Figuur 2 De score van de verschillende fysieke factoren die de geschiktheid voor de maatregel 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 3 De kans dat de bodem- en ondergrondkarakteristieken geschikt zijn voor de maatregel Drains2buffer.



## 2.3 Regelbare drainage en klimaatadaptieve drainage

### Algemeen

Steeds vaker wordt (samengestelde) regelbare drainage (RD) toegepast om de waterhuishouding van landbouwpercelen te optimaliseren en water te conserveren. Samengestelde regelbare drainage kan ook worden gebruikt om, naast het conserveren van water, piekafvoeren te reduceren. Wanneer de drainagebasis traploos en op afstand kan worden geregeld en je dus makkelijker kan anticiperen op weersveranderingen, wordt gesproken van KlimaatAdaptieve Drainage (KAD). Future Water heeft in 2013 een nationale geschiktheidskaart gemaakt voor (samengestelde) regelbare drainage (incl. KAD); deze kaart is voor dit FWOO-project overgenomen. Hieronder worden kort de belangrijkste factoren weergegeven, voor meer gedetailleerde informatie wordt verwezen naar Van Bakel et al., 2013.

Een belangrijke kanttekening bij deze maatregel is de volgende. De geschiktheidskaart geeft alleen de fysische geschiktheid voor het implementeren van (samengestelde) regelbare drainage, c.q. KAD en zegt dus niets over het te bereiken effect. Namelijk, als op een niet-gedraineerd perceel RD wordt toegepast zal dit zonder extra maatregelen, zoals bijvoorbeeld de combinatie met een extra peilverhoging of slootboderverhoging, leiden tot extra verdroging van het perceel en omgeving. Als regelbare drainage traditionele drainage vervangt is de kans groter op positieve effecten van deze nieuwe vorm van drainage (Kuijper et al., 2012).

### Factoren

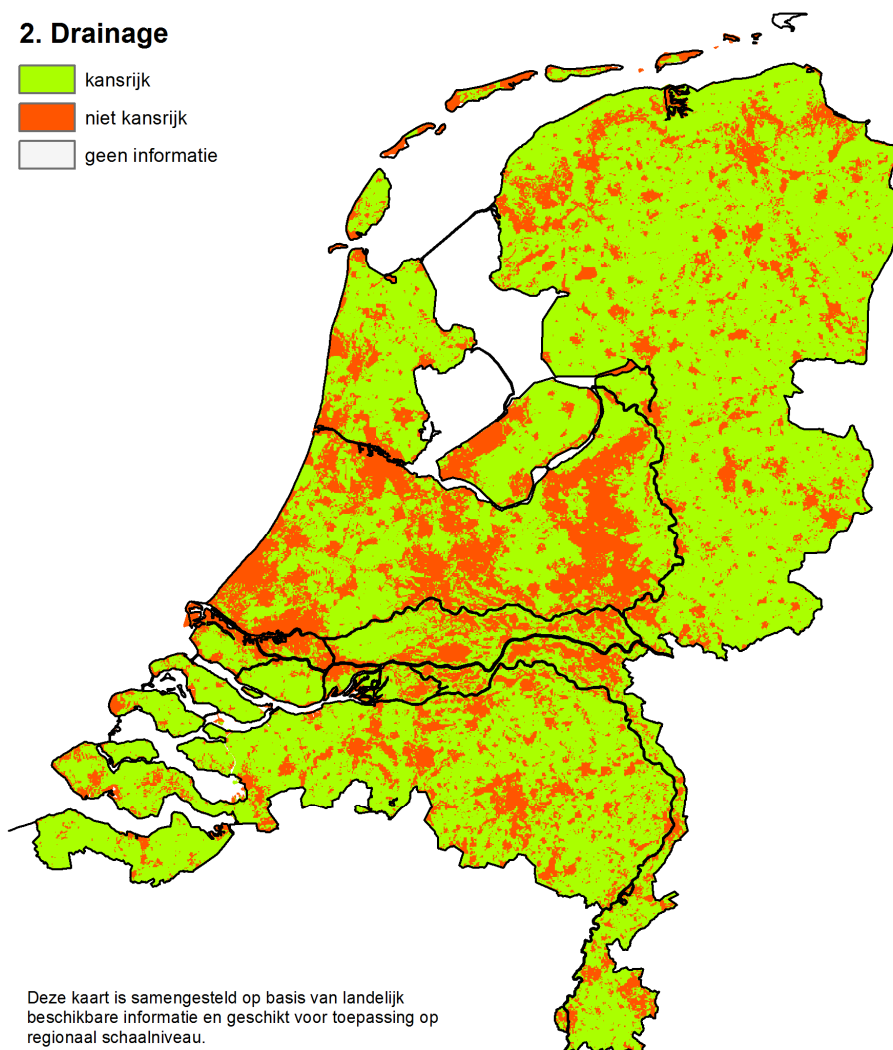
De factoren die van belang zijn voor de geschiktheid van samengestelde regelbare drainage (en KAD) zijn:

- 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.

Voor meer informatie over hoe en met welke landelijke informatie de factoren zijn bepaald en hoe ze zijn gewogen tot een geschiktheidskaart, wordt verwezen naar Van Bakel et al., 2013.

## 2. Drainage

-  kansrijk
-  niet kansrijk
-  geen informatie



Figuur 4 De kans dat de bodem- en ondergrondkarakteristieken geschikt zijn voor de maatregel Regelbare Drainage.



## 2.4 Kreekruginfiltratie

### Algemeen

Deze maatregel 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. Promovendus Pieter Pauw (WUR, Deltares) test de mogelijkheden van deze maatregel 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. Echter, de groei van de lens zal dan veel trager gaan en is exploitatie van de lens vermoedelijk niet duurzaam.

### Factoren

De volgende 5 factoren zijn gebruikt voor het bepalen van de landelijke geschiktheid van kreekrug-infiltratie.

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

De ligging van oude (zandige) kreek 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 globaal een gebied omliggend waarbij het grensvlak ondieper ligt dan 25 m diepte. Dit gebied wordt aangeduid als het zoute gebied.

Factor C: het voorkomen van infiltratie

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

Factor D: bodem geschikt voor infiltratie via drainagebuizen

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

Factor E: voldoende diepe grondwaterstand

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

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

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 kreek en geulen (factor A) geeft niet aan of de zandrug hoger ligt dan zijn omgeving wat juist een belangrijk factor is voor de geschiktheid voor infiltratie. Daarom is deze factor gecombineerd met het voorkomen van infiltratie omdat deze situatie aangeeft dat de zandrug hoger ligt dan zijn omgeving. Kreekruggen en oude zandgeulen jonger dan 2500 jaar zijn hiervoor geselecteerd met als reden dat oudere kreekruggen veelal bedekt zijn met jongere sedimenten. Voor de groei van de lens volgens BGH-principe is dit essentieel. Beide condities moeten voorkomen anders wordt het gebied als ongeschikt aangegeven. Veel kreekruggen zijn smaller dan 250 meter, de resolutie die bij dit project wordt gehanteerd. Omdat de informatie van de ligging van kreekruggen voor het Geotop-gebied op een schaal van 100 m beschikbaar is, zal deze schaal worden gehandhaafd bij de presentatie van de geschiktheidskaart voor kreekruig-infiltratie.

Factor B geeft aan of de kreekrug in een zout gebied ligt. Deze factor wordt niet als bepalende factor meegenomen maar als mask (gearceerd) zodat de geschiktheid voor kreekruig-infiltratie ook buiten het zoute gebied kan worden bekeken. Let wel, het vergroten van een zoetwaterlens is uiteraard primair bedoeld in een zout grondwater gebied.

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, namelijk hoe meer de grondwaterstand stijgt, hoe dikker de zoetwaterlens kan worden.

Het voorkomen van klei- en veenlagen beperken de groei van de lens (factor F). In eerste instantie werd de conditie opgelegd dat er geen enkele slecht doorla-

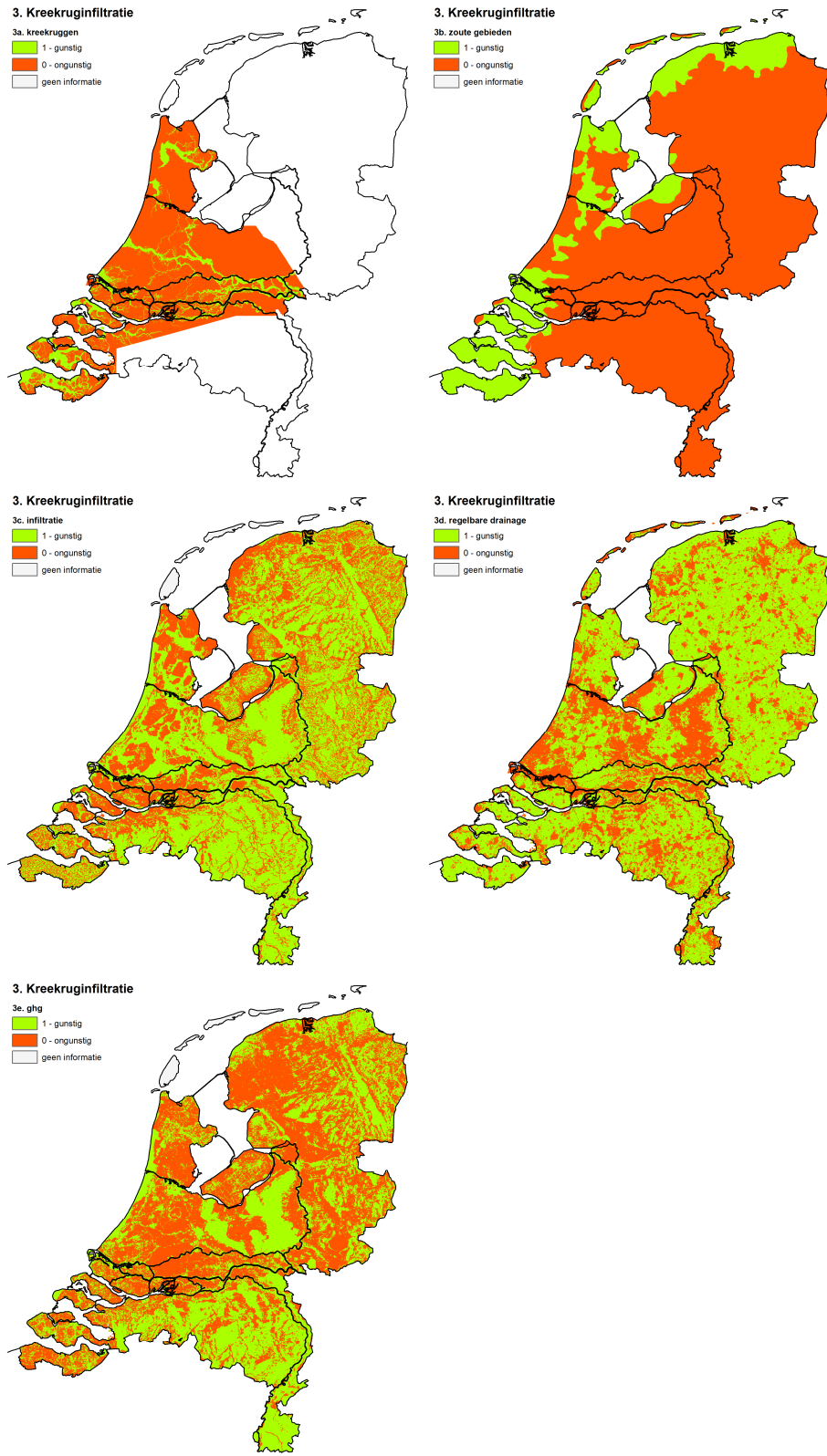




tende laag aanwezig mocht zijn. Echter, met de gegevens op landelijk schaalniveau bleek bijna geen enkel gebied aan deze voorwaarde te voldoen en daarom is deze factor iets versoepeld (zie tabel). Het schaalniveau waarop de gebruikte informatie (NL-3D Dino) beschikbaar is, is hier een belangrijke oorzaak voor. Kreekruggen hebben vaak een afwijkende lithologische opbouw dan zijn 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. Echter, het paste echter niet binnen de randvoorwaarden van dit project om deze beschikbare gegevens te verwerken. Er wordt dan ook aanbevolen om in een vervolgtraject deze informatie wel te gebruiken. Deze informatie is nog niet buiten het Geotop-gebied (o.a. Friesland, Groningen en Flevoland) beschikbaar.

Een belangrijke randvoorwaarde voor deze maatregel is de beschikbaarheid van zoetwater voor infiltratie. Echter, dit is geen fysische factor en de beschikbaarheid van zoetwater kan door waterbeheer worden beïnvloed. Deze bepalende factor zal dan ook bij de methodiek terugkomen.

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



Figuur 5 De score van de verschillende fysieke factoren die de geschiktheid voor de maatregel Kreekrug-infiltratie bepalen.



## Score geschiktheidskaart

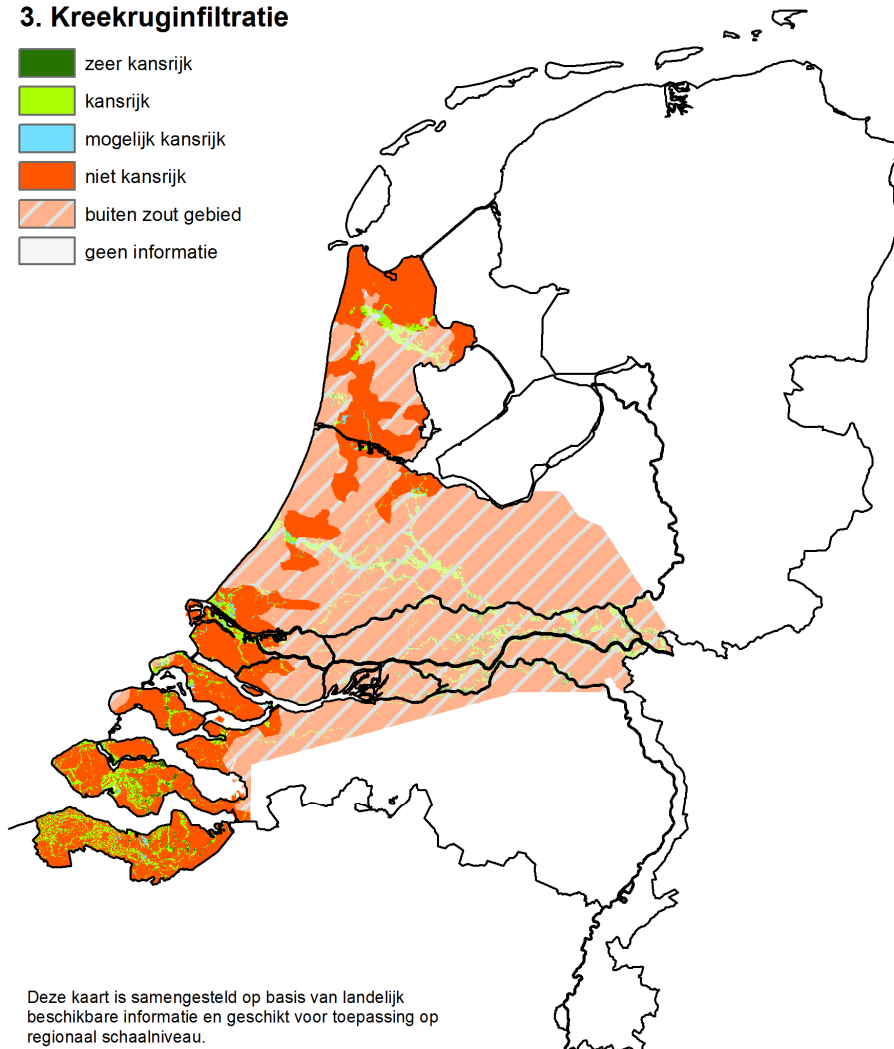
De score toekenning voor de individuele factoren en de geschiktheidsbepaling voor kreekruuginfiltratie staan in de onderstaande tabellen samengevat.

	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



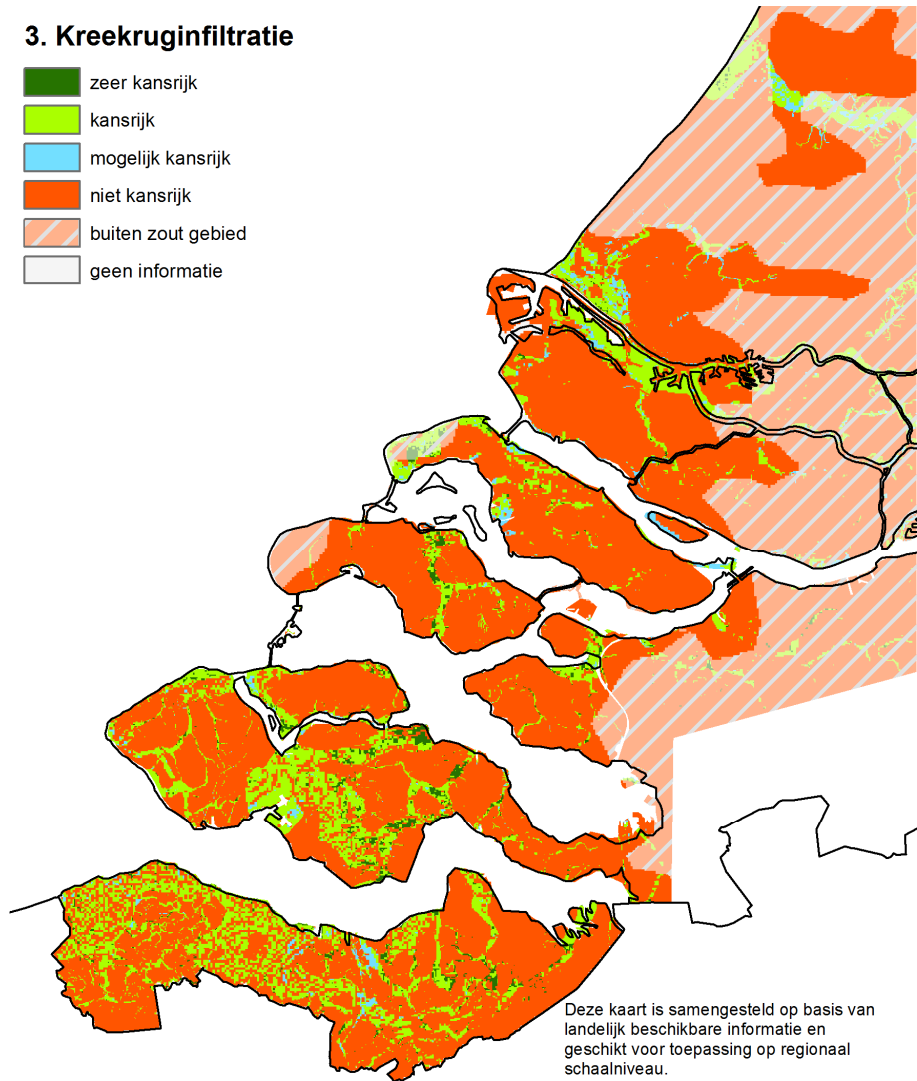
Deze kaart is samengesteld op basis van landelijk beschikbare informatie en geschikt voor toepassing op regionaal schaalniveau.

Figuur 6 De kans dat de bodem- en ondergrondkarakteristieken geschikt zijn voor de maatregel Kreekrug-infiltratie. 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 7 De kans dat de bodem- en ondergrondkarakteristieken geschikt zijn voor de maatregel Kreekrug-infiltratie, Zuidwestelijke Delta.

## 2.5 Freshmaker

### Algemeen

De Freshmaker (Zuurbier, 2012) is erop gericht om in zoute gebieden de zoetwatervoorraad in de winter te vergroten voor gebruik in droge perioden door actief beschikbaar water te infiltreren. Het terugwinnen van zoetwater geïnjecteerd in watervoerende pakketten met zout grondwater is extra complex door de opwaartse kracht van het zoute grondwater die de zoetwaterbel omhoog duwt. De Freshmaker combineert het ondiep (5-10 m) injecteren met het onttrekken van zout grondwater op een diepte van 15-20 m, om zo de zoetwaterbel op zijn plek te houden. Voor zowel de infiltratie van zoetwater als het onttrekken van zoet en zout grondwater worden zogenaamde HDDWs (*HDDW = horizontal directional drilled well*), ofwel horizontale putten, gebruikt. Het dieptetraject waarbinnen de Freshmaker gebruikt kan worden, wordt beperkt door de technische mogelijkheden van goedkope HDDWs; op dit moment het traject tussen 0-20 m-mv.

### Factoren

De volgende 7 factoren zijn gebruikt voor het bepalen van de geschiktheid van Freshmaker.

Factor A: geschikt opslagmedium in het traject waar Freshmaker actief is.

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)

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.

GIS-bestand: Informatie uit Regis.



Factor E: Aanwezigheid zoetwaterlens van 3 tot 15 m dikte

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

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

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

Factor G: ligging in zoutgebied

Op basis van brak-zout grensvlak van TNO (DinoLoket) is globaal een gebied omlijnd 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 dus niet dieper komen te liggen dan 5 tot 10 m-mv. De deklaag moet daarom liefst dunner zijn dan 5 m omdat infiltreren in de deklaag niet goed gaat. De dikte van deklaag geeft factor B aan.

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

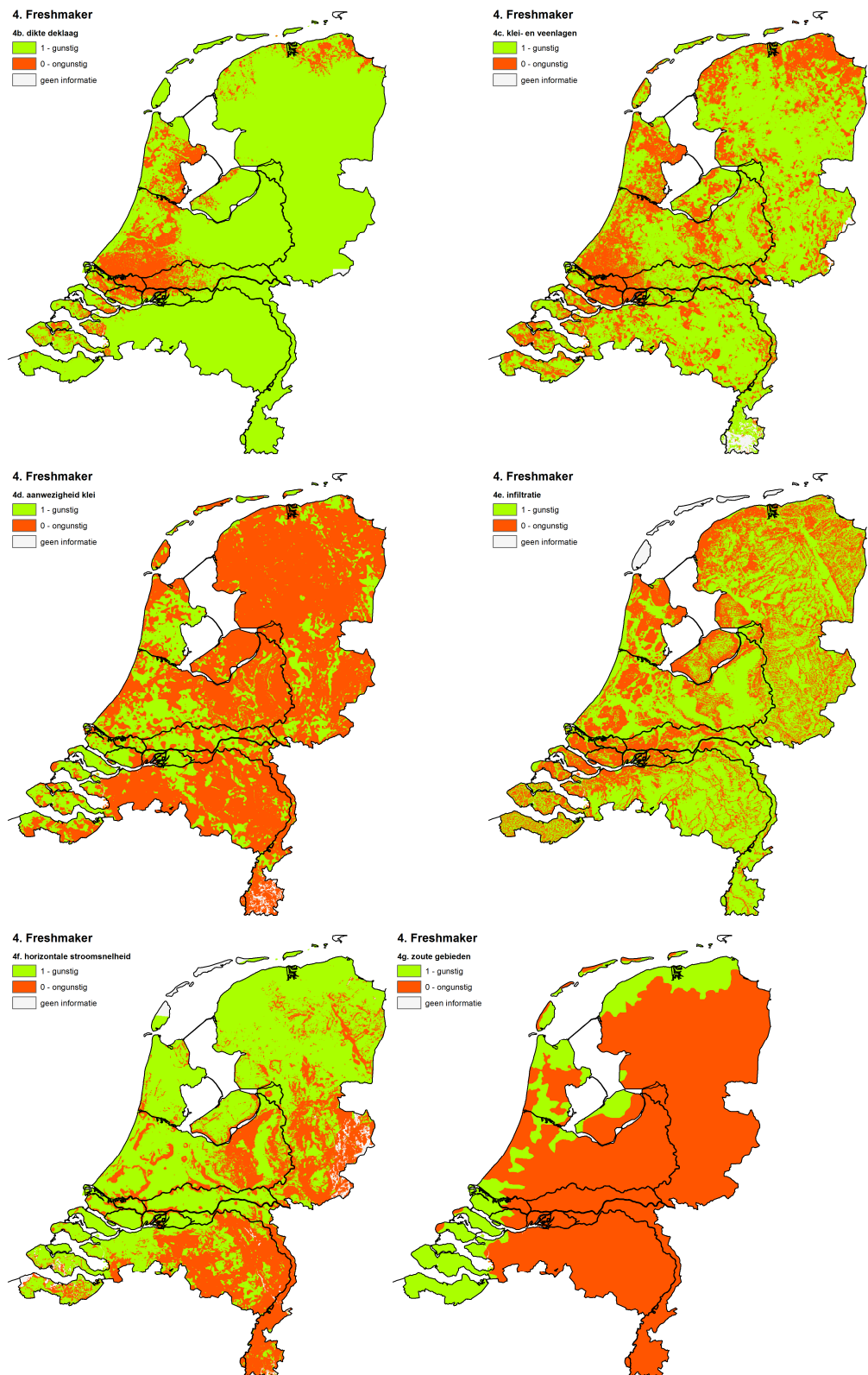
de stroomsnelheid), hoe groter de horizontale stroming mag zijn (Factor F). Bij de verticale ASR wordt een lagere kritieke stroomsnelheid gehanteerd omdat de horizontale afdrijving veel sneller tot een grotere afstand van de onttrekkingsput leidt dan bij de horizontale HDDW-putten.

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 maatregel is de beschikbaarheid van zoetwater voor infiltratie. Echter, dit is geen fysische factor en de beschikbaarheid van zoetwater kan door waterbeheer worden beïnvloed. Deze bepalende factor zal dan ook bij de methodiek terugkomen.

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





Figuur 8 De score van de verschillende fysieke factoren die de geschiktheid voor de maatregel freshmaker bepalen.

## Score geschiktheidskaart

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

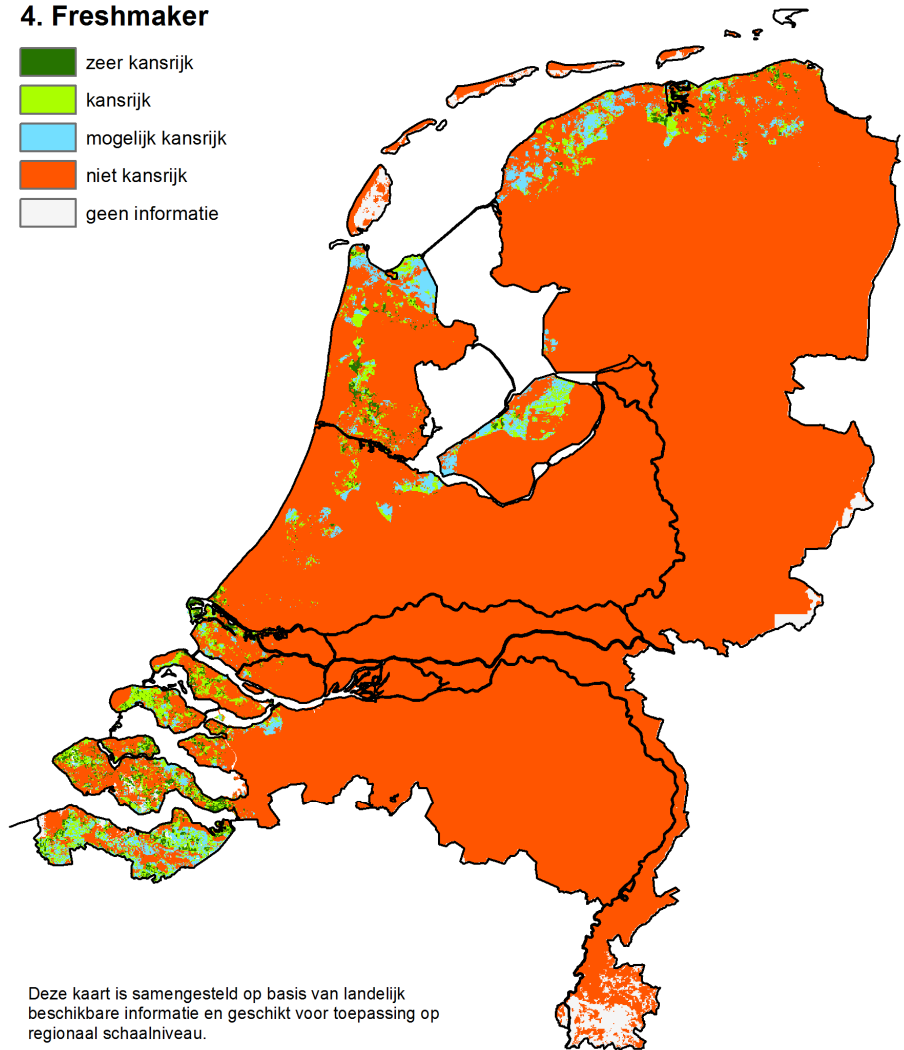
	Criteria	Score	Criteria	Score
Factor B	Cumulatieve dikte klei en veen < 5 m	1	Cumulatieve dikte klei en veen > 5 m	0
Factor C	Cum. dikte klei/veenlagen traject 5-15 m diepte ≤ 2.0 m en cum dikte traject 15-20 m diepte ≤ 1.0 m.	1	Overig	0
Factor D	Aanwezigheid kleilagen in traject 20 – 40 m-mv	1	Afwezigheid 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

-  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 9 De kans dat de bodem- en ondergrondkarakteristieken geschikt zijn voor de maatregel Freshmaker.

## 2.6 Verticale ASR

### Algemeen

Met verticale ASR (aquifer storage and recovery) wordt bedoeld 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 dieptebereik waarin het water tijdelijk wordt opgeslagen ligt dieper bij deze vorm van ASR dan bij de Freshmaker en kreekruginfiltratie. Deze vorm van ASR wordt in west-Nederland al veelvuldig toegepast.

### Factoren

De volgende 5 factoren zijn gebruikt voor het bepalen van de landelijke geschiktheid van verticale ASR.

Factor A: dikte eerste watervoerend pakket.

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

Factor B: dikte van de deklaag.

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

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

GIS-bestand: 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

GIS-bestand: 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

GIS-bestand: bepaald uit kD-waarden uit NHI.



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

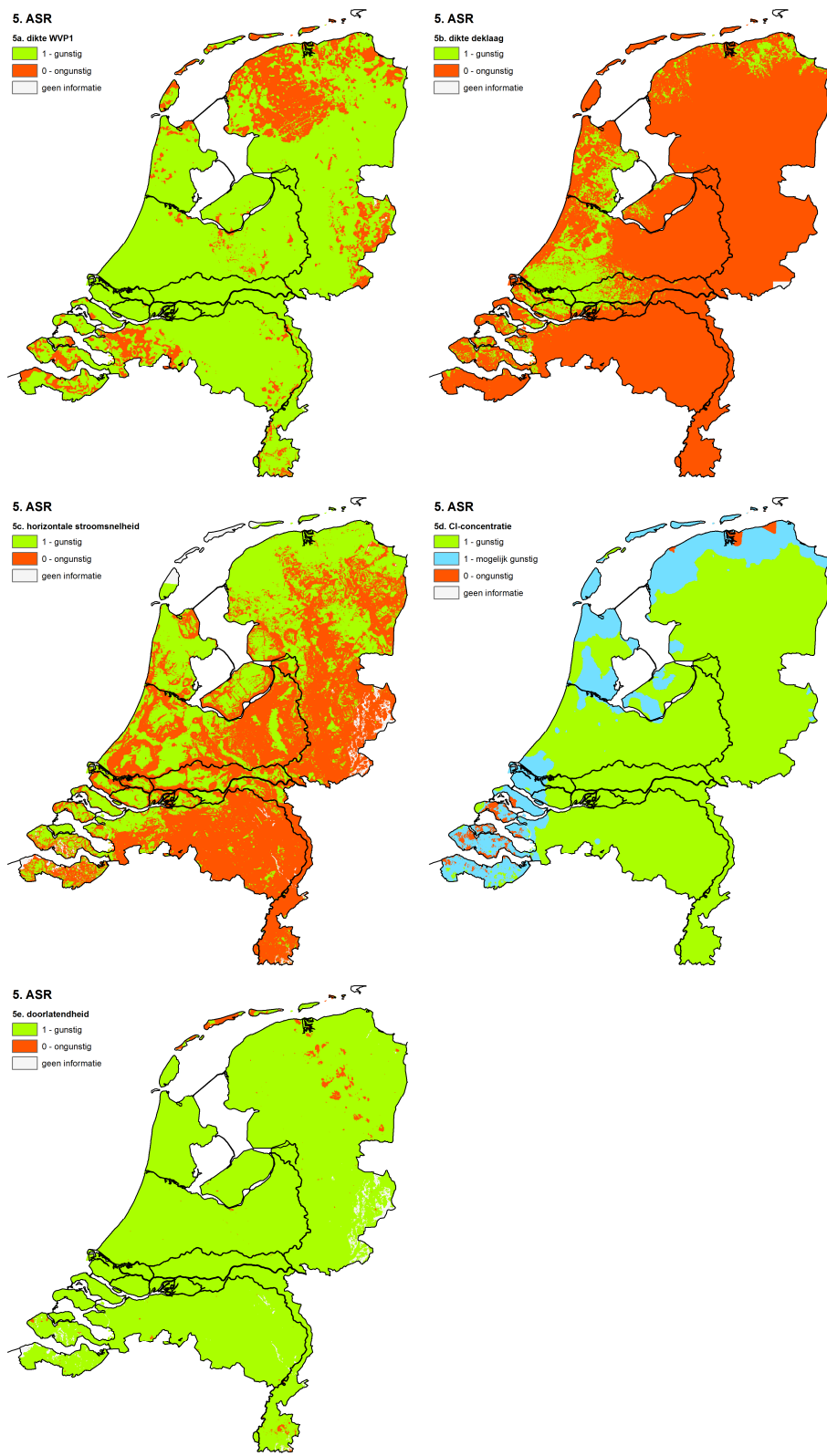
Een dikke deklaag (factor B) heeft in tegenstelling tot de Freshmaker een positieve invloed op de ASR want deze voorkomt een te sterke stroming van grondwater naar de oppervlakte (in kwelgebieden), alsmede significante vernatting en verdroging (+zetting) aan maaiveld.

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 staan voor de 5 fysische factoren de scores weergegeven.



Figuur 10 De score van de verschillende fysieke factoren die de geschiktheid voor de maatregel ASR bepalen.



## Score geschiktheidskaart

Een aantal belangrijke kanttekeningen bij deze snelle haalbaarheidsanalyse moeten worden gemaakt:

- Deze snelle haalbaarheidsanalyse bekijkt de factoren afzonderlijk terwijl ze voor een juiste beoordeling in samenhang met elkaar dienen te worden beschouwd. Bijv. de dikte van het pakket en de stroomsnelheid; in een dun pakket is de diameter van de zoetwaterbel groter dan in een dik pakket en is de stroomsnelheid van het grondwater wellicht een minder groot probleem.
- De werkelijke 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): bij korte perioden en hoge debieten (grootschalige ASR) zal een veel groter deel van het geïnjecteerde zoetwater worden teruggewonnen. Bij kleinschalige ASR en lange opslagperioden is de terugwinning beperkter, zelfs als het pakket slechts licht brak is (< 1000 mg/l Cl);
- Aanpassingen in het putontwerp kunnen het rendement alsnog sterk verhogen, ook als het geschatte rendement (op basis van hydrogeologie, hydrochemie en operationele parameters) slechts beperkt is ((Zuurbier et al., in Press);
- Veranderingen in de waterkwaliteit door interactie met het sediment in het watervoerende pakket kunnen het water alsnog ongeschikt maken voor het beoogde doel.

De hier gepresenteerde haalbaarheid is slechts indicatief. Er dient altijd een analyse te worden uitgevoerd van de lokale situatie waarbij de verschillende factoren in samenhang worden beschouwd. Binnen Kennis voor Klimaat is voor de Hotspot Haaglanden zo'n kwantitatieve, ruimtelijk analyse gemaakt voor de haalbaarheid van ASR waarbij wel alle factoren (incl. operationele parameters) zijn beschouwd. Zie hiervoor (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

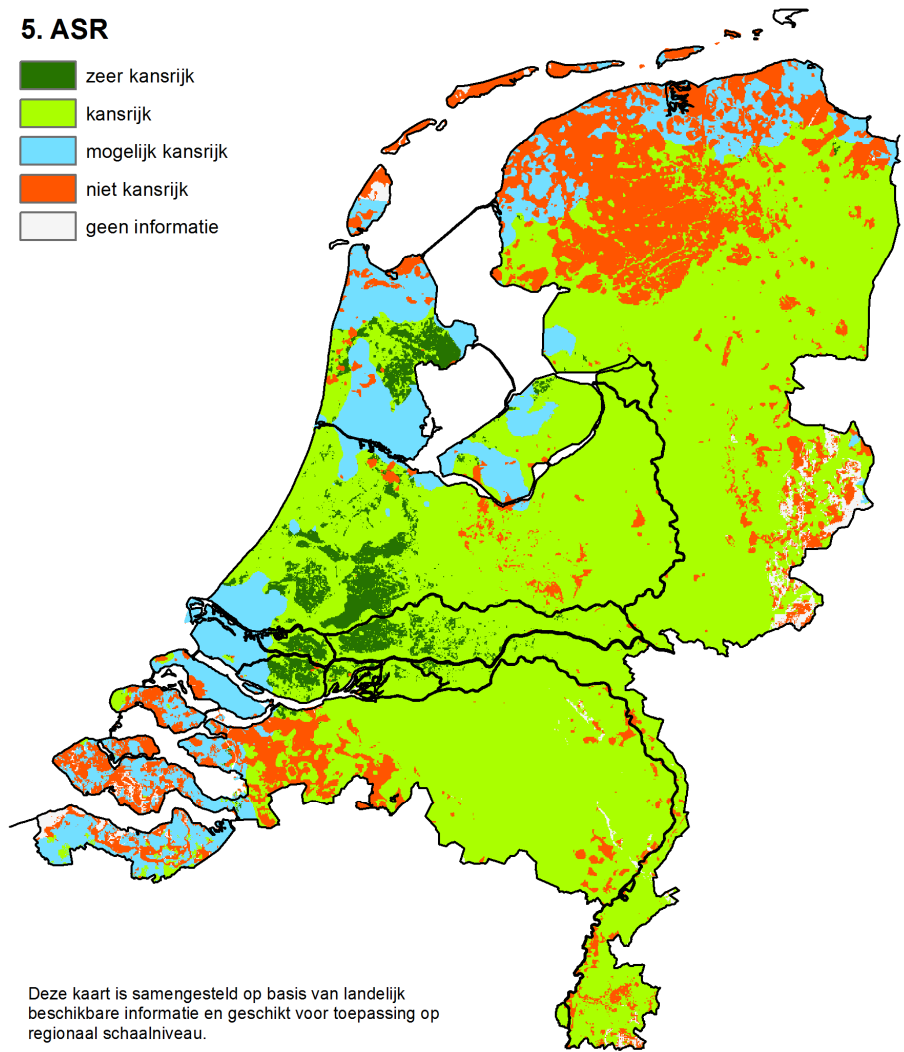
Geschiktheid ASR	Score
Zeer kansrijk	Als A = 1 & D = 2 & E = 1 & B + C = 2
kansrijk	Als A = 1 & D = 2 & E = 1 & B + C < 2
Mogelijk kansrijk	Als A = 1 & D = 1 & E = 1 & B + C ≥ 0
niet kansrijk	Als A = 0 of D = 0 of E = 0





## 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 11 De kans dat de bodem- en ondergrondkarakteristieken geschikt zijn voor de maatregel ASR.

## 2.7 Waterconservering door stuwen

### Algemeen

Waterconservering door middel van stuwjes is een manier om het neerslagoverschot (tijdelijk) te bergen in zowel de bodem als het oppervlaktewatersysteem zodat het beschikbaar komt in het groeiseizoen. De geschiktheidskaart voor waterconservering door stuwen is opgesteld op basis van karteerbare kenmerken, overeenkomstig de werkwijze zoals beschreven in Alterra-rapport 2287 (Massop et al., 2012). Deze werkwijze is naar voortschrijdend inzicht voor dit project verbeterd en zal hieronder in het kort worden beschreven.

### Factoren

#### Factor A : potentiële bodemberging

De potentiële bodemberging uit het Alterra-rapport 2287 (fig. 1) 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 te veel inspanning binnen de beschikbare tijd. De oorspronkelijke kaart wordt 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 de berging in het oppervlaktewater in Alterra-rapport 2287 is uitgegaan van een maximaal mogelijke verhoging van de waterstand in alle waterlopen. Deze verhoging is gedifferentieerd naar gebiedstypen, op basis van expertise (zie onderstaande tabel). 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 maatregel 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 en vervolgens gesmootht. Het resultaat staat in Figuur 12.

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 stuwjes kunnen veel meer waterlopen beheerst worden, al is er een grens want bij te grote maaiveldhelling heb je te 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.

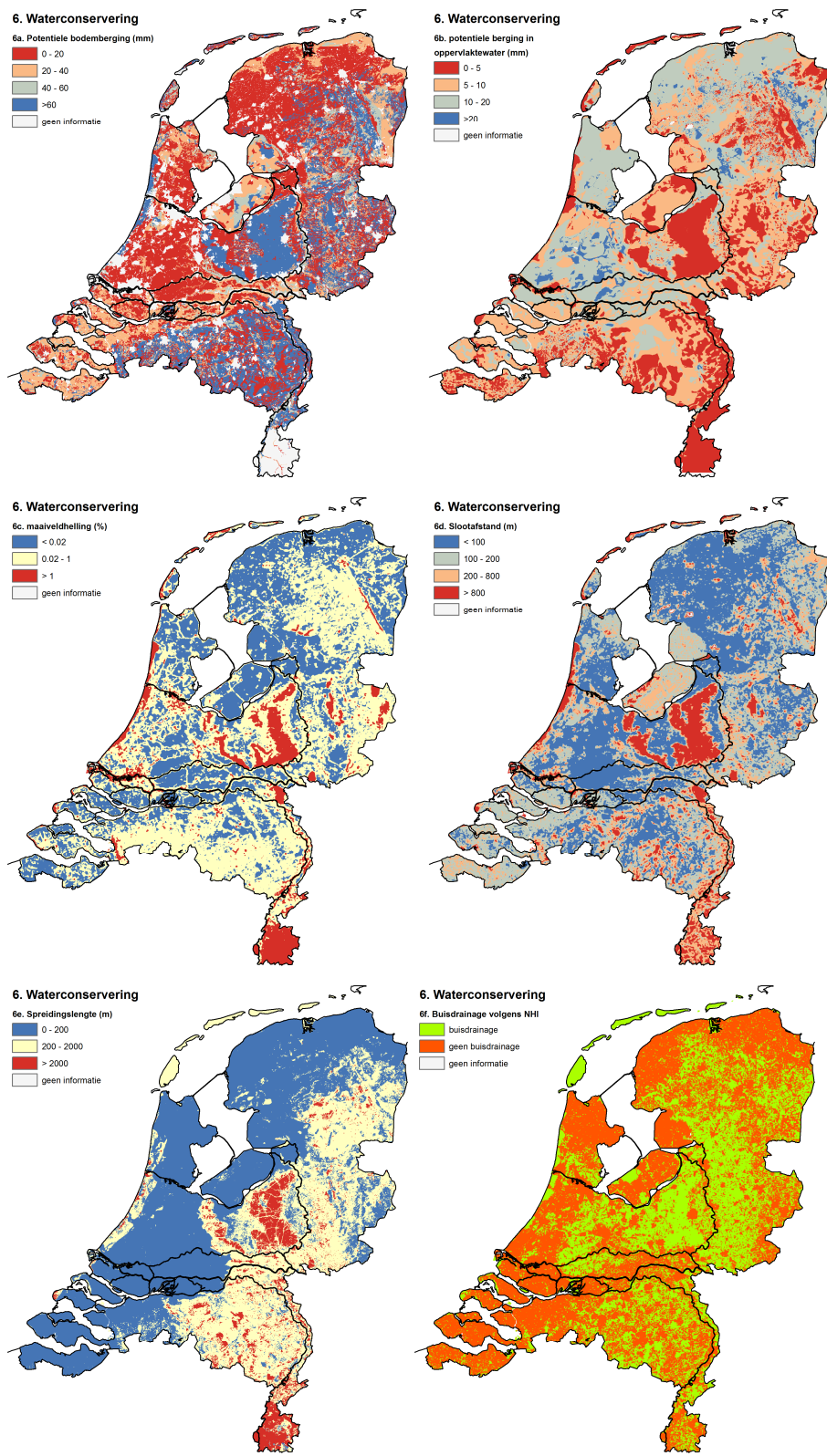
#### Factor D: slootafstand

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 Fig. 12).

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 12 De verschillende fysieke factoren die de geschiktheid voor de maatregel waterconserving door stuwen 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 drainage weerstand 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 waterconserveringsmaatregelen 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 12.

### 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 maatregel 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 12 staan de gedraineerde percelen volgens NHI weergegeven zodat een idee wordt verkregen waar mogelijk drainage wordt toegepast.

## Kanttekening

### 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

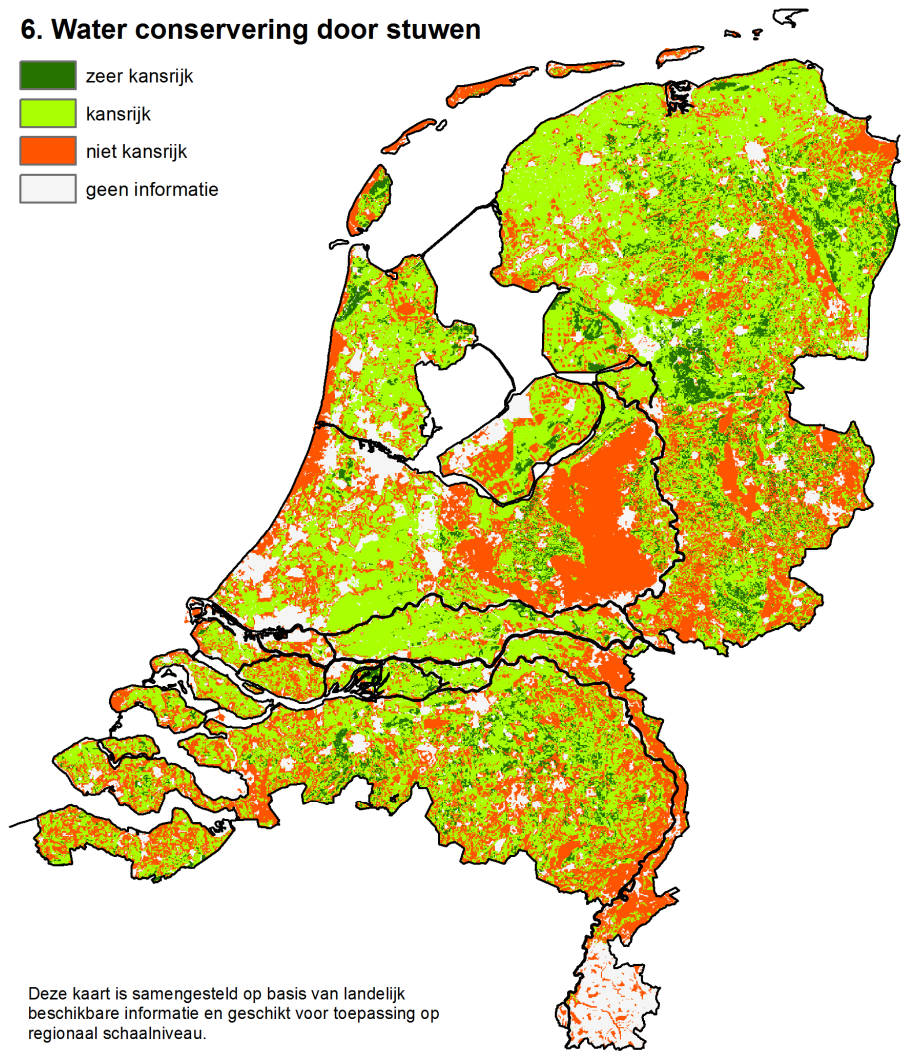
		Som bodemberging en oppervlaktewaterberging											
		Te gering (< 20 mm)			Gering 20<b<40			Gemiddeld 40<b<60			Groot (> 60 mm)		
		spreidingslengte											
		klein	matig	groot	klein	gem	groot	klein	matig	groot	klein	matig	groot
Score uit tabel 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	1	0	0	2	1	0	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 staat weergegeven in Figuur 12.

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



## 6. Water conservering door stuwen



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

Figuur 12 De kans dat de bodem- en ondergrondkarakteristieken geschikt zijn voor de maatregel waterconservering door stuwtjes.



## 2.8 Waterconservering door slootboderverhoging

### Algemeen

Waterconservering kan ook plaatsvinden door slootboderverhoging. Het voordeel hiervan ten opzichte van stuwen is dat de drainagebasis permanent wordt verhoogd en niet afhankelijk is van water in de sloot, dat nodig is voor een peilverhoging. Echter, het bergen van water kan met deze maatregel alleen in de bodem plaatsvinden. 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 hier niet worden herhaald; alleen de verschillen zullen worden besproken.

### Factoren

De geschiktheidsclassificatie staat weergegeven in onderstaande tabel.

#### Factor A : potentiële bodemberging

Zie bij waterconservering door stuwen.

#### Factor B: potentiële berging in oppervlaktewater

Deze factor wordt niet meegenomen bij de bepaling van de geschiktheid van waterconservering door slootboderverhoging omdat geen extra water in het oppervlaktewaterstelsel kan worden geborgen. Immers, indien de slootboderverhoging 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 slootboderverhoging de slootbodem 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 slootboderverhoging speelt de maaiveldhelling, zoals deze bij waterconservering door stuwen wel bepalend is, geen rol en daarom wordt deze factor niet meegenomen.





#### Factor D: slootafstand

De slootafstand is net als bij waterconservering door stuwen een bepalende factor, namelijk 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 onderstaande tabel).

Tabel 4 *Tussenscores voor waterconservering door slootbodempverhoging: waterbeheersbaarheid*

<b>Slootafstand L (m)</b>	<b>score</b>
<b>L&lt;100</b>	3
<b>100&lt;L&lt;200</b>	2
<b>200&lt;L&lt;800</b>	1
<b>L&gt;800</b>	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 maatregel versneld wordt afgevoerd de drains waardoor het effect van de maatregel 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 bodemverhoging meegenomen. Er wordt op dezelfde wijze als bij waterconservering door stuwen rekening gehouden met de classificatie van de spreidingslengte en de tussenscore uit tabel 3 en is per combinatie een score toegekend (Tabel 5).

Tabel 5 Scorekaart 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

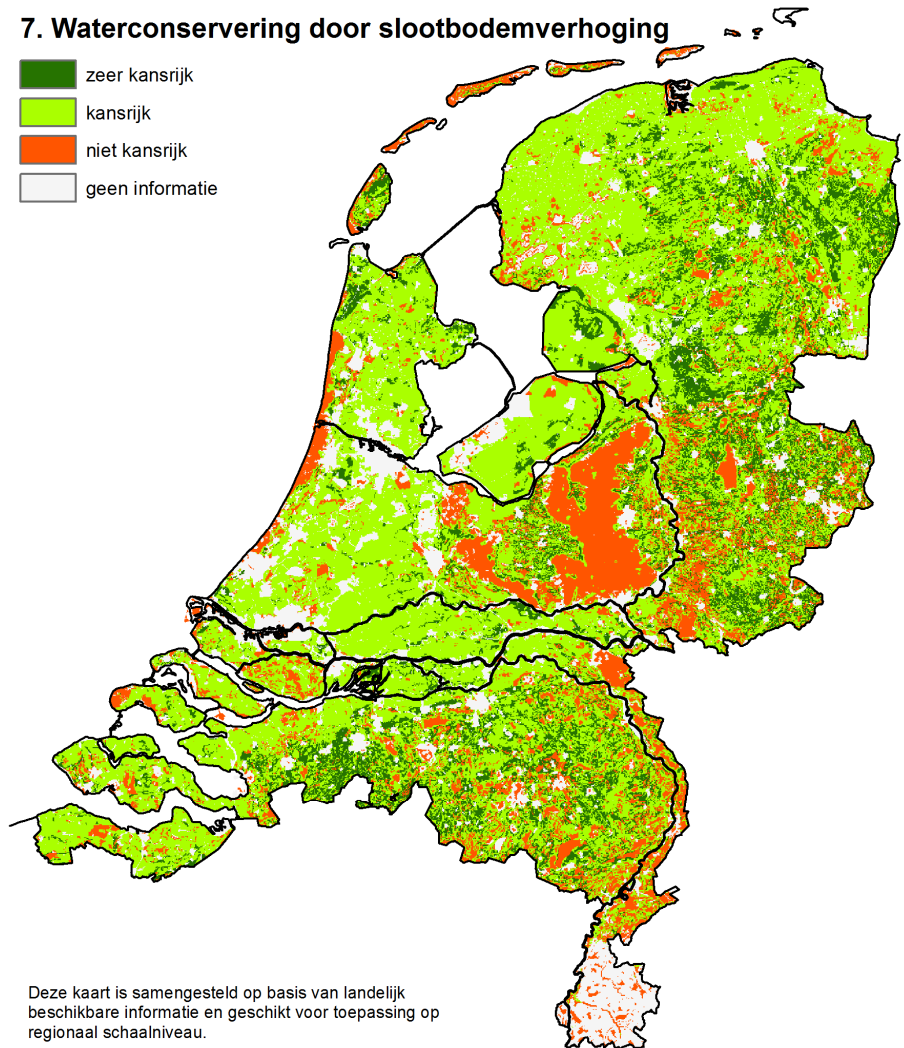
De scores uit tabel 5 zijn volgens onderstaande tabel vertaald naar geschiktheidsklassen. De eindkaart staat weergegeven in Figuur 13.

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



## 7. Waterconserving door slootboderverhoging

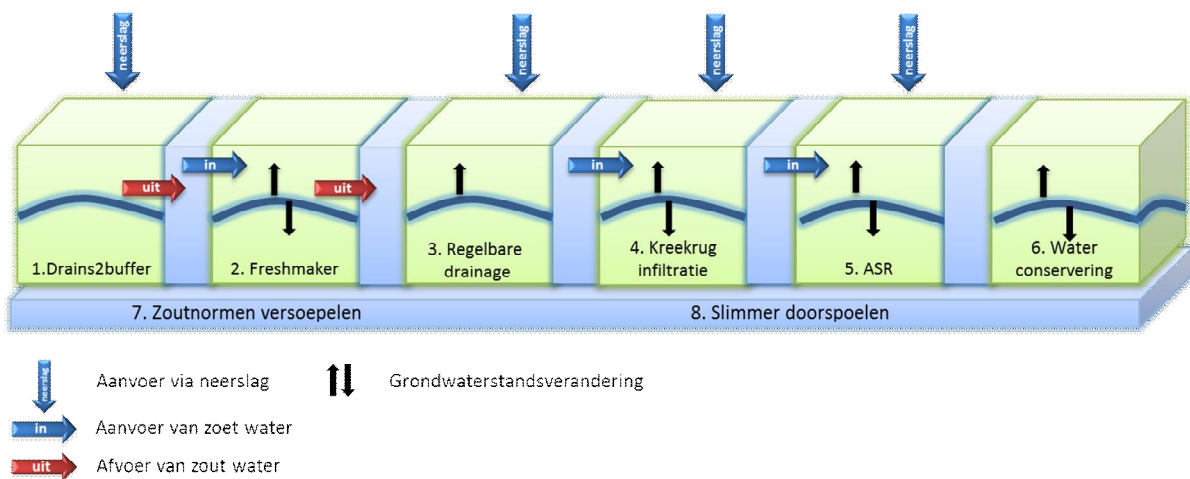
-  zeer kansrijk
-  kansrijk
-  niet kansrijk
-  geen informatie



Figuur 13 De kans dat de bodem- en ondergrondkarakteristieken geschikt zijn voor de maatregel waterconserving door slootboderverhoging.

### 3 Lokale effecten, vereisten en uitstralingseffecten

De toepassing van de verschillende maatregelen betekent dat de waterhuishouding wordt aangepast, om daarmee de zoetwaterbeschikbaarheid te vergroten. Hoe er precies wordt ingegrepen in de waterhuishouding verschilt per maatregel. Daarnaast worden er ook bepaalde eisen aan de omgeving gesteld, zo is er voor een aantal maatregelen bijvoorbeeld in een deel van het jaar aanvoer van zoetwater nodig. Deze invloed en vereisten op de toepassingslocatie zelf wordt in dit hoofdstuk beschreven. Naast invloed op de locatie waar de maatregel wordt toegepast, kan het ook de waterhuishouding van de omgeving beïnvloeden. Figuur 14 geeft een overzicht van de effecten en vereisten van de verschillende maatregelen op grond- en oppervlaktewater, zoals in dit hoofdstuk wordt beschreven. Om de effecten onder één noemer te brengen zijn ze vertaald naar verandering in de beschikbaarheid van zoet water.



Figuur 14 Vereisten en effecten van de verschillende maatregelen 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 beheersruimte, 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 die kan worden gebruikt, de hoeveelheid water die potentieel beschikbaar kan komen bij toepassing van een maatregel op een locatie die in de kaarten als kansrijk is aangegeven en effecten op de omgeving.



### 3.1 Doelvariabelen

Het doel van een maatregel is verhoging van de doelrealisatie voor de landbouw en/of de natuur. Een maatregel 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 doelvariabelen.

De doelvariabelen zijn de beoogde effecten in de waterhuishouding van de onderscheiden maatregelen, uitgedrukt in 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 en 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 onderscheid gemaakt tussen de invloed op de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG), gemiddelde zomergrondwaterstand (GZG), gemiddelde voorjaarsoppervlaktewaterstand (GVO) en gemiddelde zomeroppervlaktewaterstand (GZO).

De locatie waar maatregelen worden getroffen noemen we de maatregellocatie en alleen daar worden de beoogde effecten gerealiseerd.

Daarnaast kan een maatregel ook niet-beoogde effecten hebben, zowel op de locatie zelf als op de omgeving. Deze kunnen zowel een verhoging als verlaging van de doelrealisatie tot gevolg hebben op de maatregellocatie als in de omgeving.

Voor een aantal maatregelen is een essentiële randvoorwaarde dat er (in een deel van het seizoen) zoetwateraanvoer moet zijn. Dit is het geval voor

- De Freshmaker
- ASR
- Kreekruuginfiltratie

In principe kunnen deze maatregelen alleen worden toegepast op locaties waar zoetwateraanvoer via sloten is of bijvoorbeeld via daken van kassen of gebouwen beschikbaar komt. Alternatief wordt op dit moment onderzocht hoe het water uit de drains kan worden opgevangen en op deze manier zoetwater beschikbaar kan worden gemaakt (Acacia, 2013a).

### 3.1.1 Doelvariabelen per maatregel

De invulling van de onderscheiden maatregelen, uitgedrukt in doelvariabelen, kan plaats vinden door middel van de geschiktheidskaarten die zijn gepresenteerd in hoofdstuk 2. Op basis van veldwaarnemingen, modelberekeningen en expertise is per maatregel aan te geven wat het maximaal mogelijk effect is, overeenkomend met de hoogste geschiktheidsklasse. Onderstaande tabel geeft een voorzet die uitsluitend is gebaseerd op expertise.

Maatregel	Sturende variabele					
	$\Delta$ GVG (cm)	$\Delta$ GZG (cm)	$\Delta$ GVO (cm)	$\Delta$ GZO (cm)	$\Delta$ GW_afvoer	$\Delta$ 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 <sup>e</sup> watervoerend pakket		nvt	nvt	kleiner	(kleiner)
Waterconservering door stuwen (WCST)	20	8	40	10	kleiner	kleiner
Waterconservering door slootbodemverhoging (WCSB)	15	5	?	?	kleiner	kleiner

Tabel 6 Verandering in doelvariabelen per maatregel bij de hoogste kans-score. De getallen zijn voorbeelden, en zullen specifiek per gebied moeten worden bepaald (zie hoofdstuk 4 voor methodiek). Een combinatie met een kansenkaart kan worden gebruikt om een eerste indruk van de effecten van een maatregel inzichtelijk te maken.

*Opm.  $\Delta$  staat voor verandering tov de situatie zonder de maatregel(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))*



### 3.1.2 Toelichting per maatregel

Hieronder wordt per maatregel de invloed van de doelvariabelen op de locatie waar de maatregel wordt toegepast beschreven.

#### Drains2buffer

Bij Drains2buffer wordt drainage aangelegd op iets grotere diepte om zoute kwel af te voeren waardoor de regenwaterlens groeit en het zoutgehalte in de wortelzone verlaagt. De drainage wordt regelbaar aangelegd, waardoor de ontwateringsbasis op het originele niveau kan worden gehouden. Met deze maatregel wordt het grondwaterniveau dus in principe niet aangepast, ook de hoeveelheid waterafvoer zal gelijk blijven. Wel wordt de kwaliteit van het grondwater en bodem water in wortelzone beïnvloed, dit leidt op de locatie van toepassing tot een dikkere zoetwaterlens. De dieper gelegen drains zullen in de beginfase na implementatie van de maatregel tot een verhoging van de zoutlast op het oppervlaktewater leiden. Na verloop van tijd (enkele jaren) wanneer de regenwaterlens in evenwicht is met de nieuwe drainagesituatie zal het drainageafvoer weer bestaan uit een ongeveer gelijke hoeveelheid 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 maatregel 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 met name 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 maatregel is de beschikbaarheid van zoetwater voor infiltratie.

## Freshmaker

Bij de freshmaker wordt zout grondwater afgevoerd door een horizontale drain op ongeveer 15-20 m en zoet water (kunstmatig) geïnfilteerd. Hierbij wordt de bestaande drainage niet aangepast, en blijft het grondwaterniveau in principe 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 beïnvloed. Een randvoorwaarde voor deze maatregel is de beschikbaarheid van zoetwater voor infiltratie.

## Verticale ASR

In de 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 methodiek, 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, door middel actieve verhoging van de ontwateringsbasis. Technisch kan dit worden gerealiseerd door bedienbare stuwen. Doel is tevens om water in de bodem te conserveren. Hiermee heeft het als doelvariabelen 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, met hogere grondwaterstanden tot gevolg. Een bijeffect kan zijn dat de voorraad water in het oppervlaktewatersysteem aan het begin van het groeiseizoen lager wordt.





### 3.2 Beoogde effecten in zoetwaterbeschikbaarheid

De doelvariabelen zoals hierboven besproken moeten worden vertaald naar een grootte die de beoogde 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. Het is gewenst om een beeld te kunnen vormen van de hoeveelheid water die met kleinschalige maatregelen kan worden verkregen. Hoeveel water kan worden verkregen hangt echter sterk af van de locatiespecifieke omstandigheden. Om toch naar een schatting voor een gebied te komen wordt hier een methodiek gegeven voor het bepalen van een indicatie van de hoeveelheid water die potentieel beschikbaar kan worden gemaakt met kleinschalige maatregelen. Wanneer deze methodiek wordt toegepast zal het een orde van grootte geven, onder de aanname dat de maatregelen tot maximale potentie worden ingezet.

#### Beheersruimte

Een aantal van de maatregelen richt zich op het (tijdelijk) verhogen van de grondwaterstand (regelbare drainage, kreekruginfiltratie, waterconservering 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 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. Echter, dit is een aspect dat in de methodiek niet verder is uitgewerkt.

In onderstaande tabel is per maatregel een eerste schatting gegeven van mogelijk te behalen effecten, uitgedrukt in grootheden waaraan de toename van de zoetwaterbeschikbaarheid kan worden gekoppeld. De vermelde waarden zijn geraamd voor gemiddelde praktijksituaties en zijn gebaseerd op ervaringen en expert judgement van het projectteam. 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 pas kan worden begrensd op het moment dat meer praktijkervaringen zijn opgedaan.

Maatregel	Beoogd effect			
	$\Delta$ zoet- waterlens (m)	$\Delta$ GVG (m)	$\Delta$ 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
Kreekruginfiltratie (KRI)	5	0,5	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)	1	0,2	0,4	reductie uitzakken / verzilting bestrijding
Waterconservering door slootbodempverhoging (WCSB)	0,5	0,15	0	reductie uitzakken / verzilting bestrijding

Tabel 7 Beoogde effect van de maatregelen. De getallen zijn voorbeelden, en zullen specifiek per gebied specifiek moeten worden bepaald. Deze waarden kunnen worden omgerekend naar m<sup>3</sup> waterbeschikbaarheid, waarbij het areaal en een aantal gebiedskenmerken moeten worden meegenomen (zie tekst en figuur 4-1 voor methodiek).



### 3.2.1 Schatting van wateropbrengst

In deze paragraaf worden enkele handvaten gepresenteerd waarmee kan worden bepaald hoeveel water beschikbaar kan komen door een maatregel. De hierbij toegepaste kentallen zijn gebaseerd op expert judgment van het projectteam.

De extra hoeveelheid water (waterextra) die kan worden verkregen bestaat uit de som van drie hoeveelheden:

Hoeveelheid 1 (m<sup>3</sup>) =  $\Delta$ zoetwaterlensdikte \* porositeit \* recoveryfactor \* areaal.

Hoeveelheid 2 (m<sup>3</sup>) =  $\Delta$ GVG \* freatische bergingscoëfficiënt \* areaal.

Hoeveelheid 3 (m<sup>3</sup>) =  $\Delta$ GVO \* areaal open water (areaal-gewogen als  $\Delta$ GVO niet gelijk is binnen LSW).

Echter, voor geen enkele maatregel zullen alle drie de hoeveelheden bijdragen aan de extra zoetwater beschikbaarheid maar slechts 1 of 2. Dit zal hieronder kort per maatregel worden toegelicht.

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  $\text{GVG}_{\text{max}}$  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  $\pm 5\text{m}$  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.

$\Delta$  Zoet water beschikbaarheid =  $f(\text{GVG}, \Delta \text{ drainagebasis}, \text{ drainageweerstand}, \text{ lekweerstand}, \text{ kwel})$

### 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 geïnfilteerd in tijden van overschot en weer onttrokken in tijden van droogte.

$\Delta$  Zoet water beschikbaarheid =  $\Delta$  Zoetwaterlens =  $f(\text{hoeveelheid water geïnfilteerd}, \text{ bodemopbouw}, \text{ lekweerstand}, \text{ zoutgehalte grondwater}, \Delta \text{ GVG})$

### 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 geïnfilteerd in tijden van overschot en weer onttrokken in tijden van droogte.



$\Delta$  Zoet water beschikbaarheid =  $\Delta$  Zoetwaterlens =  $f$  (hoeveelheid water geïnfiltreerd, bodemopbouw, lekweerstand, laterale grondwaterstroming, diepe ont-trekking 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.

$\Delta$  Zoet water beschikbaarheid =  $\Delta$  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.

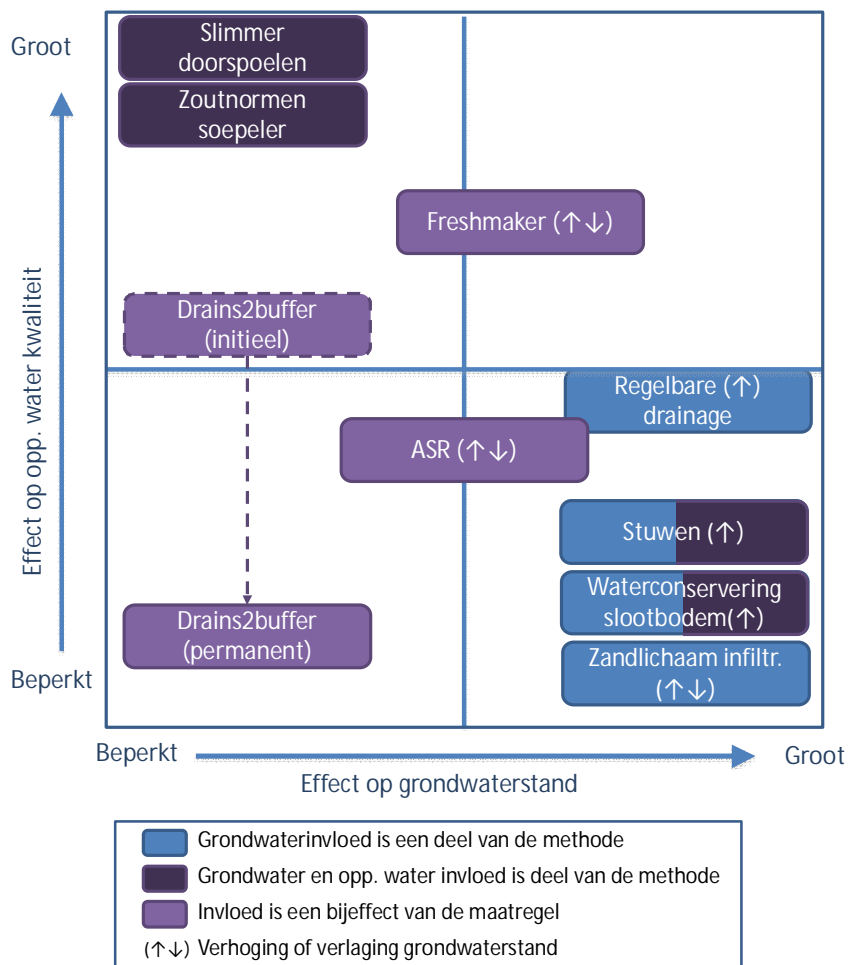
$\Delta$  Zoet water beschikbaarheid =  $f$  ( $\Delta$ GWG, slootprofiel, beheersbaarheid waterlopen (zomer), overgangswaerstand van natte slootonttrek, kwel/wegzijging, bodemeigenschappen/hydrotype)

#### 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.

$\Delta$  Zoet water beschikbaarheid =  $f$  ( $\Delta$ GVG, slootprofiel, beheersbaarheid waterlopen (zomer), overgangswaerstand van natte slootonttrek, kwel/wegzijging, bodemeigenschappen/hydrotype)

### 3.3 Uitstralingseffecten en neveneffecten



Figuur 15 Uitsplitsing van de effecten op grondwaterstand en oppervlaktewaterkwaliteit per type maatregel



### 3.4 Uitstralingseffecten op grondwaterstand en zoutgehalte oppervlaktewater

#### Drains2buffer

Doel van de maatregel is vergroting van de zoetwatervoorraad (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/wegzijing).

#### 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 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 geïnfilteerd wordt en boven- of onderliggende slechtdoorlatende pakketten ( $kD$ - en  $c$ -waarden). Echter, de diepere onttrekking van zout grondwater zal dit effect (deels) compenseren.

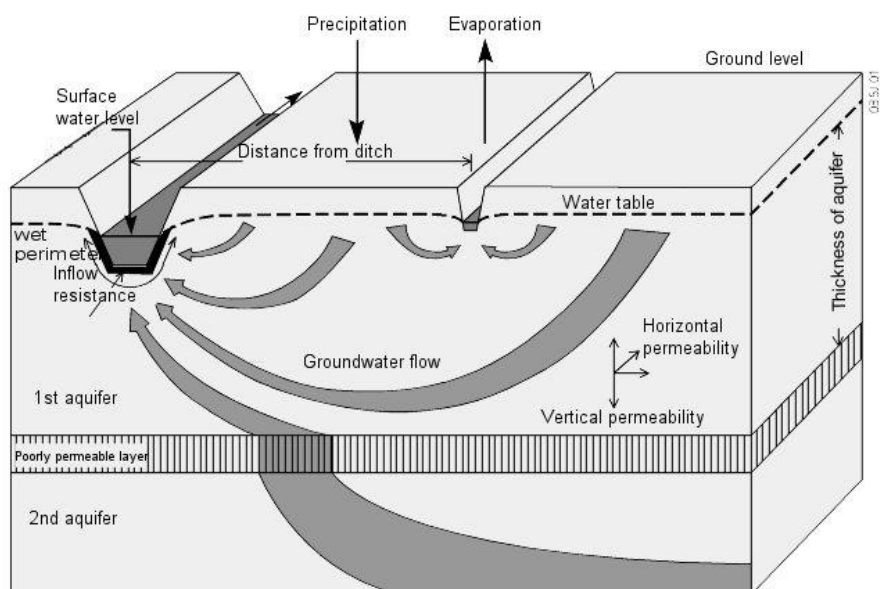
Door het gebruik van het zoete oppervlaktewater voor actieve infiltratie zal in stroomafwaartse gebieden minder zoet oppervlaktewater beschikbaar zijn en kan eventueel een het zoutgehalte toenemen. De onttrekking van zout water zal op het oppervlaktewatersysteem moeten worden geloosd en heeft daarvoor een duidelijk verziltend effect op het stroomafwaarts gelegen oppervlaktewatersysteem.

### Vertikale 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 geïnfilteerd 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 slootbodemplafondverhoging

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 16.



Figuur 16 Schematische weergave van de grondwaterstroming naar ontwateringsmiddelen en de belangrijkste parameters bij de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater

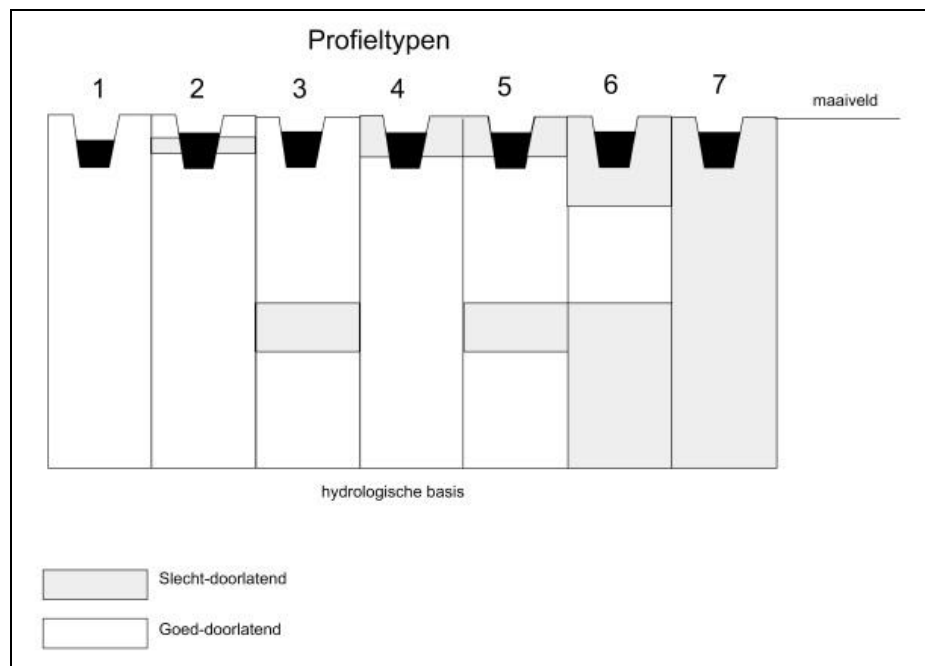




De belangrijkste factoren bij deze interactie, en daarmee bij het uitstralingseffect, zijn (Kant en Stuyt, 1980, Massop et al., 1997, 1998):

- de geohydrologische eigenschappen van de ondergrond, o.a. laagdiktes van geologische formaties, en hydraulische doorlatenheden;
- de eigenschappen van het ontwateringssysteem, 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 17.



Figuur 17 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.

### 3.4.1 Uitstralingseffecten op grondwater (voorbeeld drainage)

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:

$\lambda^*$	: 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 18) (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 ( $m^3/dag$ )

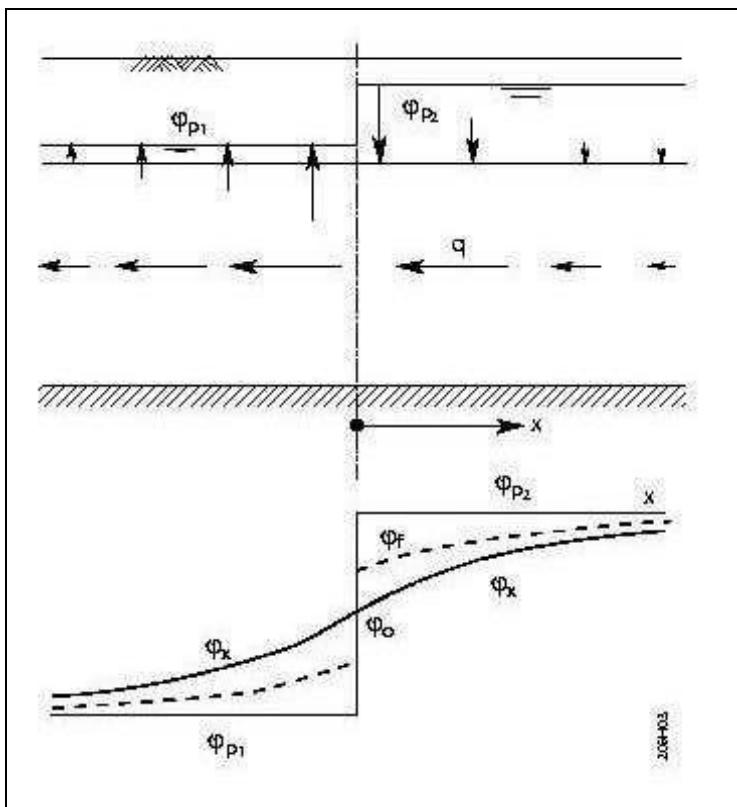
$f_x$  : stijghoogte in het eerste watervoerend pakket op een afstand  $x$  (m)

$f_p$  : polderpeil (m)

$f_0$  : stijghoogte in het eerste watervoerend pakket op de grens tussen de twee gebieden (m)

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

$x$  : afstand (m)



Figuur 18 Overzicht van de effecten van 2 gebieden met een verschillend polderpeil (Naar Edelman, 1972)



De afname van zowel het debiet als het stijghoogteverschil is logaritmisch met de afstand tot de gebiedsgrens volgens  $e^{-x/\lambda}$ . In Figuur 19 is deze afname van het debiet bij toename van de afstand ( $x$ ) weergegeven. Aan de hand van Figuur 19 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 20) (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  $r$  ( $m^3$ /dag)

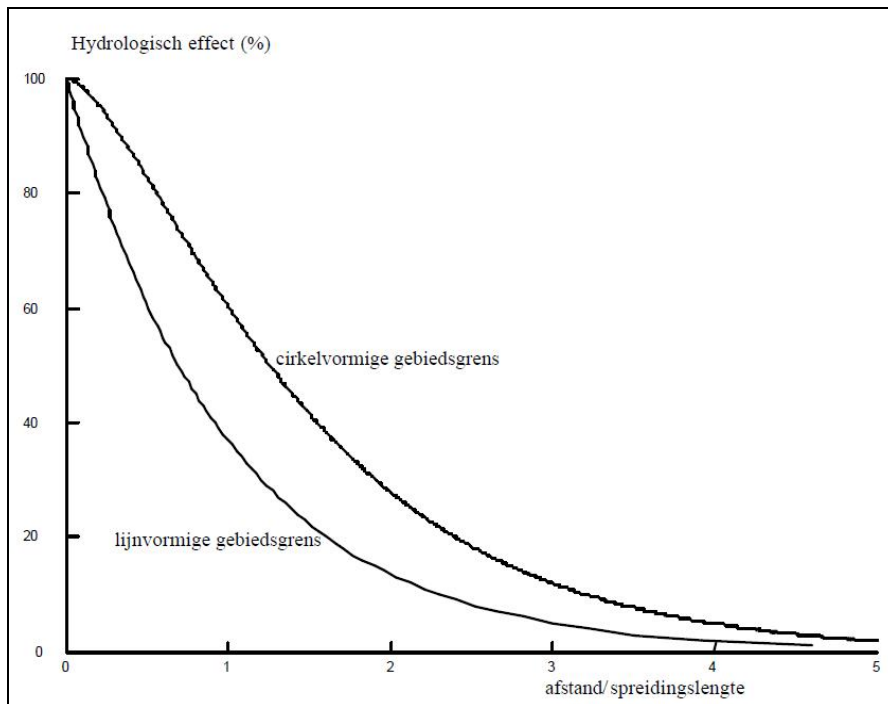
$Q_R$  : debiet in het eerste watervoerend pakket op een afstand  $R$  ( $m^3$ /dag)

$r$  : afstand (m)

$R$  : straal van het gebied (m)

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

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



Figuur 19 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 afstand  $r$  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 19 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?) 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:

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

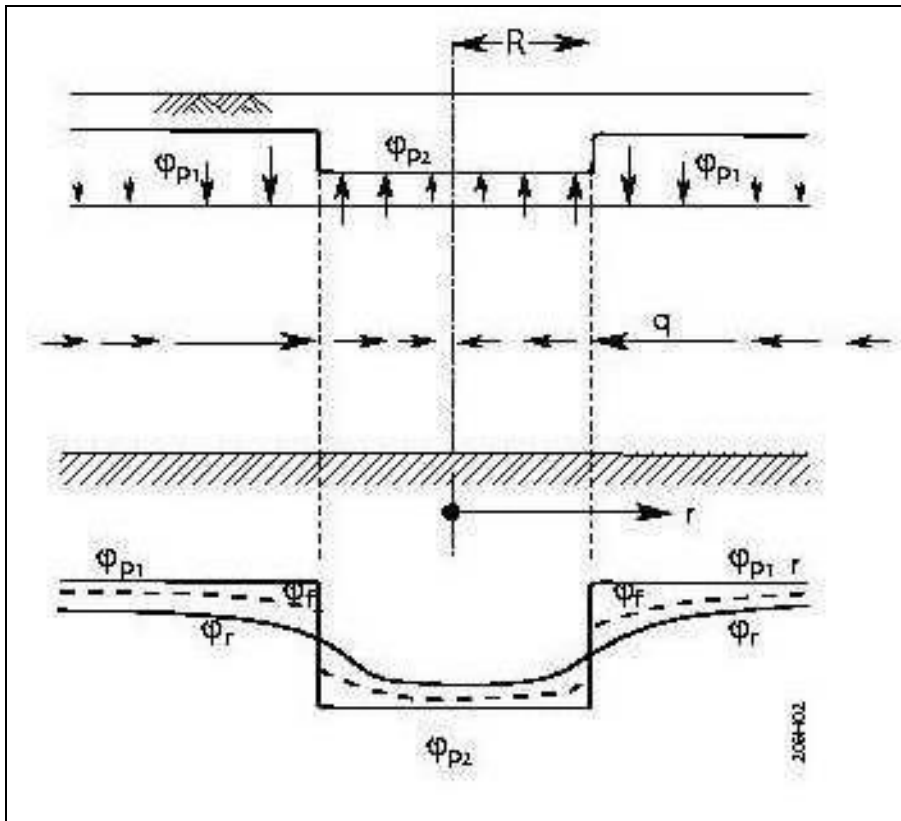


Aanleg van drainage leidt mogelijk tot schade als zich binnen de invloedsafstand van de drainage natuurwaarden bevinden die gevoelig zijn voor verandering in grondwaterstand en/of kwelintensiteit. Voor effectberekeningen van ingrepen in de freatische grondwaterstand in open profielen geldt:

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

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)
- $\lambda^*$  : spreidingslengte ( $\sqrt{kDc^*}$ ) (m)
- $K_0$  : Besselfunctie van de tweede soort en van de orde 0

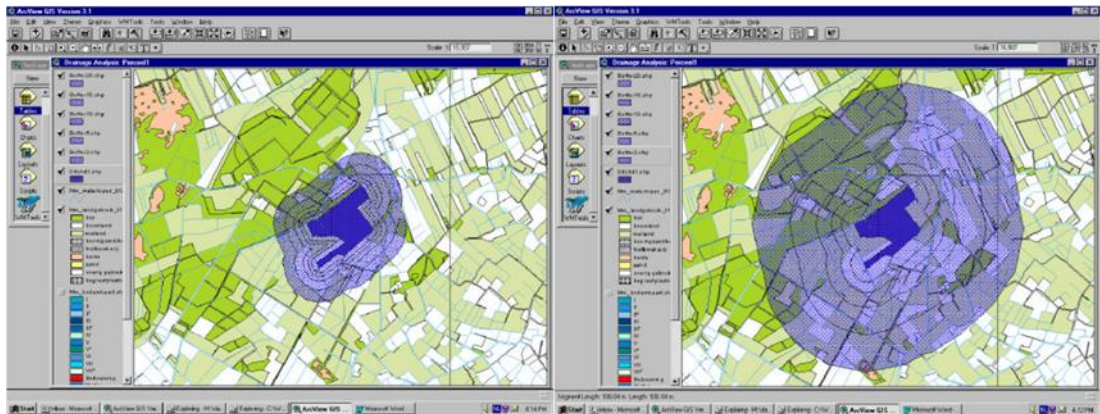
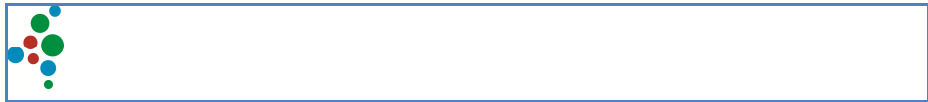


Figuur 20 Situatieschets voor een cirkelvormig gebied (naar Edelman, 1972)

Op een afstand van vier maal de spreidingslengte ( $\lambda$ ) 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  $\Delta h$  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 ( $\Delta h$ ) 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 21), 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 21 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)<sup>1</sup> Dergelijke beelden zijn ook te maken van kwelveranderingen, zowel voor de maatregellocatie als de omgeving. Met zoutinformatie uit (bijvoorbeeld) NHI volgt daaruit, via 'Δ kwel', de verandering van de zoutvracht.

Effecten en uitstralingen van maatregelen 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.

### 3.4.2 Kwantificeren uitstralings-effecten in oppervlaktewater

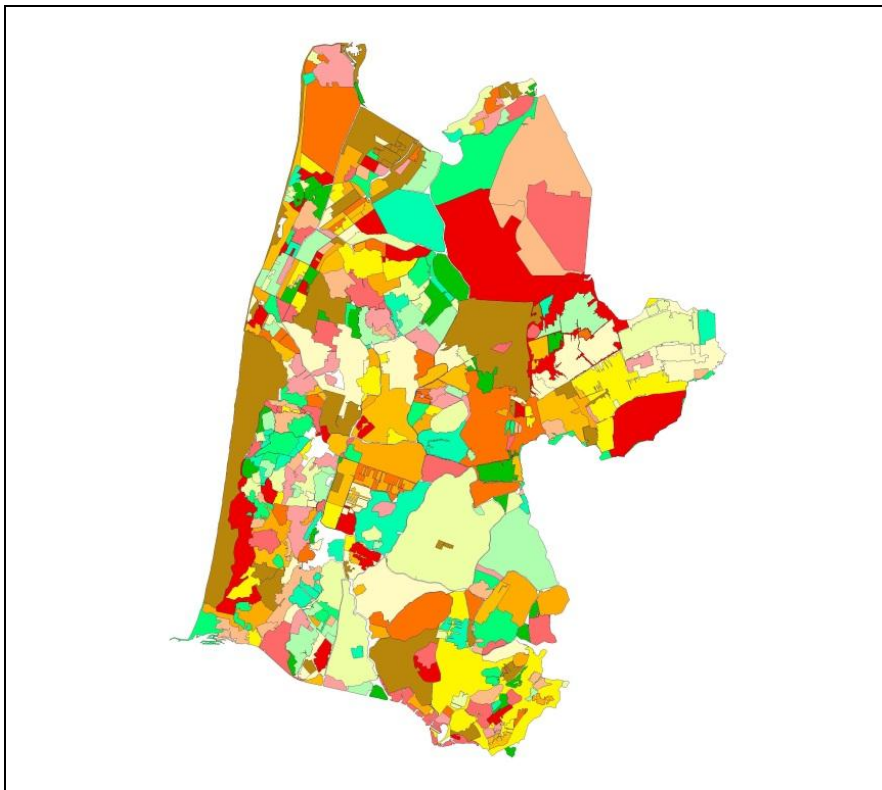
#### Algemeen

De maatregelen 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 maatregelgebied. Als bijvoorbeeld door waterconservering door middel van 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 afwartert en voor de zomer ongeveer bekend is hoe de aanvoer het gebied door-

<sup>1</sup> 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.

stroomt. Het voorstel is om uit te gaan van de Local Surface Waters (LSW's) zoals gedefinieerd voor NHI 3.0. Er is een LSW van-naar-matrix op te stellen (dus per LSW is bekend waar hij op afwatert). Via een simpele tracking-procedure is dan per LSW aan te geven wat het brongebied is en wat het benedenstrooms gebied. 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.

Om een idee te geven over de schaal waarop LSW betrekking hebben is in onderstaande figuur voor een deel van Noord-Holland de LSW's weergegeven.



Figuur 22 LSW-eenheden ('Local Surface Waters') in het beheersgebied van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

De verandering van zoutvracht naar c.q. zoutgehalte in het oppervlaktewater, als gevolg van een maatregel en de regionale uitstraling verdient speciale aandacht.

Op de maatregellocatie kunnen veranderingen optreden in de voorraad water in het oppervlaktewater aan het begin van het groeiseizoen (te relateren aan de verandering in GVO) en aan veranderingen in kwel naar het oppervlaktewater met bijbehorende zoutgehalte. De veronderstelling is dat het zoutgehalte van de kwel nauwelijks verandert. Voor maatregelen waarvoor gedurende het



groei seizoen wateraanvoer nodig is, wordt deze hoeveelheid niet gezien als een vergroting van de beschikbaarheid op de maatregellocatie zelf maar als een vermindering buiten de maatregellocatie tenzij nadrukkelijk water van buiten het gebied wordt aangevoerd (Rijnwater, Maaswater).

Gegeven de eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem (met name de inhoud als functie van de waterstand) is te berekenen hoe de beschikbaarheid van zoet water voor de landbouw verandert. Een belangrijke keuze die gemaakt moet worden, is hoe een verandering in zoutgehalte zich vertaalt in een verandering in de beschikbaarheid van zoet water. Het voorstel is dat bij overschrijden van een bepaalde zoutdrempel de hoeveelheid water die benodigd is om weer uit te komen op de oorspronkelijke zoutgehalte in mindering te brengen op de beschikbaarheid.

### 3.5 Interferentie tussen maatregelen

De gedefinieerde maatregelen kunnen elkaar in hydrologische maar ook uitvoeringstechnische zin versterken of tegenwerken. De meest voor de hand liggende interferenties zijn in onderstaande tabel aangegeven (blauw is synergie, rood is anti-synergie) maar is duidelijk niet compleet.

	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)							

De toelichting hierop is als volgt:

1. Het ligt voor de hand de maatregel 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 de 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. Een vergunning voor regelbare drainage is bij sommige waterschappen gekoppeld aan het verhogen van het streefpeil, om mogelijke verdrogingseffecten te voorkomen. *Dit is een voorbeeld van bestuurlijk gewenste compensatie en is dus geen echte synergie.*
4. RD kan last hebben van slootbodempverhoging omdat daarmee het regelbereik kan worden ingeperkt.
5. Door slootbodempverhoging worden de mogelijkheden van waterconservering door stuwen ingeperkt omdat een kleiner deel van een peilvak beheersbaar wordt.
6. Et cetera



## 4 Methodiek bepaling geschikte maatregelen & mogelijke combinaties

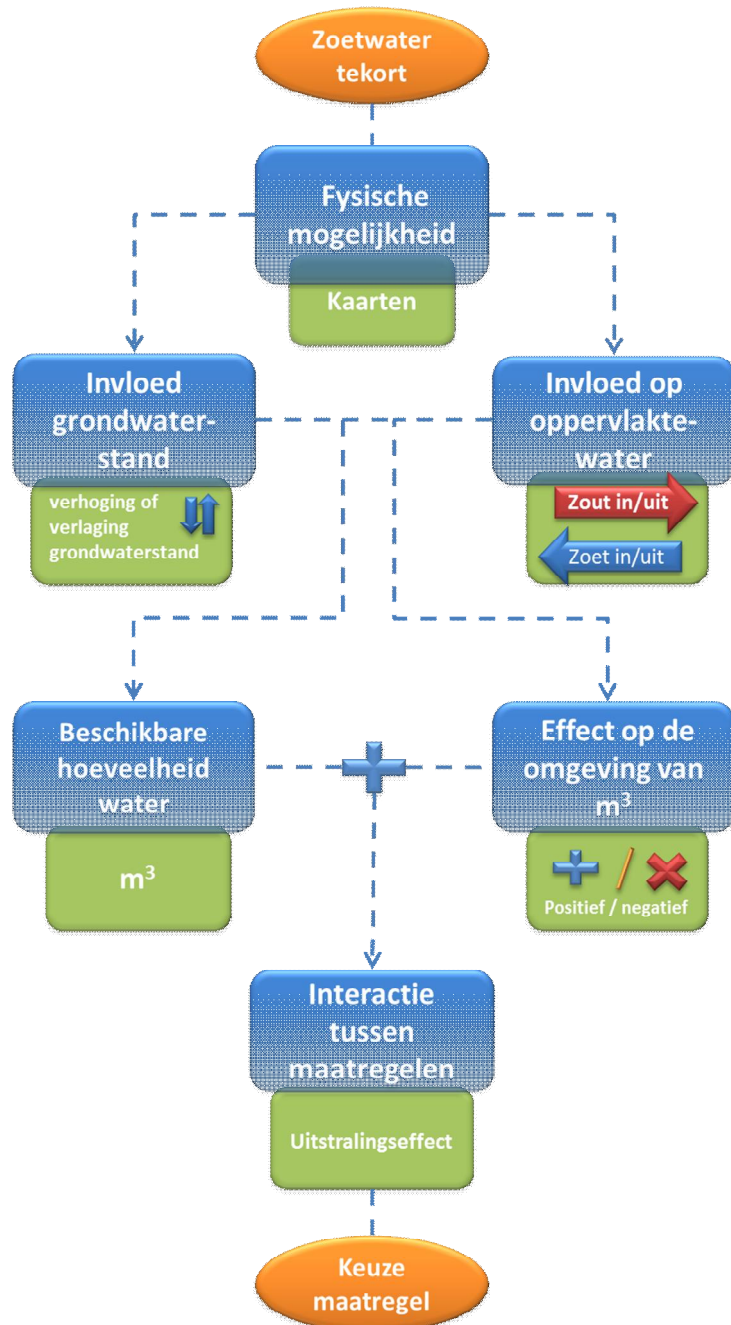
Zoals gebleken is de geschiktheid van een maatregel afhankelijk van verschillende factoren en randvoorwaarden. In voorgaande hoofdstukken zijn de verschillende onderdelen van de methodiek besproken. In dit hoofdstuk worden alle stappen die nodig zijn om de juiste afweging te maken bij elkaar gezet. Twee componenten staan centraal in dit proces, (1) de geschikte maatregelen aan de juiste plaats koppelen en een inschatting maken van hoeveel zoetwater beschikbaar kan worden gemaakt en (2) de (on)gewenste bijeffecten op de omgeving bepalen. De verschillende stappen zijn samengevat in Figuur 23 en worden in de navolgende paragrafen beknopt beschreven. Dit is een condensatie van de uitleg die in hoofdstuk 3 is opgenomen.

### 4.1 Mogelijkheden en effecten per maatregel bepalen

1. De eerste stap is het bepalen van de fysische mogelijkheid aan de hand van geschiktheidskaarten. De randvoorwaarden per maatregelen worden uitgezet tegen de fysische kenmerken. De visualisatie vindt plaats met behulp van kaarten. De kaarten verschaffen een eerste indruk van de fysische geschiktheid van een maatregel. De onderliggende informatie bepaalt de nauwkeurigheid van deze stap. Op dit moment is hierbij landelijke informatie gebruikt. Wanneer gedetailleerdere informatie beschikbaar is, kan dit worden verfijnd.
2. Wanneer duidelijk is waar een maatregel wel of niet uitgevoerd kan worden, wordt de invloed op de grondwaterstand en/of zoetwatervolume geanalyseerd. De verandering van de grondwaterstand en/of zoetwatervolume moet overeenkomen met het beoogde doel van de maatregel. Hoe groot de verandering in de grondwaterstand kan zijn, kan worden bepaald aan de hand van de beheersruimte. De verandering in zoetwatervolume hangt onder andere af van de hoeveelheid zoetwater die beschikbaar is voor actieve infiltratie.
3. Daarnaast zijn er ook maatregelen die zich expliciet richten op het oppervlaktewater. Deze technieken, zoals stuwen, leiden direct tot verhoging van het waterpeil. De maximale verandering kan worden bepaald door de beheersruimte in het grondwater om te rekenen naar een beheersruimte in het oppervlaktewater, aan de hand van gebiedskenmerken.
4. Uit de verandering in oppervlaktewaterpeilen, in grondwaterstand en in de omvang van zoetwaterlenzen, kan een gebiedsschatting worden gemaakt van de orde grootte van de hoeveelheid water die door een maatregel potentieel beschikbaar komt.

## 4.2 Bepalen van interactie met omgeving

5. Voor het combineren van verschillende maatregelen in een gebied is het van belang om het effect op de omgeving van een maatregelen te bepalen. Het uitstralingseffect van een verandering van het grondwater (oftewel de extra kwel of minder infiltratie in de omgeving) door een maatregel kan worden bepaald aan de hand van een spreidingslengte, berekend op basis van gebiedsspecifieke kenmerken van de ondergrond.
6. Maatregelen gericht op de grondwaterstand kunnen indirect het oppervlaktewater beïnvloeden. Dit effect kan variëren van extra zoet kwelwater, een vergrootte zoutvracht tot meer vraag naar aanvoer van zoet water. Deze effecten kunnen in aansluiting op bestaande modelstructuren worden bepaald voor eenheden van local surface waters (LSW's).
7. Wanneer deze effecten bij elkaar worden opgeteld kan worden geconcludeerd welk effect een bepaalde maatregel op de omgeving heeft. Bij het toepassen van meerdere maatregelen in een aangesloten gebied zal ook wederzijdse beïnvloeding optreden. Hieruit kan worden geconcludeerd welke maatregelen in een gebied elkaar kunnen versterken, en welke elkaar tegenwerken.
8. Deze informatie over de individuele maatregelen, en hun interactie geeft inzicht in welke maatregelen mogelijk zijn en hoeveel ze potentieel kunnen opleveren. Daarnaast geeft deze informatie aan waar en hoe bepaalde maatregelen de omgeving beïnvloeden. Vooral bij groot-schalige toepassing van kleinschalige maatregelen wordt dit relevant. Toepassing van deze methodiek zal informatie geven over wanneer er rekening moet worden gehouden met omgevingseffecten. Dit geeft een afwegingskader voor de verschillende maatregelen.



Figuur 23 De verschillende stappen (1 t/m 6) in de methodiek voor bepaling geschikte maatregelen, hierbij wordt onderscheid gemaakt in de fysische mogelijkheden, de effecten op de toepassingslocatie en de effecten op het schaalniveau van het gebied.

## Literatuur

- De Louw, P.G.B., 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.
- 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.
- Massop, H. Th. L., Kwakernaak, C en van Bakel, J.M.M., 2012. *Fysiske 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 veranderingen 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.
- 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.

- 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.
- 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](mailto:office@kennisvoorklimaat.nl)

Communicatie:

p/a Alterra, Wageningen UR

Postbus 47

6700 AA Wageningen

T +31 317 48 6540

E [info@kennisvoorklimaat.nl](mailto:info@kennisvoorklimaat.nl)

[www.kennisvoorklimaat.nl](http://www.kennisvoorklimaat.nl)