

Regioscan Zoetwatermaatregelen

Verkennen van het perspectief van kleinschalige
zoetwatermaatregelen voor de regionale zoetwateropgave

Joost Delsman¹, Erwin van Boekel², Stijn Reinhard³, Tine te Winkel⁴, Arnaut van Loon⁵, Ruud Bartholomeus⁵, Martin Mulder², Harry Massop², Nico Polman³, Femke Schasfoort¹

¹Deltares, ²Wageningen Environmental Research, ³Wageningen Economic Research, ⁴Acacia Water, ⁵KWR



Voorwoord

Begrippen

| Begrip | Omschrijving |
|-------------------------|--|
| Implementatiegraad | De mate waarin een (eventueel specifieke) maatregel wordt genomen binnen een deelgebied, in percentage van de in het gebied aanwezige modelbedrijven. De implementatiegraad wordt in de Regioscan vooraf opgegeven, hetzij één waarde, hetzij gespecificeerd per deelgebied, bedrijfstype en maatregel. |
| Adaptatiegraad | De implementatiegraad die optreedt als modelbedrijven een maatregel nemen boven een opgegeven waarde van de baten-kosten ratio (NBC, zie verder in begrippenlijst). Maatregelen worden doorgaans genomen wanneer de baten de kosten overtreffen (als de baten-kosten ratio positief is). |
| Deelgebied | Ruimtelijke eenheid binnen het instrument waarop resultaten worden gepresenteerd. Deelgebieden hebben een richtgrootte van zo'n 1000 ha. Een studiegebied wordt onderscheiden in verschillende deelgebieden. Voor een deelgebied geldt een implementatiegraad en worden effecten (m ³), kosten en baten (€) gesommeerd en gepresenteerd. |
| Modelbedrijf | Een virtueel bedrijf binnen een categorie van landbouwbedrijven. Categorisering op basis van type landbouw, grondsoort, ontwateringseigenschappen. De omvang van een modelbedrijf hangt af van de gemiddelde bedrijfsomvang in de regio (bijvoorbeeld 30 ha) en daarmee grofweg vergelijkbaar met het "gemiddelde" bedrijf, maar niet met bestaande bedrijven. |
| Scenario | Externe omstandigheden opgelegd aan het instrument, in de vorm van een tijdreeks van potentiële en actuele gewasverdamping, opbrengstderving en beregeningsgift per jaar per locatie. Een scenario kan verschillen in klimaatomstandigheden, landgebruik en mogelijkheden tot wateraanvoer. |
| LHM | Landelijk Hydrologisch Model. De landelijke toepassing van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium. Het LHM vormt de gegevensbron voor de hydrologische basisinformatie. |
| Verdampingsreductie | Potentiële minus actuele gewasverdamping (mm), veroorzaakt door te droge, zoute- of natte condities. |
| Opbrengstderving | Gemiste opbrengst (in kg, of aantal), door opgetreden droogte-, zout- of natschade. Opbrengstderving is in deze definitie puur gerelateerd aan waterstress, en is gedefinieerd ten opzichte van de reëel te behalen opbrengst (de opbrengst als de watersituatie goed is, gegeven desondanks optredend verlies door andere oorzaken (bemesting, oogstverlies etc.)). |
| Beregeningsgift | Het via berekening aan gewassen toegediende water (mm) om gewasverdampingsreductie te voorkomen. |
| Rekencel | Fijnste ruimtelijke rekenniveau waar op wordt gerekend, met een uniek landgebruik, bodemtype en scenario-invoer. Een modelbedrijf bestaat uit enkele rekencellen. |
| AGRICOM | Agricultural Cost Model: (eenvoudig) effectmodel om fysieke gewasschade als gevolg van gewasverdampingsreductie te bepalen. AGRICOM wordt in het instrument gebruikt om effecten van maatregelen (mm) te vertalen in €. Op termijn te vervangen door Waterwijzer Landbouw. |
| Maatregel-effect | De term maatregel-effect heeft zonder verdere precisering in het instrument altijd betrekking op het additioneel (ten opzichte van de referentiesituatie) beschikbaar komen van zoetwater voor een modelbedrijf. Een effect van een maatregel wordt daarom uitgedrukt in m ³ of mm, niet in €. De vertaling van m ³ naar € is locatieafhankelijk en wordt in het instrument wel gemaakt. |
| Maatregel-kennissysteem | Onderdeel van het instrument waarin alle locatie-onafhankelijke kenmerken van maatregelen zijn opgeslagen. Dit onderdeel is ook los te gebruiken. |
| NBC | Net Benefits-Costs-ratio, Baten-kosten ratio. De baten-kosten ratio wordt in de |

Regioscan als volgt berekend: (baten – kosten) / kosten.

Inhoudsopgave

| | |
|---|----|
| Voorwoord | 2 |
| Begrippen | 3 |
| Inhoudsopgave | 5 |
| Samenvatting..... | 10 |
| 1 Inleiding..... | 13 |
| 1.1 Watertekort en droogtegevoeligheid in Nederland..... | 13 |
| 1.2 Deltaprogramma Zoetwater en kleinschalige maatregelen | 13 |
| 1.3 Informatiebehoefte en doelstelling..... | 14 |
| 1.4 Leeswijzer..... | 15 |
| 2 Regioscan Zoetwatermaatregelen | 16 |
| 2.1 Overzicht | 16 |
| 2.1.1 Algemeen | 16 |
| 2.1.2 Kennissysteem Zoetwatermaatregelen | 16 |
| 2.1.3 Rekenmodule voor Regionale Kosten-baten- en Effectberekeningen..... | 18 |
| 2.1.4 Uitvoer Rekenmodule | 19 |
| 2.1.5 Interactieve Exceltool voor presentatie resultaten | 20 |
| 2.2 Onderdeel 1: Kennissysteem Zoetwatermaatregelen | 20 |
| 2.2.1 Maatregelen en maatregelcombinaties..... | 21 |
| 2.2.2 Effecten | 22 |
| 2.2.3 Kosten | 23 |
| 2.2.4 Baten..... | 23 |
| 2.2.5 Neveneffecten | 24 |
| 2.3 Onderdeel 2: Rekenmodule voor Regionale Kosten-baten en Effectberekeningen | 24 |
| 2.3.1 Algemeen | 24 |
| 2.3.2 Stap 1: Bereken effecten, kosten en baten van maatregelcombinaties per modelbedrijf 26 | |
| 2.3.3 Stap 2: Bepaal kansrijke maatregelcombinatie en sorteer maatregelcombinaties per modelbedrijf | 31 |
| 2.3.4 Stap 3: Bepaal implementatie- of adaptatiegraad en sommeer watergebruik, kosten, baten en neveneffecten per deelgebied | 31 |
| 2.4 Gegevensbehoefte en scenario's | 33 |
| 2.4.1 Ruimtelijke informatie | 33 |
| 2.4.2 AGRICOM metarelaties | 34 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.4.3 | Scenario's en referentiesituatie..... | 35 |
| 2.4.4 | Geïmplementeerde scenario's in Regioscan Zoetwatermaatregelen..... | 36 |
| 3 | Casestudie Anna Paulowna- en Oostpolder (Laag Nederland)..... | 38 |
| 3.1 | Inleiding | 38 |
| 3.2 | Doel..... | 39 |
| 3.3 | Aanpak casestudy..... | 40 |
| 3.3.1 | Aanpak scenario's en implementatiegraad | 40 |
| 3.3.2 | Hypothesen | 40 |
| 3.4 | Gebiedsbeschrijving..... | 41 |
| 3.4.1 | Areaal en modelbedrijven in de Anna Paulownapolder | 41 |
| 3.4.2 | Water- en bodemsysteem..... | 42 |
| 3.5 | Resultaten | 42 |
| 3.5.1 | Toepassing zoetwatermaatregelen in de polders | 42 |
| 3.5.2 | Kansrijke zoetwatermaatregelen..... | 43 |
| 3.5.3 | Invloed van klimaatverandering op baten-kostenratio van maatregelen | 43 |
| 3.5.4 | Communicatiemiddel richting agrariërs..... | 45 |
| 3.6 | Conclusies | 45 |
| 3.7 | Discussie en aanbevelingen | 46 |
| 4 | Casestudie De Raam (Hoog Nederland) | 47 |
| 4.1 | Knelpunten in de watervoorziening | 47 |
| 4.2 | Gebiedsbeschrijving..... | 49 |
| 4.3 | Regioscan Zoetwatermaatregelen | 50 |
| 4.3.1 | Aanpak | 50 |
| 4.3.2 | Prioritering maatregelen/maatschappelijke kosten-baten..... | 54 |
| 4.3.3 | Bijdrage aan regionale zelfvoorzienendheid | 55 |
| 4.3.4 | Kosten | 59 |
| 4.3.5 | Vergelijking met een regionaal hydrologisch model | 60 |
| 4.3.6 | Discussie..... | 66 |
| 4.3.7 | Conclusies en aanbevelingen | 67 |
| 5 | Casestudie Landelijke knelpuntenanalyse..... | 70 |
| 5.1 | Inleiding | 70 |
| 5.2 | Vertaling resultaten regionale cases naar landelijke KPA..... | 70 |
| 5.2.1 | Uitkomsten regionale cases | 70 |
| 5.2.2 | Lokale maatregelen ten opzichte van grootschalige maatregelen..... | 71 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 5.3 | Meenemen effecten lokale maatregelen in landelijke hydrologische modellering | 74 |
| 5.4 | De Regioscan Zoetwatermaatregelen in de landelijke Knelpuntenanalyse..... | 76 |
| 5.4.1 | Scenario definitie | 76 |
| 5.4.2 | Snelle inschatting effecten lokale maatregelen | 77 |
| 5.4.3 | Afweging lokale maatregelen in de Maatregelanalyse..... | 77 |
| 5.5 | Landelijke uitrol Regioscan Zoetwatermaatregelen..... | 77 |
| 5.6 | Berekening LHM voor maatregel regelbare drainage | 78 |
| 6 | Discussie en aanbevelingen | 81 |
| 6.1 | Reflectie op de gehanteerde methode..... | 81 |
| 6.1.1 | Kennissysteem Zoetwatermaatregelen | 81 |
| 6.1.2 | Rekenmodule voor regionale kosten-baten en effectberekeningen..... | 82 |
| 6.1.3 | Aanbevelingen voor doorontwikkeling | 84 |
| 6.2 | Aanwijzingen voor gebruik(ers)..... | 86 |
| 6.3 | Relatie tot lopende praktijkinitiatieven | 87 |
| 7 | Conclusies | 89 |
| 7.1 | Het instrument Regioscan Zoetwatermaatregelen | 89 |
| 7.2 | Bijdrage van kleinschalige zoetwatermaatregelen aan de landelijke zoetwateropgave..... | 90 |
| 8 | Bijlage A: Gebruikshandleiding Regioscan Zoetwatermaatregelen | 95 |
| 8.1 | Inleiding | 95 |
| 8.2 | Installatie benodigde hulpprogramma's..... | 95 |
| 8.3 | Installatie Regioscan Zoetwatermaatregelen | 95 |
| 8.4 | Doen van een Regioscan berekening..... | 96 |
| 8.5 | Initialisatiebestand | 96 |
| 8.6 | Directorystructuur en bestanden Regioscan | 98 |
| 8.7 | Inhoud uitvoerbestanden Regioscan..... | 99 |
| 8.8 | Uitgevoerde kaarten..... | 101 |
| 8.9 | Toegepaste coderingen | 101 |
| 9 | Bijlage B: Factsheets Zoetwatermaatregelen | 104 |
| 9.1 | Inleiding | 104 |
| 9.2 | Reguliere beregeningsinstallatie (referentiemaatregel) | 106 |
| 9.3 | Regelbare drainage..... | 108 |
| 9.5 | Drains2buffer | 112 |
| 9.7 | Kreekrug-infiltratie | 115 |
| 9.8 | Freshmaker | 118 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 9.9 | Aquifer-storage & recovery (ASR) | 121 |
| 9.10 | Spaarwater systeemgerichte drainage | 124 |
| 9.11 | Druppelirrigatie, regulier en onder ploegzool..... | 126 |
| 9.12 | Ondergrondse opslag perceelseigen water | 129 |
| 9.13 | Subinfiltratie van effluent | 131 |
| 9.14 | Referenties | 133 |
| 10 | Bijlage C: Gehanteerde methode voor het inschatten van het effect van drainagemaatregelen op transpiratiereductie | 135 |
| 10.1 | Overzicht | 135 |
| 10.2 | Aanwijzing voor gebruik | 135 |
| 10.3 | SWAP | 136 |
| 10.4 | Automatische SWAP-simulaties in R | 136 |
| 10.5 | Resultaten | 138 |
| 10.6 | Referenties..... | 139 |
| 11 | Bijlage D: AGRICOM..... | 140 |
| 11.1 | Inleiding | 140 |
| 11.2 | Beregeningskosten | 140 |
| 11.3 | Dervingsfractie | 141 |
| 11.4 | Opbrengstderving in euro's | 141 |
| 12 | Bijlage E: Aanvullende informatie casestudie De Raam (Hoog Nederland) | 143 |
| 12.1 | Gebiedsbeschrijving..... | 143 |
| 12.1.1 | Topografische ligging | 143 |
| 12.1.2 | Geohydrologische opbouw van het gebied..... | 144 |
| 12.1.3 | Bodem..... | 147 |
| 12.1.4 | Gt | 147 |
| 12.1.5 | Landgebruik..... | 147 |
| 12.1.6 | Waterhuishouding | 149 |
| 12.2 | Aantal modelbedrijven per deelgebieden | 151 |
| 12.3 | Berekening (mcC15-16) | 153 |
| 12.4 | Regelbare drainage met berekening (mc25 en 26) | 154 |
| 12.5 | Regelbare drainage met subinfiltratie (mc13 en 14)..... | 155 |
| 12.6 | Druppelirrigatie (mc23 en 24)..... | 156 |
| 12.7 | Kansrijkheidgrids | 157 |
| 12.8 | Deelgebieden | 160 |

Samenvatting

De zoetwatervoorziening van Nederland staat in toenemende mate onder druk door toenemende watervraag, verzilting, afnemende rivierafvoeren en toenemende neerslagtekorten tijdens het zomerseizoen. Daarom staan droogtemitigerende maatregelen de laatste jaren steeds meer in de aandacht. Naast aanpassingen van het watersysteem is hierbij steeds meer nadruk komen te liggen op het verminderen van de watervraag door individuele gebruikers. Met het instrument van Waterbeschikbaarheid wordt helder voor watergebruikers in hoeverre in hun zoetwatervraag kan worden voorzien. Innovatieve zoetwatermaatregelen op bedrijfsniveau kunnen de watervraag van landbouwbedrijven verminderen. Zo zijn de afgelopen jaren diverse pilotprojecten in hoog- en laag-Nederland uitgevoerd, onder andere in het kader van de onderzoeksprogramma's Kennis voor Klimaat, Spaarwater, GO-FRESH en het Deltaprogramma Zoetwater. Deze projecten hebben informatie opgeleverd over de toepassing van de maatregelen in de praktijk, wat ze (in de geteste locaties) kosten en wat ze aan zoetwater opleveren. Dit bevestigde het perspectief van kleinschalige maatregelen voor het verkleinen van de zoetwateropgave. In het rapport 'Zelfvoorzienend in Zoetwater – zoek de mogelijkheden' (Jeuken et al., 2015) is een overzicht gemaakt van de beschikbare kennis over deze maatregelen.

Waterbeheerders hebben behoefte aan informatie over de wijze waarop lokale maatregelen (het beste) kunnen bijdragen aan het oplossen van de wateropgave. Deze informatiebehoefte houdt concreet in waar welke maatregelen voor boeren interessant zijn (als inzet in gebiedsprocessen), en wat de bijdrage van deze maatregelen kan zijn aan de zoetwateropgave op regionale schaal. Daarbij zijn ook mogelijke neveneffecten van deze maatregelen van belang, zoals het effect van maatregelen op piekafvoeren, de waterkwaliteit of bodemdaling. Omdat dergelijke maatregelen in eerste instantie niet door waterbeheerders, maar door agrariërs worden genomen, is in de eerste plaats inzicht nodig in de – ruimtelijk variërende – kosten en baten van deze maatregelen.

In dit onderzoek is het instrument *Regioscan Zoetwatermaatregelen* ontwikkeld. Dit instrument beoogt waterbeheerders inzicht te geven in de ruimtelijke variatie van (1) de kosten en baten van lokale zoetwatermaatregelen, (2) de kansrijkheid van deze maatregelen gegeven deze kosten en baten. Daarnaast geeft het instrument inzicht in het perspectief van deze maatregelen in een regio als geheel en met het oog op de zoetwateropgave en eventueel andere opgaven.

De Regioscan Zoetwatermaatregelen bestaat uit een Kennissysteem Zoetwatermaatregelen en een Rekenmodule. Het Kennissysteem Zoetwatermaatregelen is een database waarin generieke maatregel informatie wordt opgeslagen, en te koppelen is aan scenario-informatie over hydrologie en landbouwbedrijven. De Rekenmodule berekent de ruimtelijk variërende effecten van maatregelen op droogte- en zoutschade, kosten en baten, zoetwatergebruik en neveneffecten en cumuleert deze voor deel- of beheersgebieden.

De huidige versie van de Regioscan Zoetwatermaatregelen bevat volgende 13 maatregelen: reguliere druppelirrigatie, druppelirrigatie 'onder de ploegzool', reguliere beregening (ter referentie), regelbare drainage, regelbare drainage met subinfiltratie, systeemgerichte drainage, drains2buffer, conventionele drainage (ter referentie), aquifer storage and recovery (ASR) in brakke aquifers, ASR in zoete aquifers, kreekruginfiltratie, freshmaker, en ondergrondse opslag van perceelseigen water. Een aantal potentievolle maatregelen, waaronder perceelsstuwjes, slootbodempverhoging en

bodemverbetering, zijn (nog) niet in de Regioscan opgenomen. Hydrologische invoer van de Regioscan Zoetwatermaatregelen is gebaseerd op modelberekeningen met het Landelijk Hydrologisch Model (versie 3.4) voor de periode 1980 – 2010 en de scenario's *Huidige situatie*, *Huidige situatie waarbij reguliere berekening niet is toegestaan*, en *Klimaat WH 2050*. Ten slotte is een tool ontwikkeld in Excel, waarmee de resultaten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen interactief gevisualiseerd kunnen worden. Unieke eigenschappen van de Regioscan Zoetwatermaatregelen zijn (1) de ontsluiting van een grote diversiteit aan maatregeleninformatie, (2) de combinatie van fysische en bedrijfseconomische rekenregels voor het genereren van regio-specifieke maatregeleninformatie waarbij agrariërs centraal staan en (3) de doorvertaling van gelokaliseerde maatregeleninformatie naar de (netto) kosten (€) en opbrengsten (m³ water) op het niveau van beheersgebieden.

De Regioscan Zoetwatermaatregelen is toegepast in twee pilotstudies, namelijk (1) de Anna Paulowna- en Oostpolder (Noord-Holland), en (2) het stroomgebied van de Raam (Noord-Brabant). Het doel van beide pilots is enerzijds het opdoen van ervaring met de toepassing van het instrument, en anderzijds het verifiëren van de uitkomsten van het instrument door vergelijking met andere gegevensbronnen. De Anna Paulownapolder en Oostpolder zijn polders in de kop van Noord-Holland. In beide polders vormt verzilting door uittredend brak grondwater een bedreiging voor de beschikbaarheid van zoetwater. In de Anna Paulownapolder zijn voornamelijk bollenteeltbedrijven gevestigd, in de Oostpolder akkerbouwbedrijven, melkveebedrijven met grasland en ook enkele bollenbedrijven. De Raam is een karakteristiek zandgebied in Noord-Brabant met vooral melkveehouderij (grasland en snijmaïs) en akkerbouw als landgebruikfuncties. De Regioscan Zoetwatermaatregelen laat zien dat onder de huidige omstandigheden een aantal maatregelen in de Anna Paulownapolder rendabel zijn voor de boeren (de bedrijfseconomische baten overstijgen de kosten). Door de hoogwaardige bollenteelt in de Anna Paulownapolder, gecombineerd met de kwetsbaarheid van de polder voor zoutschade, realiseren diverse maatregelen hoge baten. In de Oostpolder en de Raam renderen geen van de 13 maatregelen. De vermeden droogte- of (in geval van de Oostpolder) zoutschade ten opzichte van de referentiesituatie is onvoldoende om investeringen in een maatregel voor de agrariër te compenseren. Voor een belangrijk deel komt dit doordat de nieuwe maatregelen duurder zijn dan de reeds geïnstalleerde reguliere beregeningsinstallaties.

In de pilot Anna Paulowna- en Oostpolder zijn de resultaten van de Regioscan geverifieerd met kwalitatieve bevindingen uit het Spaarwater project. Deze verificatie geeft aan dat de resultaten van de Regioscan op hoofdlijnen plausibel zijn. De verwachte verschillen tussen beide polders wat betreft de rendabiliteit van maatregelen worden bevestigd, de berekende meest rendabele maatregelen komen overeen met de verwachting, en het effect van klimaatverandering uit zich conform verwachting in een toename van de rendabiliteit van maatregelen. Een kwantitatieve toetsing van de resultaten was niet mogelijk, doordat noch een regionaal hydrologisch model, noch de Spaarwater kosten-baten analyse beschikbaar was. In de case De Raam zijn de resultaten van de Regioscan vergeleken met het de vernieuwde versie van het regionale hydrologische model IBRAHYM. Dit gaf aanwijzingen dat de met de Regioscan grotere hydrologische effecten op perceelschaal berekend werden dan met IBRAHYM. Echter, door tot op heden onverklaarde grote verschillen in beregeningsgift tussen IBRAHYM en de Regioscan (LHM), konden geen conclusies worden getrokken over de validiteit van de resultaten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen. De validiteit van de

uitkomsten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen is daarmee binnen dit project nog niet naar tevredenheid kwantitatief vastgesteld.

Aan de hand van een landelijke pilot is onderzocht hoe de resultaten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen kunnen bijdragen aan de Landelijke Knelpuntenanalyse fase 2. Resultaten uit de regionale pilots laten zich niet één op één vertalen naar landsdekkende conclusies. Wel kan worden vastgesteld dat lokale maatregelen slechts onder specifieke omstandigheden rendabel zijn voor agrariërs. Deze omstandigheden laten zich karakteriseren door een combinatie van grote verdampingsreductie door droogte- of zoutschade én hoog-renderende teelten. In gebieden waar deze combinatie van omstandigheden niet voorkomt, zijn de kosten per m³ bespaard zoetwater met kleinschalige maatregelen relatief hoog, zodat ze snel hoger zijn dan de kosten van grootschalige maatregelen zoals onderzocht in fase 1 van het Deltaprogramma Zoetwater. De Regioscan biedt aanknopingspunten om effecten van lokale maatregelen mee te nemen in landelijke analyses met de Quick Water Allocation Scanning Tool (QWAST), zonder dat modelaanpassingen in het LHM nodig zijn. De Regioscan Zoetwatermaatregelen kan op een aantal manieren bijdragen aan de Landelijke Knelpuntenanalyse: in de scenariodefinitie, inschatting effect van lokale maatregelen, en door koppeling aan QWAST en LHM. Hiervoor moeten de ontbrekende maatregelen in het instrument worden geïmplementeerd, de effectendatabase landsdekkend worden gemaakt, en informatie over agrarische bedrijfstypen landsdekkend worden afgeleid.

Expertkennis is voornamelijk noodzakelijk voor een juiste interpretatie van de resultaten die met de Regioscan Zoetwatermaatregelen kan worden gegenereerd. Aanbevolen wordt de uitkomsten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen in een vervolgotraject verder te valideren, en te voorzien van een betrouwbaarheidsanalyse. Daarnaast wordt aanbevolen om (1) thans ontbrekende maatregelen op te nemen in de Regioscan, (2) maatregel-effectrelaties uit te breiden en nader te onderbouwen voor landsdekkend gebruik, (3) opgenomen maatregelgegevens verder te harmoniseren, en (4) neveneffecten waar mogelijk te kwantificeren. In verschillende lopende (praktijk)studies wordt de kennis over lokale maatregelen de komende tijd verder verbeterd; uitkomsten uit deze studies dienen terug te vloeien in de Regioscan Zoetwatermaatregelen.

1 Inleiding

1.1 Watertekort en droogtegevoeligheid in Nederland

De Nederlandse agrarische sector gebruikt jaarlijks zo'n 150 miljoen m³ grond- en oppervlaktewater voor de beregening van gewassen, en in extreem droge jaren meer dan 250 miljoen m³ (statline.cbs.nl). Deze watervraag ontstaat voor een groot deel doordat het neerslagoverschot tijdens het winterseizoen al is afgevoerd voordat de periode met een hoge watergebruik is gestart. Agrariërs benutten het beschikbare grond- en oppervlaktewater om dit faseverschil tussen wateraanbod en watervraag te overbruggen. In de praktijk betekent dit dat agrariërs hun gewassen beregenen zodra de capillaire nalevering uit grondwater onvoldoende is, c.q. de grondwaterstand te laag, om in de waterbehoefte van het gewas te voorzien.

In laag Nederland is de watervoorziening van agrariërs voor een groot deel afhankelijk van de beschikbaarheid van oppervlaktewater, dat grotendeels afkomstig is uit de rijkswateren. De verdeling van oppervlaktewater over functies wordt in tijden van waterschaarste gereguleerd op basis van de verdringingsreeks voor Rijkswateren (voortvloeiend uit de Waterwet). De beregening van agrarische gewassen staat hierbij in heel Nederland onderaan de prioriteitenladder (met uitzondering van tijdelijke irrigatie van kapitaalintensieve gewassen) en wordt daardoor als eerste geconfronteerd met watertekorten.

In hoog Nederland is de watervoorziening van agrariërs voor een groot deel afhankelijk van de beschikbaarheid van grondwater en oppervlaktewater uit de regionale systemen. De aanvoer van oppervlaktewater vanuit het hoofdsysteem is vanwege de hoogteligging vaak niet mogelijk. Grond- en oppervlaktewater uit de regionale systemen is echter niet gegarandeerd beschikbaar, doordat het waterschap beregeningsverboden uit grond- of oppervlaktewater in kan stellen om droogteschade aan andere functies, zoals natuur, en kwaliteitsverslechtering te voorkomen.

De beschikbaarheid van voldoende water voor de irrigatie van gewassen komt naar verwachting in de toekomst verder onder druk te staan als gevolg van klimaatverandering en sociaal-economische ontwikkelingen. Klimaatverandering leidt naar verwachting o.a. tot een toename van droogten. Hierdoor zal het neerslagtekort tijdens het zomerseizoen toenemen, en zullen de grote rivieren minder water afvoeren tijdens het zomerseizoen. Tegelijkertijd zal klimaatverandering een toename van de watervraag tot gevolg hebben, een trend die versterkt wordt door de toename van de teelt van kapitaalintensieve gewassen met een hoge watervraag. Doordat zowel de waterbeschikbaarheid afneemt, en de watervraag toeneemt, zullen watertekorten in de toekomst in lengte en omvang toenemen.

1.2 Deltaprogramma Zoetwater en kleinschalige maatregelen

Het Deltaprogramma Zoetwater heeft tot doel om de zoetwateropgave (het met elkaar in overeenstemming brengen van vraag en aanbod van zoetwater) gezamenlijk (overheden en gebruikers) op te pakken. Hierbij worden stapsgewijze investeringen gedaan om de aanvoer van zoetwater robuuster te maken en zoetwaterbuffers te realiseren. Naast deze grootschalige maatregelen, wordt in de voorkeursstrategie van het Deltaprogramma de verwachting geuit dat vrijwel alle regio's een bijdrage leveren aan efficiënter watergebruik, een beweging die al langer

geleden is ingezet. Voor de agrarische sector betekent dit dat individuele agrariërs maatregelen moeten nemen om hun waterverbruik voor beregening terug te dringen of te compenseren. Met deze strategie wordt beoogd om de agrarische sector robuuster voor droogte te maken.

De laatste jaren is de aandacht toegenomen voor kleinschalige maatregelen die bijdragen aan het verhogen van de zelfvoorzienendheid van agrarische bedrijven in de watervraag. Hiervoor zijn verschillende technische oplossingen in ontwikkeling, variërend in status van idee tot bewezen in de praktijk. Zo zijn de afgelopen jaren diverse pilotprojecten in hoog- en laag-Nederland uitgevoerd in het kader van de onderzoeksprogramma's Kennis voor Klimaat, Spaarwater, GO-FRESH en het Deltaprogramma Zoetwater. Deze projecten hebben o.a. informatie opgeleverd over de wijze van toepassing van lokale maatregelen in de praktijk, wat ze (in de geteste locaties) kosten en wat ze aan zoetwater opleveren. Hiermee is de verwachting gewekt dat kleinschalige maatregelen inderdaad kunnen bijdragen aan het verkleinen van de zoetwateropgave. In het rapport 'Zelfvoorzienend in Zoetwater – zoek de mogelijkheden' (Jeuken et al., 2015) is een overzicht gemaakt van beschikbare kennis met name over kosten en baten en hindernissen voor implementatie per maatregel.

Ter bevordering van de implementatie van kleinschalige zoetwatermaatregelen door agrariërs is in 2015 de Fresh Water Options Optimizer (FWOO, Hoogvliet et al, 2014) opgeleverd. De FWOO is een applicatie waarmee de fysieke geschiktheid van zeven maatregeltypen ruimtelijk inzichtelijk kan worden gemaakt. Deze applicatie geeft echter geen inzicht in de kosten-batenafweging van agrarische bedrijven, de bijdrage van de maatregelen aan de regionale zoetwateropgave en de eventuele kosten die ten laste kunnen komen voor de waterbeheerders. Deze informatie is van belang om (1) te kunnen bepalen in hoeverre de landelijke zoetwateropgave in de regio's opgelost kan worden en (2) effectieve maatregelen te kunnen selecteren die als uitgangspunt dienen voor de tweede fase van het Deltaprogramma.

1.3 Informatiebehoefte en doelstelling

Hoewel uit diverse pilots is gebleken dat lokale maatregelen perspectief bieden op een verbetering van de zelfvoorzienendheid van agrariërs in de watervraag, is het nog onduidelijk in hoeverre dergelijke maatregelen daadwerkelijk een bijdrage kunnen leveren aan de regionale zoetwateropgave. Hierbij is de opschaalbaarheid van dergelijke kleinschalige maatregelen de belangrijkste onbekende: hoe kunnen lokale maatregelen op grotere ruimtelijke schaal worden ingezet om gezamenlijk een wezenlijke bijdrage te leveren aan het verminderen van de vraag naar zoetwater voor beregening, en daarmee aan de zoetwateropgave in Nederland? Cruciale factor voor het perspectief van lokale maatregelen, c.q. de uiteindelijke implementatie graad, is investeringsafweging van de agrariër. Bij deze afweging spelen o.a. directe kosten en baten, de investeringsruimte, bedrijfsopvolging, en het sociaal netwerk van de agrariër, waarin ervaringen met innovaties aan elkaar worden doorgegeven (Van Duinen et al., 2015; Veraart et al., 2017) een rol. De afweging van een agrariër is duidelijk anders dan de maatschappelijke afweging: niet alle positieve en negatieve effecten van een maatregel komen immers terecht bij de agrariër en vice versa. De Regioscan Zoetwatermaatregelen beperkt zich tot de kosten-batenafweging; de andere aspecten worden niet beschouwd.

Om inzicht te verkrijgen in de kosten-batenafweging van agrariërs en de regionale bijdrage van bedrijfsmaatregelen aan de zoetwateropgave is de Regioscan Zoetwatermaatregelen ontwikkeld. In

dit instrument is generieke maatregeleninformatie over de toepasbaarheid, effectiviteit, kosten, baten en neveneffecten gebundeld en gekoppeld aan algemeen beschikbare geo-informatie of gangbare modeluitvoer, zodat inzicht wordt verkregen over de kosten-batenafweging van groepen individuele agrariërs. De Regioscan Zoetwatermaatregelen ontsluit beschikbare maatregeleninformatie, specificeert de kosten en baten op bedrijfsniveau en maakt de kosten-batenafweging van agrariërs inzichtelijk. Het instrument is bedoeld om voor gebieden globaal inzicht te geven in (1) de meest kansrijke maatregelen vanuit het perspectief van de agrariër, (2) de gesommeerde kosten en baten van deze maatregelen, (3) de gesommeerde afname van de watervraag en (4) een expertoordeel van diverse positieve of negatieve neveneffecten. Een basisversie van het instrument is gereed en bij wijze van "proof of concept" toegepast op twee casussen, namelijk De Raam en de Anna Paulowna- en Oostpolder. Binnen de case KPA 2.0 is vervolgens onderzocht hoe deze resultaten toepasbaar kunnen worden gemaakt voor de Landelijke Knelpuntenanalyse.

Het doel van dit rapport is om de technische achtergronden van de Regioscan Zoetwatermaatregelen en de resultaten van de drie casussen vast te leggen. Hiermee wordt het instrument beschikbaar gemaakt voor gebruikers en wordt gedemonstreerd op welke wijze inzicht verkregen kan worden in de mate waarin en wijze waarop lokale zoetwatermaatregelen bij kunnen dragen aan de regionale zoetwateropgave.

De Regioscan Zoetwatermaatregelen is openbaar toegankelijk. Een gebruikershandleiding is in Bijlage A toegevoegd.

1.4 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd. In Hoofdstuk 2 worden de achtergronden en methodische keuzes van de Regioscan Zoetwatermaatregelen beschreven. In Hoofdstuk 3 wordt de toepassing van de Regioscan Zoetwatermaatregelen voor de casus Anna Paulowna- en Oostpolder (Laag Nederland) uitgewerkt. In Hoofdstuk 4 wordt dit gedaan voor de casus De Raam (Hoog Nederland). Vervolgens wordt in Hoofdstuk 5 de bruikbaarheid van het instrument beschouwd voor toepassing bij de Landelijke Knelpuntenanalyse. Daarna komen in Hoofdstuk 6 de belangrijkste discussiepunten en aanbevelingen aan bod. Ten slotte bevat Hoofdstuk 7 een aantal conclusies met betrekking tot de toepassing van het instrument en het perspectief van kleinschalige zoetwatermaatregelen voor het oplossen van de regionale zoetwateropgave.

2 Regioscan Zoetwatermaatregelen

2.1 Overzicht

2.1.1 Algemeen

Het doel van de Regioscan Zoetwatermaatregelen is om inzicht te geven in de bijdrage van lokale zoetwatermaatregelen aan de regionale zoetwateropgave (m^3), kosten (€), baten (€) en neveneffecten. Hierbij is uitgegaan van de kosten-batenafweging van individuele agrariërs ten opzichte van de huidige of toekomstige referentiesituatie (met of zonder beregening, aanwezigheid buisdrainage). Hiervoor is gekozen omdat agrariërs de maatregelen moeten treffen en daar in meer of mindere mate profijt van zullen hebben, afhankelijk van de referentiesituatie, bijvoorbeeld reeds gedane investeringen in beregeningsinstallaties. De kosten-batenafweging van individuele agrariërs is daarmee een belangrijk uitgangspunt voor de mate waarin kleinschalige droogte-mitigerende maatregelen zullen worden geïmplementeerd. Het is belangrijk aan te geven dat de Regioscan Zoetwatermaatregelen niet geschikt is voor bedrijfsadvisering gericht op individuele agrarische bedrijven.

De Regioscan Zoetwatermaatregelen beschrijft deze kosten-batenafweging op basis van baten-kostenratio van een reeks maatregelen. De kosten zijn gerelateerd aan de investeringen en onderhoud, en zijn gebaseerd op ervaringscijfers uit pilots en praktijkproeven. De baten komen grotendeels voort uit vermeden droogte- of zoutschade op de gewasopbrengst en zijn geschat met simulaties van gewasopbrengsten op basis van Agricom. De bijdrage aan de zoetwateropgave volgt uit de verschuivende waterbron of de hoeveelheid water die nodig is voor irrigatie. Het effect van de maatregelen op de vermeden droogte- en zoutschade is geschat op basis van ervaringscijfers, vuistregels of indicatieve berekeningen voor een generieke beschrijving van de effectiviteit van maatregelen. De uitkomsten moeten daarom als indicatief worden beschouwd en zijn bruikbaar om discussies over het verhogen van de zelfvoorzienendheid van agrariërs in de watervraag te voeren.

Ten behoeve van een breed toepassingsbereik van de Regioscan Zoetwatermaatregelen is het instrument opgebouwd uit twee onderdelen, namelijk

- Onderdeel 1: Kennissysteem Zoetwatermaatregelen;
- Onderdeel 2: Rekenmodule voor regionale kosten-baten- en effectberekeningen.

Met deze opzet is het Kennissysteem Zoetwatermaatregelen onafhankelijk te gebruiken, en kunnen de kosten-batenafweging en de effecten van lokale maatregelen opnieuw of voor andere gebieden berekend worden, door de invoer van de rekenmodule te wijzigen. Om de resultaten hanteerbaar te maken en interactiever te benaderen, is tevens een Exceltoepassing voor visualisatie en nabewerking gemaakt.

2.1.2 Kennissysteem Zoetwatermaatregelen

Het Kennissysteem Zoetwatermaatregelen (KZM) bevat generieke, kwantitatieve of semi-kwantitatieve informatie over de globale effectiviteit, kosten en baten van zoetwatermaatregelen. Daarnaast zijn voor elke maatregel de neveneffecten, zoals de gevolgen voor uit- en afspoeling van stoffen, op kwalitatief niveau omschreven. Het generieke karakter van het KZM betekent dat de

maatregeleninformatie algemeen toepasbaar is en, indien relevant, op hoofdlijnen gedifferentieerd naar de maatgevende, locatie-specifieke factoren die van invloed zijn op de uitwerking van de maatregel. Voor het beoordelen of ontwerpen van maatregelen in specifieke situaties is de KZM niet geschikt en is een locatie-specifieke uitwerking noodzakelijk.

In het KZM zijn thans de 13 maatregelen opgenomen zoals weergegeven in Tabel 2.1. Tot deze maatregelen behoren ook de referentie maatregelen "reguliere beregening uit grond- of oppervlaktewater" en "reguliere drainage". Deze maatregelen zijn als referentie gekozen omdat ze tot de gangbare landbouwpraktijk behoren, en mogelijk vervangen moeten worden door andere maatregelen om de zoetwateropgave te kunnen realiseren.

Het KZM is een opzichzelfstaande database die is geïmplementeerd in Microsoft Access. De inhoud van deze database is tevens beschikbaar in de vorm van factsheets, waarin de maatregel inhoudelijk is beschreven (zie Bijlage B). In paragraaf 2.2 worden de achtergronden en totstandkoming van het KZM toegelicht.

Tabel 2.1 In de Regioscan Zoetwatermaatregelen geïmplementeerde maatregelen en hun werkingsmechanisme

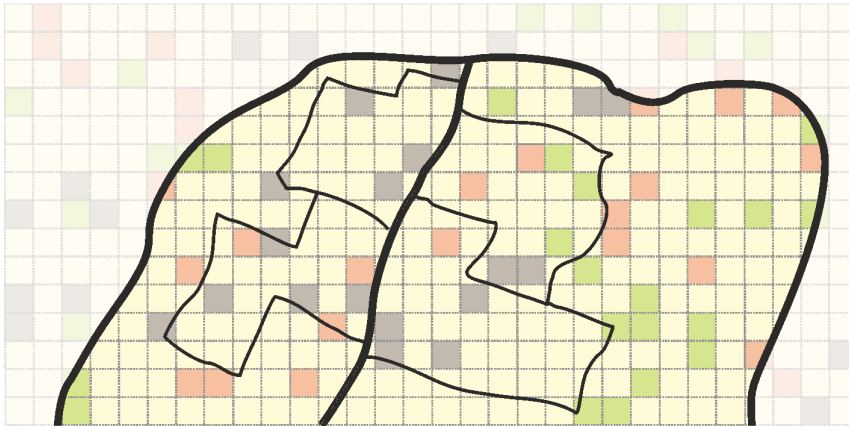
| Maatregel | Kernmechanisme | Bronnen |
|---|--------------------------------------|--|
| Druppelirrigatie op maaiveld | Efficiëntere toediening | (Waterloo et al., 2016) |
| Druppelirrigatie onder ploegniveau | Efficiëntere toediening | (Waterloo et al., 2016) |
| Regelbare drainage | Vasthouden/opslag van wateroverschot | Detailmodellering SWAP |
| Regelbare drainage met subinfiltratie | Benutting alternatieve waterbronnen | Detailmodellering SWAP |
| Drains2buffer | Voorkoming verzilting wortelzone | (Hoogvliet et al., 2014) |
| Spaarwater systeemgerichte drainage | Vasthouden/opslag van wateroverschot | (Burger et al., 2016) |
| Aquifer Storage en Recovery in zoet systeem | Vasthouden/opslag van wateroverschot | (Jeuken et al., 2015) |
| Aquifer Storage en Recovery in zout systeem | Vasthouden/opslag van wateroverschot | (Zuurbier et al., 2014) |
| Spaarwater lokale opslag en subirrigatie | Vasthouden/opslag van wateroverschot | (Burger et al., 2016) |
| Kreekruginfiltratie systeem | Vasthouden/opslag van wateroverschot | (Pauw et al., 2015) |
| Freshmaker | Vasthouden/opslag van wateroverschot | (Zuurbier et al., 2015) |
| Reguliere beregening | Referentie | Analyse LHM (De Lange et al., 2014) berekening |
| Conventioneel drainagesysteem | Referentie | Detailmodellering SWAP |

Kader 1: Modelbedrijven in de Regioscan Zoetwatermaatregelen

De Regioscan Zoetwatermaatregelen berekent de effectiviteit van maatregelen, kosten en baten per zogeheten 'modelbedrijf'. Modelbedrijven zijn virtuele bedrijven, die representatief zijn voor de verschillende in een gebied voorkomende agrarische bedrijfstypen. De modelbedrijven krijgen een

voor het gebied representatieve bedrijfsomvang en gewassamenstelling toegekend, de ligging wordt bepaald op basis van het landgebruik (Figuur 2.1).

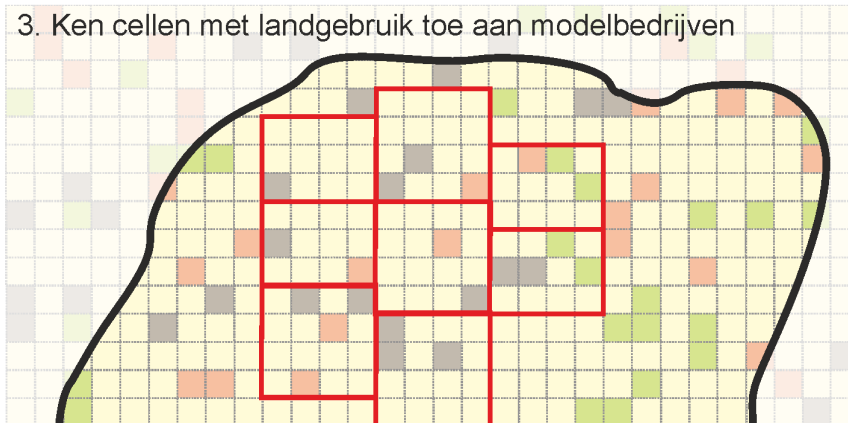
1. Welke typen agrarische bedrijven in gebied, welk landgebruik?



2. Bepaal gemiddelde areaal per landgebruik per bedrijfstype

5 akkerbouwbedrijven: 10 ha aardappelen, 5 ha graan, ...
5 melkveebedrijven: 15 ha gras, 5 ha mais, ...
et cetera

3. Ken cellen met landgebruik toe aan modelbedrijven



Figuur 2.1: Modelbedrijven in de Regioscan Zoetwatermaatregelen

2.1.3 Rekenmodule voor Regionale Kosten-baten- en Effectberekeningen

De Rekenmodule voor Regionale Kosten-baten- en Effectberekeningen (Rekenmodule) berekent de kansrijkheid van zoetwatermaatregelen op basis van de kosten-batenafweging van een groep gelokaliseerde modelbedrijven. Modelbedrijven zijn virtuele bedrijven met een voor het gebied representatieve bedrijfsomvang en gewassamenstelling (zie kader 1). De kansrijkheid is hier gedefinieerd als de mate waarin maatregelen fysiek haalbaar en kosteneffectief zijn, én bijdragen aan de regionale zoetwateropgave onder de huidige omstandigheden of toekomstscenario's. Hiertoe wordt de generieke maatregeleninformatie uit het KZM locatie-specifiek toegepast, namelijk op basis van de ligging van individuele bedrijven, het bedrijfstype, landschapskenmerken en de lokale hydrologische omstandigheden. Dit wordt gedaan door de volgende drie stappen achtereenvolgens te doorlopen:

- Stap 1: Bepalen van de fysische geschiktheid van maatregelen op basis van de Fresh Water Optimizer Options (FWOO; Hoogvliet e.a., 2014). Maatregelen op locaties die volgens FWOO fysisch ongeschikt zijn worden niet in beschouwing genomen.
- Stap 2: Bepalen van de kansrijkheid van maatregelen op basis van baten-kosten ratio (€/€) en/of bijdrage aan de zoetwateropgave (m³) op bedrijfsniveau. Hierbij wordt uitgegaan van modelbedrijven.
- Stap 3: Sommen van kosten, baten en de bijdrage aan de zoetwateropgave van de meest kansrijke maatregelen op het niveau van deelgebieden. De meest kansrijke maatregelen worden geselecteerd op basis van baten-kosten ratio en, bij gelijke baten-kosten ratio, op de bijdrage aan de regionale zoetwateropgave, totdat de gewenste implementatiegraad is bereikt. Hiermee wordt op gebiedsniveau informatie gegenereerd over het type maatregelen dat kansrijk is, de mate waarin bijgedragen kan worden aan de zoetwateropgave, welke (netto) kosten daarmee gemoeid zijn en in hoeverre bijeffecten te verwachten zijn.

De Regioscan Zoetwatermaatregelen is zo opgezet dat bij bovengenoemde stappen enkel gebruik gemaakt wordt van algemeen beschikbare GIS-kaarten en reguliere output van grondwatermodellen. Hierdoor is het instrument eenvoudig toepasbaar op andere gebieden, kunnen nieuwe berekeningen worden uitgevoerd indien de achterliggende kaartlagen zijn geactualiseerd, en kan de kansrijkheid van de maatregelen, inclusief de consequenties voor kosten, baten en waterbesparing, voor scenario's doorgerekend worden. Nadere informatie over de technische achtergronden, de rekenmethode en de gegevensbehoefte van de Rekenmodule worden in paragraaf 2.3 besproken.

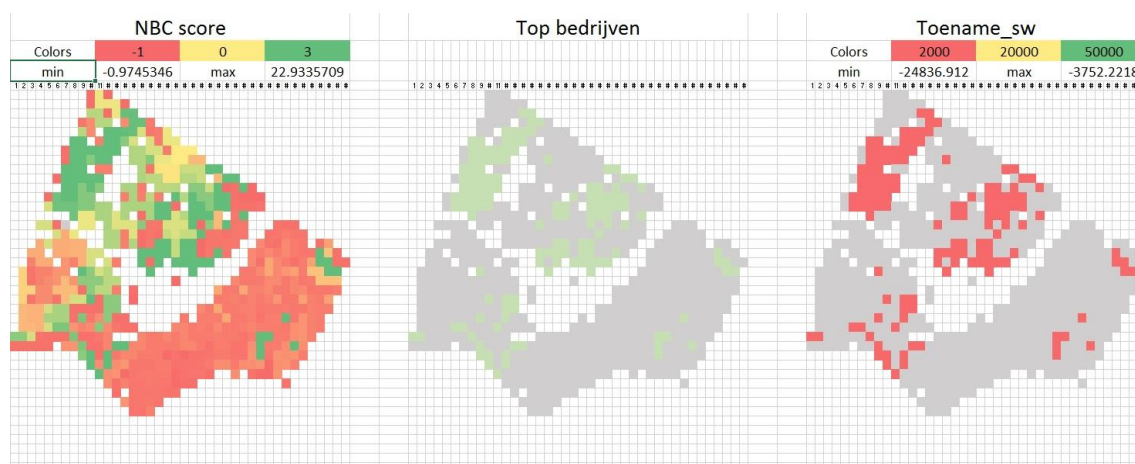
2.1.4 Uitvoer Rekenmodule

Het doel van de Regioscan Zoetwatermaatregelen is om inzicht te geven in de bijdrage van lokale zoetwatermaatregelen aan de regionale zoetwateropgave (m³), kosten (€), baten (€) en neveneffecten van lokale landbouwmaatregelen, bij een opgelegde implementatiegraad. Hiertoe wordt op basis van berekende baten-kosten ratio's van een reeks maatregelen de afwegingsbeslissing van individuele modelbedrijven in een gebied gesimuleerd, en worden de effecten over het gebied gesommeerd. De Regioscan Zoetwatermaatregelen biedt daarmee inzicht in de mate waarin lokale zoetwatermaatregelen op basis van kosteneffectiviteit opgeschaald kunnen worden en wat dat betekent voor de regionale en landelijke zoetwateropgave. Specifiek kunnen met de Regioscan Zoetwatermaatregelen de volgende resultaten worden gegenereerd:

- De waterbesparing die met lokale zoetwatermaatregelen per deelgebied kan worden gerealiseerd, uitgedrukt in m³ of mm water en afgezet tegen de kosten en baten;
- Een gebiedspecifiek overzicht van kansrijke maatregelen op basis van de kosten-batenafweging van individuele model-agrariërs;
- Een ruimtelijke weergave van de meest kansrijke maatregelen bij een opgelegde implementatiegraad, inclusief de baten-kosten ratio;
- Een overzicht van de gesommeerde kosten en baten per deelgebied voor het implementeren van de meest kansrijke maatregelen;
- Een overzicht van de neveneffecten (positief en negatief) die optreden bij implementatie van deze maatregelen.

2.1.5 Interactieve Exceltool voor presentatie resultaten

Op basis van de resultaten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen (zie paragraaf 2.3) kan de gebruiker zelf aan de slag met het visualiseren van maatregelen. Met de interactieve Excel-tool kan de gebruiker aangeven in welke mate een maatregel wordt geïmplementeerd in het gebied. Uit de lijst met maatregelen kan er één worden geselecteerd, daarna geeft de gebruiker aan welke deel (in %) van de agrariërs de maatregel zal implementeren, en welk van de hierboven genoemde resultaten (bijvoorbeeld verandering watergebruik uit oppervlaktewater) wordt weergegeven. De Excel -tool geeft de resultaten weer door middel van drie kaartbeelden (Figuur 2.2). In het linker kaartbeeld is de baten-kosten ratio (NBC score) weergegeven. Zo wordt snel inzicht verkregen in welke gebieden de baten van de geselecteerd maatregel (bijvoorbeeld “regelbare drainage subinfiltratie nieuw”) de kosten voor de agrariër overstijgen (in groen weergegeven). Het middelste kaartbeeld geeft aan waar deze maatregel goed perspectief op toepassing heeft, gegeven het opgegeven percentage van de bedrijven (met de hoogste NBC-score) dat de maatregel uitvoert. Dit percentage kan door de gebruiker eenvoudig worden veranderd. Het rechter kaartbeeld geeft het effect van de maatregel weer op de geselecteerde resultaat variabele.



Figuur 2.2 Voorbeeld van een visualisatie van de resultaten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen met de interactieve Exceltool. Links: NBC score (baten – kostenratio), midden: modelbedrijven met de hoogste NBC score en rechts: toename watergebruik vanuit oppervlaktewater bij geïmplementeerde maatregelen.

Aangezien de maatregel, implementatiegraad en resultaatvariabele via het interface eenvoudig kunnen worden aangepast in de tool, en de kaartbeelden meteen worden ververs, leent deze excel-tool zich voor interactieve sessies, bijvoorbeeld met waterbeheerder en agrariërs. Hierbij is wel goede kennis van de achtergronden en schematisaties achter de Regioscan Zoetwatermaatregelen noodzakelijk om de resultaten juist te interpreteren (zie hoofdstuk 6).

2.2 Onderdeel 1: Kennissysteem Zoetwatermaatregelen

In dit hoofdstuk wordt de opzet van het Kennissysteem Zoetwatermaatregelen (KZM) beschreven. Het KZM is een maatregel-kennissysteem dat is opgezet als een relationele database waarin locatie-

onafhankelijke eigenschappen van maatregelen worden beschreven. In deze paragraaf komen achtereenvolgens aan de orde:

- De typering van maatregelen en maatregelencombinaties;
- Effecten op het watersysteem;
- Kosten;
- Baten;
- Neveneffecten van maatregelen.

2.2.1 Maatregelen en maatregelcombinaties

De zoetwatermaatregelen zijn ingedeeld op basis van hun werkend mechanisme (Tabel 2.2), namelijk:

- Toediening: maatregelen voor het efficiënter toedienen van irrigatiewater, zodat efficiencyverliezen, zoals interceptieverdamping en verwaaiing, afnemen;
- Opslag: maatregelen waarmee perceelseigen of perceelsoverstijgende wateroverschotten worden vastgehouden of opgeslagen, ten behoeve van benutting in tijden van watertekort.
- Opslag & toediening: maatregel waarmee perceelseigen of perceelsoverstijgende wateroverschotten worden vastgehouden in de bodem, waardoor deze direct toegankelijk is voor het gewas.

Deze type maatregelen kennen verschillende berekeningswijzen in de Rekenmodule (zie paragraaf 2.3) en vormen de basis voor het samenstellen van maatregelcombinaties (Tabel 2.2). Bijvoorbeeld, een ASR-installatie voor de opslag van zoetwateroverschotten vormt altijd een combinatie met een maatregel voor de toediening van het teruggewonnen water. In de referentiesituatie met reguliere berekening kan deze toedieningsmaatregel al aanwezig zijn, en hoeft daarom niet meer te worden aangeschaft. Is thans geen sprake van reguliere berekening, of wordt gewerkt met een referentiesituatie zonder berekening, dan telt de Regioscan Zoetwatermaatregelen de kosten van de geselecteerde toedieningsmaatregel bij de kosten van de ASR op. Een maatregel als peilgestuurde drainage past niet in dit stramien: deze maatregel verenigt de bron (niet afvoeren neerslagoverschot), de opslag (verhogen grondwaterstand) en de toediening (direct beschikbaar voor wortels) in één maatregel. Het KZM bevat voor elke zoetwatermaatregelen een lijst van mogelijk te combineren maatregelen.

Tabel 2.2: Overzicht van de maatregelen en maatregelencombinaties die zijn opgenomen in het KZM van de Regioscan Zoetwatermaatregelen

| Maatregelcombinatie | Meerdere maatregelen? | Waterbron |
|--|-----------------------|--|
| Druppelirrigatie op maaiveld | | Oppervlaktewater |
| Druppelirrigatie onder ploegniveau | | Oppervlaktewater |
| Regelbare drainage | | Neerslagoverschot |
| Regelbare drainage, aangevuld met reguliere berekening | x | Neerslagoverschot, restant uit grond-/oppervlaktewater |

| | | |
|--|---|--|
| Regelbare drainage, aangevuld met druppelirrigatie | x | Neerslagoverschot, restant uit grond-/oppervlaktewater |
| Regelbare drainage met subinfiltratie | | Alternatieve waterbron |
| Drains2buffer | | Neerslagoverschot |
| Spaarwater systeemgerichte drainage | | Neerslagoverschot |
| ASR in zoet systeem, toediening met reguliere beregening | x | Neerslagoverschot |
| ASR in zoet systeem, toediening met druppelirrigatie | x | Neerslagoverschot |
| ASR in zout systeem, toediening met reguliere beregening | x | Neerslagoverschot |
| ASR in zout systeem, toediening met druppelirrigatie | x | Neerslagoverschot |
| Spaarwater lokale opslag en subirrigatie | | Neerslagoverschot |
| Kreekruginfiltratie, toediening met reguliere beregening | x | Neerslagoverschot |
| Kreekruginfiltratie, toediening met druppelirrigatie | x | Neerslagoverschot |
| Freshmaker, toediening met reguliere beregening | x | Neerslagoverschot |
| Freshmaker, toediening met druppelirrigatie | x | Neerslagoverschot |
| Reguliere beregening | | Grond- oppervlaktewater |
| Conventioneel drainagesysteem | | Neerslagoverschot |

2.2.2 Effecten

Het effect van een maatregel wordt uitgedrukt als het verschil tussen de referentie (huidige situatie of een gekozen scenario) en een situatie met maatregel. Per maatregel kan het werkingsmechanisme (opslag-toediening-opslag&toediening) anders zijn, waardoor sommige maatregelen(combinaties) direct uitgedrukt worden in additioneel mm zoetwater voor het gewas, terwijl voor andere maatregelen een andere parameter nodig is. Per type maatregel maken we hier onderscheid in (Tabel 2.3). Deze effectparameters worden gebruikt in de Rekenmodule, en verder beschreven onder paragraaf 2.3.

Tabel 2.3: Overzicht van de werkingsmechanismen en de effecten op droogteschade en zoutschade

| Werkingsmechanisme | Effectparameter droogte | Effectparameter zout |
|--------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Opslag | Efficiencyverlies opslag water | Effectpercentage zoutschade |
| Toediening | Efficiencyverlies toediening | - |

| | | |
|---------------------|--|-----------------------------|
| Opslag & toediening | Effectpercentage gewasverdamping (kennistabel) | Effectpercentage zoutschade |
|---------------------|--|-----------------------------|

2.2.3 Kosten

De vaste en lopende kosten van maatregelen zijn geschat op basis van kentallen uit de literatuur. Hierbij wordt expliciet rekening gehouden met de uitgangssituatie van het modelbedrijf (aanwezigheid van drainagesysteem, beregeningsinstallatie) en met de benodigde dimensionering van de maatregelen (zie paragraaf 2.3). Het KZM bevat voor elke maatregel kostenkengetallen als functie van de dimensies en schaal en het prijspeil van 2016. Deze kosten zijn gebaseerd op verschillende literatuurbronnen, die staan beschreven in bijlage B.

Tabel 2.4: Vaste en lopende kosten van maatregelen

| Maatregel | Vaste kosten | Vaste kosten als buisdrainage aanwezig | Lopende kosten |
|---|--|--|--|
| Druppelirrigatie op maaiveld | 675 EUR/ha | | 0 EUR/jaar/ha* |
| Druppelirrigatie onder ploegniveau | 875 EUR/ha | | 70 EUR/jaar/ha |
| Regelbare drainage | 2000 EUR/ha | 925 EUR/ha | 130 EUR/jaar/ha |
| Regelbare drainage met subinfiltratie | 7500 EUR/ha | 8500 EUR/ha | 250 EUR/jaar/ha |
| Drains2buffer | 2500 EUR/ha | 2500 EUR/ha | 2.5 EUR/jaar/ha |
| Spaarwater systeemgerichte drainage | 2300 EUR/ha | 1000 EUR/ha | 50 EUR/jaar/ha |
| Aquifer Storage en Recovery in zoet systeem | 0.5 EUR/m ³ | | 0.03 EUR/jaar/m ³ |
| Aquifer Storage en Recovery in zout systeem | 1.2 EUR/m ³ | | 0.12 EUR/jaar/m ³ |
| Spaarwater lokale opslag en subirrigatie | 11000 EUR/ha | 10200 EUR/ha | 210 EUR/jaar/ha |
| Kreekruginfiltratie systeem | 2.07 EUR/m ³ | | 0.0675 EUR/jaar/m ³ |
| Freshmaker | 2.4 EUR/m ³ | | 0.48 EUR/jaar/m ³ |
| Reguliere beregening | afhankelijk van gebruik, berekend door AGRICOM | | afhankelijk van gebruik, berekend door AGRICOM |
| Conventioneel drainagesysteem | 1250 EUR/ha | | 50 EUR/jaar/ha |

* Druppelirrigatie op maaiveld kent geen lopende kosten, omdat deze jaarlijks vernieuwd wordt, de levensduur is 1 jaar.

2.2.4 Baten

De belangrijkste baat van zoetwatermaatregelen is het verschil in opbrengst tussen het nul-alternatief en een situatie met maatregel als gevolg van de afname van de verdampingsreductie. Het effect van maatregelen is dus gericht op de afname van de verdampingsreductie. Daarnaast kunnen maatregelen additionele baten hebben voor de agrariër, bijvoorbeeld een afname van het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen doordat de ziektedruk afneemt. Wanneer deze kunnen worden

gemonetariseerd kunnen deze als additionele baat worden opgenomen bij een maatregel. Vooralnog is voor geen enkele maatregel een dergelijke baat opgenomen.

2.2.5 Neveneffecten

Het KZM bevat informatie over maatschappelijke neveneffecten van elke maatregel. Het gaat hierbij om effecten van een maatregel die niet tot uitdrukking komen in de kosten-batenafweging van de agrariër, maar wel van belang zijn voor de regionale afweging. Deze opgenomen neveneffecten zijn:

- Reductie piekafvoeren: draagt de maatregel bij aan de reductie van piekafvoeren in een gebied?
- Uitspoeling stikstof: draagt de maatregel bij aan de reductie van de uitspoeling van stikstof?
- Uitspoeling fosfaat: draagt de maatregel bij aan de reductie van de uitspoeling van fosfaat?
- Waterkwaliteit: draagt de maatregel bij aan de verbetering van de waterkwaliteit in brede zin?
- Bodemdaling: draagt de maatregel bij aan de reductie van bodemdaling?
- Verdroging: draagt de maatregel bij aan de reductie van de verdrogingsproblematiek?

Neveneffecten zijn kwalitatief gescoord, van -- tot ++. In het KZM is -- opgenomen als -2, en ++ als 2.

2.3 Onderdeel 2: Rekenmodule voor Regionale Kosten-baten en Effectberekeningen

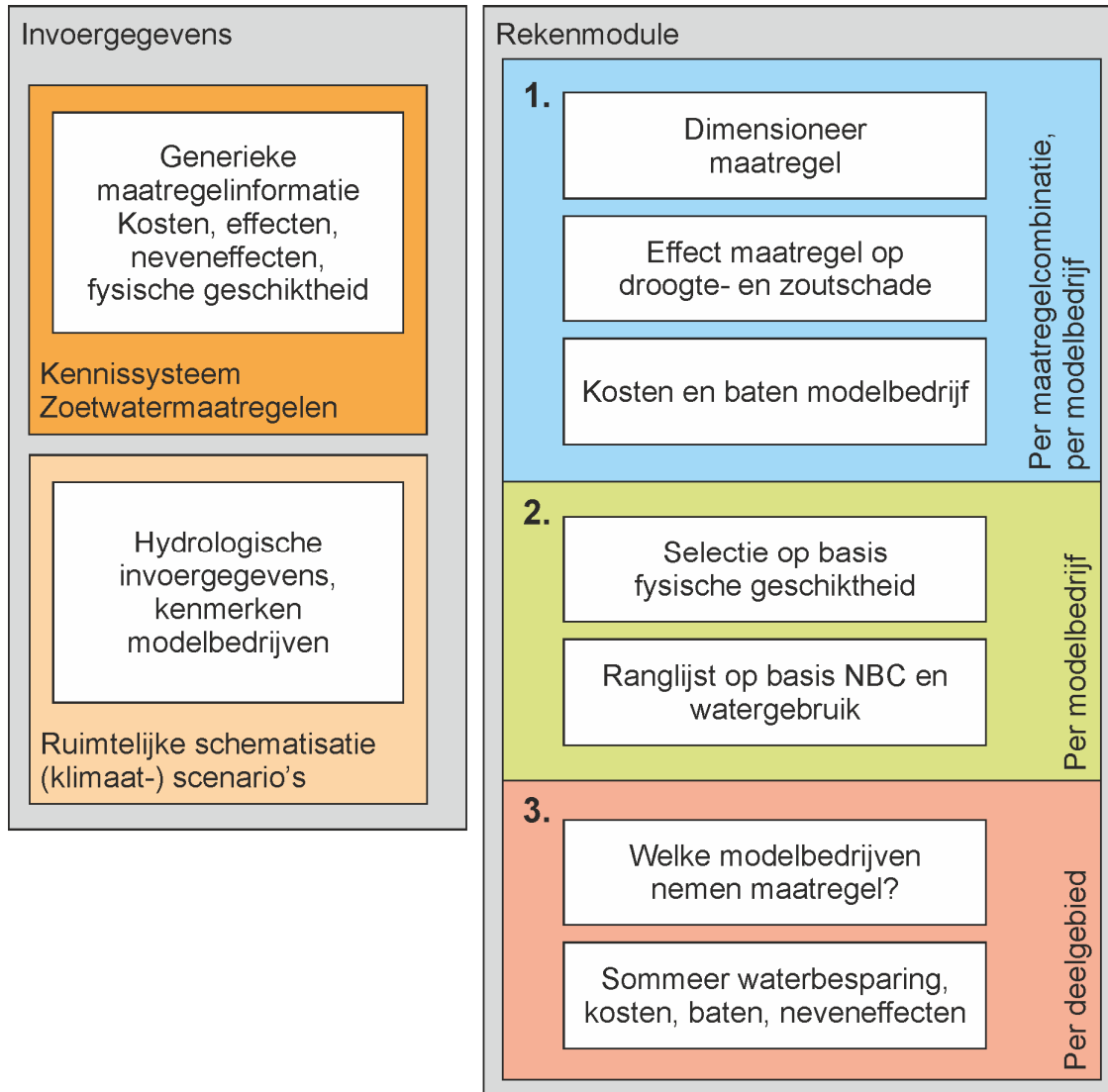
2.3.1 Algemeen

De Rekenmodule voor Regionale Kosten-baten- en Effectberekeningen is ontwikkeld om de generieke maatregeleninformatie uit het KZM een locatie-specifieke uitwerking te geven, zodat inzicht kan worden verworven in de kosten, baten en effecten van lokale zoetwatermaatregelen op het niveau van deelgebieden. Hierbij wordt uitgegaan van virtuele modelbedrijven, aangezien de informatie over werkelijke bedrijven (o.a. investeringsruimte, visie op bedrijfsvoering etc.) niet beschikbaar is op het ruimtelijke niveau waarop de Regioscan Zoetwatermaatregelen informatie genereert.

Figuur 2.3 geeft een overzicht van de werking van de Regioscan Zoetwatermaatregelen. Als uitgangspunt (invoer) van een berekening staat een gegeven scenario en gekozen implementatie- of adaptatiegraad. Een scenario bestaat hierbij uit een combinatie van klimaat, landgebruik, en wateraanvoervoorzieningen (verwerkt in hydrologisch modelresultaat), verwerkt tot een tijdreeks van verdampingsreductie en beregeningsgift per jaar per rekencel (LHM gegevens). De implementatiegraad is een door de gebruiker te kiezen percentage modelbedrijven dat een (eventueel specifieke) maatregel neemt. Hierbij kan worden gekozen of modelbedrijven de 'beste' maatregel implementeren, of dat de implementatiegraad geldt voor een specifieke maatregel. Een adaptatiegraad is een geselecteerde baten-kosten ratio (NBC) waarboven een modelbedrijf een maatregel neemt. Normaal gesproken is deze nul (kosten zijn gelijk aan de baten): neem alleen een maatregel wanneer deze meer oplevert dan hij kost.

In het instrument moet een keuze worden gemaakt met welke dimensies maatregelen worden uitgevoerd. Zowel de kosten als de verwachte baten hangen immers af van de gekozen omvang van de maatregel. Voor sommige maatregelen, bijvoorbeeld peilgestuurde drainage, is dit gerelateerd

aan het areaal van het modelbedrijf. Hierbij wordt de aanname gedaan dat de drainage op het volledige landbouwareaal van het modelbedrijf wordt uitgevoerd. Voor andere maatregelen (bijvoorbeeld een ondergrondse wateropslag) is dit gerelateerd aan de watervraag die ermee moet worden voorzien. Hierbij wordt de aanname gedaan dat de maatregel zo wordt gedimensioneerd, dat de eens in de tien jaar voorkomende verdampingsreductie ermee kan worden voorzien. Er wordt in het instrument niet iteratief gezocht naar een optimale dimensionering voor wat betreft kosten en baten.



Figuur 2.3: Schematische werking van de Rekenmodule als onderdeel van de Regioscan Zoetwatermaatregelen

De Rekenmodule simuleert op rasterbasis met een ruimtelijke resolutie van 250x250 m de afwegingsbeslissing van modelagrariërs voor het nemen van maatregelen op basis van berekende kosten-baten-verhoudingen. Hierbij worden de volgende stappen doorlopen (Figuur 2.4):

- (1) Stap 1: Bereken effecten, kosten en baten van alle maatregelcombinaties per modelbedrijf;
- (2) Stap 2: Bepaal kansrijke maatregelcombinaties en sorteer maatregelcombinatie per modelbedrijf;
- (3) Stap 3: Bepaal implementatie- of adaptatiegraad en sommeer watergebruik, kosten, baten en neveneffecten per deelgebied.

Deze stappen worden in de volgende paragrafen nader toegelicht. Aanvullende technische details over de werking van de Regioscan Zoetwater zijn in bijlage C en D van dit rapport opgenomen.

2.3.2 Stap 1: Bereken effecten, kosten en baten van maatregelcombinaties per modelbedrijf

In deze eerste stap worden de effecten, kosten en baten van de maatregelcombinaties die zijn opgenomen in het KZM voor elk modelbedrijf berekend. Hiertoe worden de volgende rekenstappen doorlopen:

- (1) Eerst wordt de maatregelcombinatie gedimensioneerd (naar benodigd watervolume of areaal) en het effect van elke maatregelcombinatie omgerekend naar extra voor het gewas beschikbaar water. Dit extra beschikbaar water varieert per jaar.
- (2) Vervolgens wordt met dit extra beschikbare water het vochttekort van het gewas aangevuld, om hiermee de verdampingsreductie en daarmee de droogteschade te verminderen. De verdampingsreductie is gedefinieerd als de gewasverdamping bij optimale vochtcondities minus de actuele gewasverdamping. Het effect van beschikbaar water op de verdampingsreductie en de uiteindelijke droogteschade is sterk afhankelijk van de periode in het jaar wanneer de verdampingsreductie optreedt. Onderdeel van de Rekenmodule zijn daarom metarelaties gebaseerd op AGRICOM berekeningen, waarin voor elk jaar de relatie wordt gelegd tussen extra beschikbaar water en de uiteindelijke droogteschade.
- (3) Vervolgens wordt de verandering van de droogte- en zoutschade met behulp van AGRICOM (Mulder en Veldhuizen, 2014) omgerekend naar opbrengstderving (eenheid €) op jaarbasis. AGRICOM staat voor AGRicultural Cost Model. Het is een economisch model dat op basis van de resultaten van een hydrologisch model voor de onverzadigde zone een aantal kosten en baten voor de landbouwsector berekent.
- (4) Ten slotte wordt voor elke maatregel de baten-kosten ratio berekend. Hierbij zijn de kosten gedefinieerd als de vaste kosten én de beheer- en onderhoudskosten (paragraaf 2.2.3). De baten van de maatregelen zijn gedefinieerd als het verschil tussen de verwachtingswaarde van de gederfde inkomsten (langjarig gemiddelde) met en zonder maatregel (nul-alternatief). Op basis van de baten-kosten ratio worden de maatregelen voor elke rekencel gesorteerd en wordt de maatregel geselecteerd met de meest gunstige baten-kosten ratio voor deze locatie.

Ad 1) Dimensionering maatregelen

De hoeveelheid zoetwater die extra beschikbaar komt door het aanleggen van een bassin of een ASR-installatie is afhankelijk van de dimensionering van deze maatregelen, en van de efficiency van de maatregel. Aangenomen is dat deze efficiency voor bassins wordt bepaald door de hoeveelheid verdamping uit het bassin, en voor ASR-installaties door de terugwinefficiency die o.a. afhankelijk is van de mate van opdrijving en afstroming van de extra zoetwatorvoorraad. Het KZM bevat kentallen over de verliestermen van beide maatregelen. In de Regioscan Zoetwatermaatregelen wordt de dimensionering van deze opslagmaatregelen bepaald op basis van het 90%-verdampingstekort over een 30-jarige periode vermenigvuldigd met de efficiencyfactor uit het KZM.

Bij maatregelen die meer zoetwater beschikbaar maken door het in de bodem op te slaan en direct beschikbaar te maken aan het gewas (onder meer peilgestuurde drainage) is het niet mogelijk om met een enkel getal de hoeveelheid extra beschikbaar water te bepalen. Het effect van dergelijke maatregelen is namelijk sterk afhankelijk de bodemsoort, het grondwaterregime, de drainage eigenschappen van het perceel en de bewortelingsdiepte. Daarom is de relatie tussen het effect (uitgedrukt in m³ extra grondwater en bodemvocht) en de baten (uitgedrukt in verdampingsreductie) van drainagemaatregelen uitgedrukt als functie van de gemiddelde grondwaterstand in het perceel. Deze relatie is getypeerd met behulp van een reeks SWAP-simulaties en vervolgens beschreven op basis van repro-functies waarmee het algemene patroon in de SWAP-resultaten wordt beschreven. Het KZM bevat repro-functies voor conventionele drainage (referentiemaatregel), regelbare drainage en regelbare drainage met subirrigatie voor verschillende gewassen op verschillende bodemtypen. Aanvullende informatie over de achterliggende aannames en methode worden in Bijlage C beschreven. NB Met de Regioscan Zoetwatermaatregelen worden de effecten van maatregelen niet geïntegreerd met het onderliggende hydrologische model doorgerekend. De koppeling tussen rekencel en de locatie-specifieke effecten van een maatregel wordt voorafgaand aan de berekening met het instrument gemaakt.

Ad 2) Bepalen verandering verdampingsreductie

In de Regioscan Zoetwatermaatregelen worden verschillende benaderingen gehanteerd voor het berekenen van de verdampingsreductie (Tabel 2.5). Voor regelbare drainage en sub-infiltratie is de verdampingsreductie berekend op basis van metarelaties die zijn afgeleid van detailberekeningen met de hydrologische modelcode SWAP (van Dam et al., 2008; zie bijlage C). Omdat de basisprincipes van SWAP afwijken van het LHM, zijn deze resultaten echter niet direct bruikbaar voor het bepalen van de maatregeleffecten. Om het verschil in berekende verdampingsreductie te overbruggen, kiezen wij ervoor om uit te gaan van de met SWAP berekende verhouding tussen de verdampingsreductie voor de bestaande situatie en die voor de maatregelsituatie. Deze procentuele verandering in de verdampingsreductie wordt gebruikt om de oorspronkelijke modelinvoer aan te passen. Deze maatregelen kunnen worden gecombineerd met een toepassingsmaatregel (reguliere berekening of druppelirrigatie). Het (na procentuele aanpassing) overblijvende verdampingstekort wordt dan volledig aangevuld door additionele berekening uit grond- of oppervlaktewater.

Voor de maatregelen waarbij een ondergrondse buffer wordt ingericht en aangesproken (ASR, Kreekruginfiltratie en Freshmaker), wordt deze buffer gedimensioneerd op basis van de watervraag die met een herhalingsdij van tien jaar optreedt. In deze watervraag worden efficiencyverliezen bij

toediening verdisconteerd. Voor negen van de tien jaar treedt geen droogteschade meer op, in een droger jaar treedt alleen droogteschade op als de buffer volledig is aangesproken.

Wanneer toepassingsmaatregelen op zichzelf worden toegepast, dus niet in combinatie met een andere maatregel, dan wordt het verdampingstekort van het gewas volledig aangevuld door beregening, en treedt er geen droogteschade op. De hoeveelheid water die aan grond- of oppervlaktewater wordt onttrokken is dan gelijk aan het verdampingstekort gedeeld door de efficiëntie van de toedieningsmaatregel. Deze is voor druppelirrigatie beduidend hoger dan bij reguliere beregening, de watervraag bij druppelirrigatie is dan ook duidelijk minder.

Tabel 2.5: Overzicht van de methodes die ten grondslag liggen aan bepalen van de verdampingsreductie gerelateerd aan maatregelen.

| Maatregel | Methode voor bepalen verdampingsreductie |
|---|--|
| Druppelirrigatie op maaiveld | Opgeheven door toediening water onttrokken aan opslagmaatregel, of aan grond- of oppervlaktewater |
| Druppelirrigatie onder ploegniveau | Opgeheven door toediening water onttrokken aan opslagmaatregel, of aan grond- of oppervlaktewater |
| Regelbare drainage | Reprofuncties afgeleid van een reeks SWAP-modellen |
| Regelbare drainage met subinfiltratie | Reprofuncties afgeleid van een reeks SWAP-modellen |
| Drains2buffer | Geen effect op verdampingsreductie, maatregel heft zoutschade volledig op |
| Spaarwater systeemgerichte drainage | Reprofuncties afgeleid van een reeks SWAP-modellen |
| Aquifer Storage en Recovery in zoet systeem | Grotendeels opgeheven door een opslagvoorziening te realiseren die volstaat tot 10% droogste jaren. In de droogste 10% jaren wordt het verdampingstekort aangevuld tot de buffergrootte. |
| Aquifer Storage en Recovery in zout systeem | Grotendeels opgeheven door een opslagvoorziening te realiseren die volstaat tot 10% droogste jaren. In de droogste 10% jaren wordt het verdampingstekort aangevuld tot de buffergrootte. |
| Spaarwater lokale opslag en subirrigatie | Reprofuncties afgeleid van een reeks SWAP-modellen |
| Kreekruginfiltratie systeem | Grotendeels opgeheven door een opslagvoorziening te realiseren die volstaat tot 10% droogste jaren. In de droogste 10% jaren wordt het verdampingstekort aangevuld tot de buffergrootte. |
| Freshmaker | Grotendeels opgeheven door een opslagvoorziening te realiseren die volstaat tot 10% droogste jaren. In de droogste 10% jaren wordt het verdampingstekort aangevuld tot de buffergrootte. |
| Reguliere beregening | Opgeheven door toediening water onttrokken aan opslagmaatregel, of aan grond- of oppervlaktewater |
| Conventioneel drainagesysteem | Reprofuncties afgeleid van een reeks SWAP-modellen |

Ad 3) Berekenen verandering opbrengstderving

Per jaar wordt per rekencel het hydrologisch effect van de maatregel doorvertaald in een vermindering van de verdampingsreductie voor dat jaar. Het gaat daarbij om een extra aantal mm zoetwater dat beschikbaar is (bron of opslag), en beschikbaar wordt gemaakt aan het gewas (toediening). Daarbij wordt rekening gehouden met efficiëntieverliezen in de keten (bijvoorbeeld door verwaaiing bij beregening). Watertekort op verschillende momenten in het groeiseizoen zorgt voor een verschillende mate van derving voor gewassen, afhankelijk van het groeistadium. Hier wordt rekening mee gehouden door in de voorbereiding de relatie tussen verdampingsreductie en derving per decade op te slaan. Het effect van een maatregel moet daarom over het jaar verdeeld worden. Voor opslagmaatregelen wordt het water in de buffer gedurende het jaar aangesproken. Pas aan het einde van het groeiseizoen, als de buffer leeg is geraakt, treden tekorten op. Voor de opslag

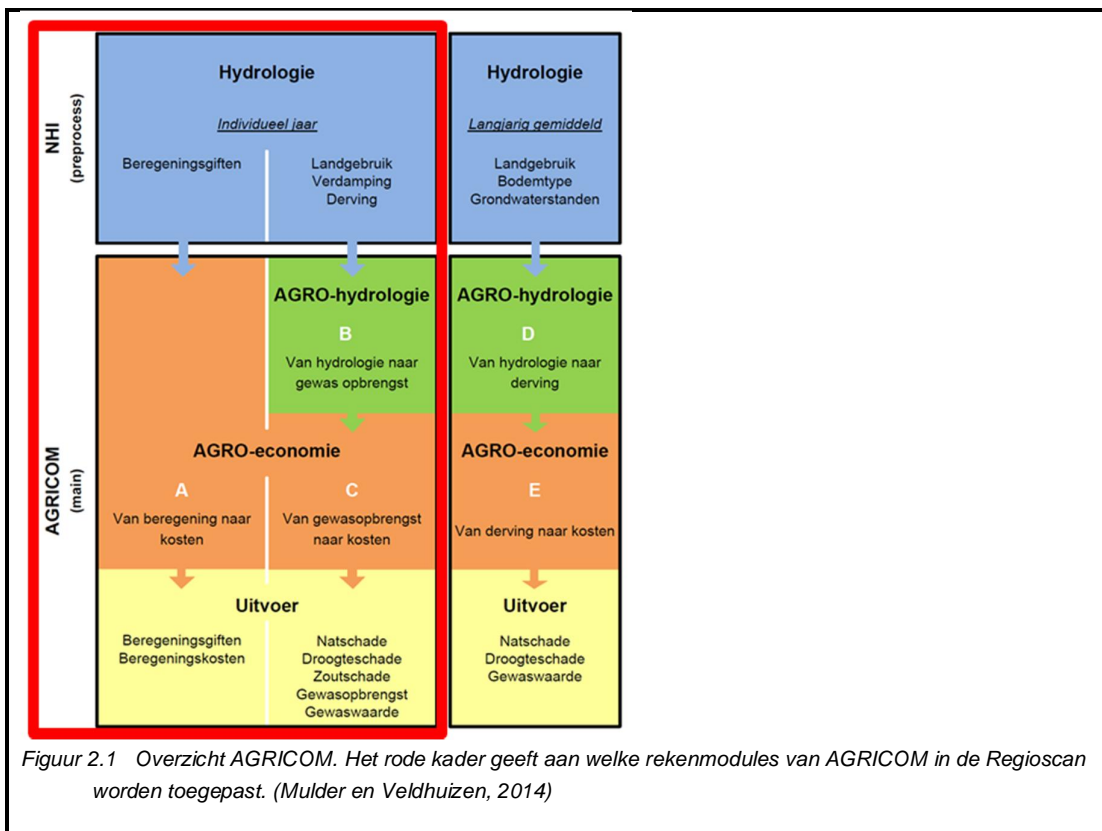
& toedieningsmaatregelen (regelbare drainagevarianten) wordt het (procentuele) effect van een maatregel gelijk over het jaar verdeeld.

Per decade wordt het maatreegeffect toegepast op de in de voorbereiding bepaalde mm's verdampingsreductie, en wordt de derving vermindert. Wanneer er in de referentiesituatie in een jaar meer verdampingsreductie optreedt dan de maatregel kan leveren, treedt restschade op. Wanneer de maatregel meer levert dan nodig, is de verdampingsreductie en daarmee de derving nul. Het effect kan ook zijn opgeslagen als procentuele vermindering van de verdampingsreductie. Deze vermindering wordt dan aan de tijdreeks opgelegd. Met AGRICOM (Kader 2 en Bijlage D) wordt vervolgens de overblijvende cumulatieve verdampingsreductie per jaar vertaald in een opbrengstderving per jaar in euro's. Over de jaren van de tijdreeks heen wordt de verwachtingswaarde van de opbrengstderving bepaald. De vermindering van deze verwachtingswaarde ten opzichte van de referentiesituatie is de baat.

Kader 2: AGRICOM in de Rekenmodule voor Regionale Kosten-baten en Effectberekeningen

De analysemodule van het Agricultural Cost Model (AGRICOM) bestaat uit grofweg uit twee onderdelen: het bepalen van de schadefractie en het bepalen van de gewasopbrengst. Per jaar wordt op basis van de verdampingsreductie op decadebasis als gevolg van te droge of te zoute omstandigheden een inschatting gemaakt van de dervingsfractie. Aan de hand van de cumulatieve potentiële verdamping, verdampingsreductie en de dervingsfractie kan vervolgens een vertaling worden gemaakt in de opbrengst (in kg, of stuks) van een gewas. Deze opbrengst wordt vervolgens middels gewasprijzen vertaald in een opbrengst in euro's voor een gewas. De gewasprijzen zijn gebaseerd op informatie uit de periode 1999 en 2008 en weergegeven in prijspeil 2008. AGRICOM is in 2009 geactualiseerd en er is een koppeling gelegd met het LHM. AGRICOM sluit daarmee aan op berekeningsresultaten van het LHM.

De jaarlijkse rekenmethode van AGRICOM sluit erg goed aan bij het instrument Opschalen lokale zoetwatermaatregelen. AGRICOM wordt daarom een integraal onderdeel van de berekeningsmethode en wordt één-op-één gekoppeld aan het instrument. AGRICOM verzorgt in het instrument de vertaling van verdampingsreductie naar kosten/baten, en berekent ook de kosten van beregeningsinstallaties. De prijzen in Agricom worden geactualiseerd en uitgedrukt in prijspeil 2016. Een nadere toelichting op de rekenstappen van Agricom wordt in Bijlage D gegeven.



Ad 4) Bepalen baten-kostenratio

Per modelbedrijf wordt de verhouding tussen kosten en baten per maatregel bepaald, en uitgedrukt in de NBC waarde (Net Cost Benefit ratio). De NBC wordt berekend als: $(\text{baten} - \text{kosten}) / \text{kosten}$. Zowel de baten als kosten zijn bepaald als het verschil ten opzichte van de referentiesituatie. De baten omvatten de verandering in opbrengst ten opzichte van de referentiesituatie, eventuele additionele baten van de genomen maatregelen, en indien toepasselijk vermeden kosten voor het gebruik van beregeningsinstallatie. De kosten omvatten de investeringskosten en lopende kosten van de genomen maatregelen. Zowel de kosten als de baten zijn geïndexeerd, met een discontovoet van 1%. Voor deze lage discontovoet is gekozen om kosten die eerst worden gemaakt, te kunnen vergelijken met baten in latere jaren. (De indexatie gebeurt via een discontovoet, die weergeeft in hoeverre mensen een voorkeur hebben voor een euro vandaag boven een euro volgend jaar). In de Regioscan Zoetwatermaatregelen is als vereenvoudiging aangenomen dat de maatregelen in het eerste jaar worden genomen (in de praktijk worden ze geleidelijk doorgevoerd). De baten worden vooral gegenereerd in droge jaren. De volgorde van droge jaren bepaalt daardoor de NBC-waarde. Om het effect van deze aannames beperkt te houden is met een discontovoet van 1% gerekend. Dit is lager dan de discontovoet (met risico-opslag) die wordt gebruikt bij MKBA's van overheidsprojecten.

Of het financieel haalbaar is dat een agrariër een maatregel neemt is onder andere afhankelijk van zijn investeringsruimte. Deze wordt bepaald door het eigen vermogen van een agrariër en zijn leencapaciteit. Veel agrariërs hebben bijvoorbeeld (hoge) schulden, waardoor hun investeringsruimte beperkt is. De investeringsruimte van agrariërs wordt vooralsnog niet

meegenomen. Naast de financiële afweging spelen er vele andere factoren mee die bepalen of een maatregel wordt geïmplementeerd, zoals de droogterisico-perceptie van de agrariër. Ook deze factoren worden niet meegenomen.

2.3.3 Stap 2: Bepaal kansrijke maatregelcombinatie en sorteer maatregelcombinaties per modelbedrijf

Wanneer alle maatregelcombinaties zijn doorgerekend, wordt per modelbedrijf een rangorde bepaald van meest kansrijke maatregelen. Een eerste stap hierin is alleen de maatregelen te selecteren die fysisch geschikt zijn op de betreffende locatie. Hierbij worden twee klassen gehanteerd, namelijk "ongeschikt" en "geschikt". In de Rekenmodule worden direct opgegeven kaarten gebruikt van de fysieke geschiktheid van maatregelen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de resultaatkaarten uit de FWOO studie, aangevuld met kaarten voor de niet in de FWOO opgenomen maatregelen. Deze kaarten zijn in deze studie gemaakt op basis van literatuur en ervaringscijfers. In de FWOO worden meerdere geschiktheidsklassen gehanteerd, deze worden in de Regioscan samen genomen.

Vervolgens worden de overgebleven maatregelcombinaties gesorteerd op baten-kosten ratio (NBC) en, bij gelijke NBC, op watergebruik. Andere (neven)effecten spelen hierbij geen rol. De achterliggende gedachte hierbij is dat de keuze voor een maatregel door een agrariër alleen wordt gestuurd door de kosten en baten die aan de agrariër toevallen.

2.3.4 Stap 3: Bepaal implementatie- of adaptatiegraad en sommeer watergebruik, kosten, baten en neveneffecten per deelgebied

Na de twee voorgaande stappen is voor elk modelbedrijf bekend welke maatregelcombinatie het meest kansrijk is (gunstigste baten-kosten ratio). In deze stap wordt eerst bepaald welke van de modelbedrijven deze meest kansrijke maatregel ook daadwerkelijk gaan implementeren, en wat dit vervolgens voor het deelgebied als geheel oplevert (in Kader 3 wordt een toelichting op de onderscheiden ruimtelijke schaalniveaus gegeven). Hiervoor worden eerst de meest kansrijke maatregelen per modelbedrijf binnen het deelgebied gesorteerd op kansrijkheid (hoogste NBC, vervolgens laagste watergebruik). Vervolgens zijn een drietal mogelijkheden beschikbaar:

1. Eén enkele implementatiegraad. De implementatiegraad is het percentage modelbedrijven dat de voor hen meest kansrijke maatregel neemt. Deze implementatiegraad wordt door de gebruiker vooraf ingegeven. Binnen een deelgebied worden de meest kansrijke maatregelen genomen tot aan de implementatiegraad.
2. Een gedifferentieerde implementatiegraad. De implementatiegraad kan ook vooraf door de gebruiker worden gespecificeerd per deelgebied, per bedrijfstype en per maatregelcombinatie. Voor elke combinatie van deelgebied, bedrijfstype en maatregelcombinatie worden de meest kansrijke maatregelen genomen tot aan de implementatiegraad.
3. Adaptatiegraad. De adaptatiegraad is het percentage modelbedrijven dat 'autonoom' een maatregel neemt, afhankelijk van de kansrijkheid. Hierbij is niet een vooraf opgegeven implementatiegraad leidend, maar de kansrijkheid zelf. Zo kunnen alleen de maatregelen worden genomen die meer opleveren dan ze kosten.

Afhankelijk van deze wordt de meest kansrijke maatregelcombinatie per modelbedrijf wel of niet geïmplementeerd.

Per deelgebied worden vervolgens het watergebruik uit grond- en oppervlaktewater, kosten, baten en neveneffecten van de geïmplementeerde maatregelcombinaties gesommeerd. Dit gebeurt als volgt:

- Van elke maatregelcombinatie is bekend:
 - o Het watergebruik uit grondwater en oppervlaktewater (m^3);
 - o Het verschil in watergebruik ten opzichte van de referentie (m^3);
 - o De kosten van de maatregelcombinatie (€);
 - o De baten van de maatregelcombinatie (ten opzichte van de referentie) (€);
 - o De kwalitatieve score op de neveneffecten reductie piekafvoeren, waterkwaliteit, uitspoeling N, uitspoeling P, verdroging en bodemdaling (+/-).
- Elke modelbedrijf behoort tot een vooraf gedefinieerd bedrijfstype.
- Voor de modelbedrijven waar een maatregelcombinatie wordt geïmplementeerd, worden deze termen voor alle modelbedrijven van een bepaald bedrijfstype binnen een deelgebied gesommeerd.
- Ten slotte worden de termen voor alle bedrijfstypen binnen een deelgebied gesommeerd.

Het betreft in deze stap eenvoudige sommaties, de termen worden als optelbaar beschouwd. De Rekenmodule gaat hier voorbij aan onderlinge beïnvloeding van de effecten van maatregelen. Deze beïnvloeding is er in werkelijkheid in zekere mate natuurlijk wel, denk hierbij bijvoorbeeld aan hydrologische effecten die verder reiken dan de perceelschaal, en schaaffecten in kosten en baten.

Kader 3: Schaalniveaus in de Regioscan Zoetwatermaatregelen

In de Regioscan Zoetwatermaatregelen worden vier schaalniveaus onderscheiden.

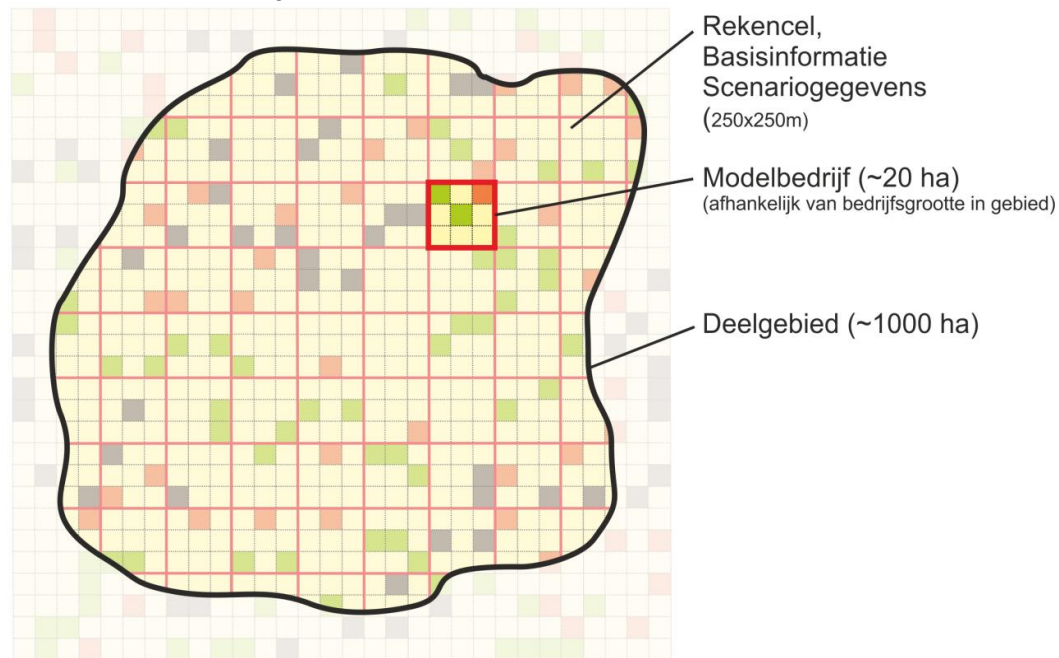
Het eerste en laagste schaalniveau is de rekencel, dat aansluit bij het ruimtelijke detailniveau van het LHM, 250x250m. Op dit niveau is de hydrologische informatie beschikbaar voor verschillende scenario's. Op dit niveau wordt bepaald wat de potentiële gewasverdamping is en de opgetreden verdampingsreductie en worden de door verdampingsreductie gederfde inkomsten bepaald (AGRICOM resultaten). Interpretatie van de resultaten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen op dit schaalniveau is vanwege het generieke karakter van de achterliggende rekenmethodes ongewenst.

Het tweede, hogere schaalniveau is dat van het modelbedrijf. Modelbedrijven representeren verschillende categorieën bedrijven in een gebied, maar zijn wel locatie-gebonden. Modelbedrijven kennen een grootte die overeenkomt met de voor een gebied karakteristieke areaalgroottes van categorieën modelbedrijven. Modelbedrijven beslaan daarmee een aantal rekencellen. Op het niveau van modelbedrijven worden maatregelen genomen, die voor het gehele areaal van het modelbedrijf gelden. Modelbedrijven vormen het laagste schaalniveau waarop interpretatie van de resultaten gewenst is

Het derde schaalniveau is dat van de modelbedrijf-categorie. Dit zijn de modelbedrijven van een bepaalde categorie (akkerbouw op zand, droog etc.) die voorkomen in een deelgebied. Dit niveau speelt geen rol in de berekening, maar wel in de presentatie van resultaten. Per categorie van modelbedrijven wordt gepresenteerd welke maatregelen hoe vaak wordt genomen, tegen welke kosten en baten.

Het vierde en hoogste schaalniveau dat wordt onderscheiden is het deelgebied. Deelgebieden zijn gebieden die geografisch onderscheiden worden en een omvang hebben van rond de 1000 ha. In de rekenwijze speelt het deelgebied een rol omdat de implementatiegraad per deelgebied wordt

opgelegd. Dit houdt in dat per deelgebied wordt afgewogen waar welke maatregelen het beste kunnen worden genomen, om aan de opgegeven implementatiegraad te komen. Daarnaast kunnen resultaten per deelgebied worden gepresenteerd: per deelgebied wordt de bijdrage aan de zoetwateropgave verwacht kunnen worden, welke neveneffecten daarbij optreden en tegen welke kosten / batenverhouding.



Figuur 2.4: Overzicht van de schaalniveaus in het instrument.

2.4 Gegevensbehoefte en scenario's

2.4.1 Ruimtelijke informatie

De Regioscan Zoetwatermaatregelen vereist voor elk scenario tijdsafhankelijke, ruimtelijk gedistribueerde modelinput, namelijk:

- (1) tijdreeksen van de cumulatieve potentiële en actuele gewasverdamping per jaar, hier berekend op basis van LHM;
- (2) optredende droogte- en zoutschade per jaar, berekend met AGRICOM (Bijlage D);
- (3) cumulatieve beregeningsgift uit grond- en oppervlaktewater per jaar, berekend met LHM;
- (4) water- en zoutbalansposten wortelzone.

Als invoer voor de Regioscan dienen zowel de daadwerkelijke referentiesituatie (met de berekening zoals deze heeft plaatsgevonden), als de situatie zonder berekening. Immers, de laatste is de hydrologische situatie waarvan uitgegaan wordt als het effect van een maatregel in plaats van een reguliere beregeningsinstallatie wordt berekend. Voor de berekening van kosten en baten ten opzichte van de referentiesituatie wordt dan weer uitgegaan van de referentiesituatie mét berekening.

De situatie zonder berekening wordt in een voorbereidingsstap teruggerekend uit de referentiesituatie. Hierbij worden de LHM-resultaten op decadebasis gebruikt, niet de jaartotalen.

De optredende verdampingsreductie als er geen berekening had plaatsgevonden wordt verondersteld gelijk te zijn aan de daadwerkelijk opgetreden verdampingsreductie (vaak is deze in beregende rekencellen nul), plus de beregeningsgift, gecorrigeerd voor allerlei verliezen. Deze verliezen omvatten toedieningsverliezen tussen het oppompen en het toedienen aan het gewas door verwaaiing en besproeiing van onbeplant oppervlak. Ook omvatten deze interceptieverdamping (berekening die van bladoppervlak verdampt) en verliezen naar drainage of het diepe grondwater. Deze verliezen bedragen gemiddeld 50% van het aan het grond- of oppervlaktewater onttrokken beregeningswater.

Daarnaast vereist de Regioscan Zoetwatermaatregelen voor elk scenario een aantal tijds-onafhankelijke, ruimtelijke gedistribueerde inputbestanden (kaartlagen), namelijk

- Indeling van het gebied in deelgebieden;
- Ligging van de modelbedrijven (toegekend op basis van areaal en landgebruik, elk modelbedrijf mag zich maar in één deelgebied bevinden);
- Bedrijfstype van de modelbedrijven;
- Het landgebruik voor het aggregeren van rekencellen naar bedrijfsniveau;
- De grondwaterkarakteristiek in een droge periode, uitgedrukt als de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand. Deze is o.a. nodig om de afname van de verdampingsreductie door de introductie van regelbare drainage of subirrigatie te schatten (zie bijlage C);
- Bodemtype. Deze is o.a. nodig om de afname van de verdampingsreductie door de introductie van regelbare drainage of subirrigatie te schatten (zie bijlage 10);
- De aanwezigheid van een beregeningsinstallatie en buisdrainage (LHM), voor het definiëren van de referentiesituatie.

2.4.2 AGRICOM metarelaties

Met behulp van de preprocessor van Agricom worden de volgende drie meta-relaties afgeleid voor het bepalen van maatreegeffecten op gewasschade:

- Verdampingstekort wordt aangevuld tot een buffer is bereikt vertaald naar droogteschade;
- Verdampingstekort wordt (gelijk over het jaar) gedeeltelijk opgeheven (variërend tussen 0 en 100 % opgeheven) vertaald naar droogteschade;
- Zoutconcentratie in de wortelzone vertaald naar zoutschade.

Voor elk van deze metarelaties wordt een maatreegeffect toegepast op de volledige tijdserie uit de hydrologische basisinformatie (uit het LHM), voor elk afzonderlijk scenario. Dit gebeurt voor elke rekencel in het gebied, zodat de meta-relaties per cel beschikbaar komen. De metarelaties worden afgeleid voor de situatie zonder berekening.

2.4.2.1 Verdampingstekort wordt aangevuld tot buffer

Voor deze metarelatie wordt elk jaar het optredende verdampingstekort aangevuld, tot de buffer is uitgeput. De buffer wordt elk jaar aangevuld. Wanneer de buffer leeg is in een groeiseizoen, treedt alsnog droogteschade op. Deze schade valt dus aan het eind van het groeiseizoen. Het groeiseizoen is gewas-specifiek. De buffer wordt gedimensioneerd op het 90 percentiel verdampingstekort (1 in 10 jaar droogte). In negen van de tien jaren zal er dan ook geen droogteschade optreden.

2.4.2.2 *Verdampingstekort wordt evenredig aangevuld*

Voor deze metarelatie wordt elk jaar het optredende verdampingstekort voor een gedeelte aangevuld, gelijk over het jaar. Door het procentuele, evenredige karakter treedt er in dezelfde jaren droogteschade op als in de uitgangssituatie, maar uiteraard minder. Deze metarelatie wordt voor verschillende percentages opheffing verdampingstekort uitgewerkt. In het instrument wordt hier lineair tussen geïnterpoleerd.

2.4.2.3 *Zoutconcentratie in de wortelzone*

Voor deze metarelatie wordt elk jaar de zoutschade berekend voor een optredende zoutconcentratie in de wortelzone. Deze metarelatie wordt voor verschillende zoutconcentraties uitgewerkt. In het instrument wordt hier lineair tussen geïnterpoleerd. Bovenstaande informatie moet worden opgeslagen in zogeheten IDF-bestanden, iMOD gridbestanden, van gelijke celgrootte en afmetingen.

2.4.3 *Scenario's en referentiesituatie*

Een agrariër kan de geleden schade door droogte en zout met verschillende maatregelen verminderen. De baat van een maatregel voor de agrariër is de gewasopbrengst in de situatie met maatregel ten opzichte van de situatie zonder maatregel (referentie-alternatief). De baat van een maatregel is afhankelijk van toekomstige ontwikkelingen. Bijvoorbeeld, veranderingen in het klimaat, landgebruik of wateronttrekking hebben invloed op de effecten en baten van maatregelen. Hoe de toekomst zich ontwikkelt is echter onzeker. Om toch een idee te krijgen van de baat van maatregelen in de (onzekere) toekomst kunnen scenario's worden meegenomen. Een scenario is een consistente verhaallijn waarin een potentiële toekomst wordt geschetst. De Regioscan Zoetwatermaatregelen maakt een maatregelafweging ten opzichte van een referentie-alternatief. In de Regioscan is een scenario een ander referentie-alternatief dan de huidige situatie, waartegen maatregelen worden afgewogen.

Een scenario / alternatief bestaat uit een onderling consistente:

- indeling van het projectgebied in modelbedrijven;
- landgebuikkaart / geteelde gewassen;
- de hydrologische situatie, inclusief plaatsvinden van beregening en / of reguliere drainage
Deze hydrologische situatie bestaat uit een dertigjarige reeks van opgetreden opbrengstderiving door droogte en zout per rekencel op basis van opgetreden gewasverdampingstekort en de zoutconcentratie in de wortelzone. Onderdeel van de hydrologische situatie zijn gelegde meta-relaties tussen het opheffen van het verdampingstekort en de vermindering van de opbrengst, en tussen concentratie in de wortelzone en zoutschade aan het gewas.

De uitkomsten zijn naast de selectie van het scenario ook afhankelijk van de volgende keuzes:

- de hoogte van de implementatiegraad, op één van de volgende twee manieren:
 - o één percentage, geldend voor alle deelgebieden,
 - o een percentage per maatregel, per type modelbedrijf, per deelgebied;
- de maatregelselectie, per maatregel kan worden aangegeven of deze wel of geen onderdeel is van de berekening:
 - o het is mogelijk om één of meerdere maatregelen te beschouwen, en
 - o zo kan bijvoorbeeld worden gekozen om reguliere beregening niet toe te staan.

2.4.4 Geïmplementeerde scenario's in Regioscan Zoetwatermaatregelen

In de Regioscan Zoetwatermaatregelen zijn de volgende scenario's geïmplementeerd:

1) Huidige situatie

(op basis van de meest recente invoer van het LHM (Hunink en Hegnauer, 2016))

- De landgebruikssituatie Deltascenario's landgebruik 2015;
- Bedrijfsinformatie gebaseerd op gegevens WUR Economic Research;
- Hydrologische invoer gebaseerd op klimaatreeks 1981 – 2010, nieuwe berekeningen.

2) Huidige situatie, geen reguliere berekening mogelijk

Als 1), maar voor alle cellen is gecorrigeerd voor berekening (verdampingstekorten alsof geen berekening heeft plaatsgevonden). Tevens is reguliere berekening uit grond- en oppervlaktewater niet toegestaan.

3) Klimaat WH 2050

(op basis meest recente invoer van het LHM (Hunink en Hegnauer, 2016))

- De landgebruikssituatie identiek aan de huidige situatie;
- Bedrijfsinformatie identiek aan de huidige situatie;
- Hydrologische invoer gebaseerd op klimaatreeks 1981 – 2010, getransformeerd naar klimaatscenario WH 2050 (van den Hurk et al., 2014).

Deze scenario's zijn te combineren met de andere gebruiksmogelijkheden (implementatiegraad, maatregelkeuze), om allerlei afwegingen te kunnen onderzoeken.

3 Casestudie Anna Paulowna- en Oostpolder (Laag Nederland)

3.1 Inleiding

Het beheergebied van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) ligt in het lage deel van Nederland, dat wordt gekenmerkt door polders en droogmakerijen. De polders liggen als gevolg van veenafgravingen, maaiveldvaling en zeespiegelstijging beneden zeeniveau en het waterpeil wordt door bemaling gereguleerd. Het waterbeheer is over het algemeen gericht op het handhaven van een streefpeil. Overtollig water wordt via de gemalen uitgeslagen (meestal in de winter), en water wordt in tijden van watervraag ingelaten vanuit een boezemsysteem (vaak in de zomer). Inlaat vindt plaats voor peilhandhaving en kwaliteitsverbetering (bestrijding algenbloei en verzilting).

Eén van de uitdagingen in de kop van Noord Holland is de zoetwaterverdeling. Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en de Provincie Noord Holland staan voor de taak om het IJsselmeerwater eerlijk te verdelen over alle verschillende functies. De twee grootste water vragende functies zijn peilhandhaving en irrigatiewater voor agrariërs. Het probleem ontstaat in droge perioden wanneer de verdamping hoog is, peilhandhaving een uitdaging wordt en de vraag naar kwalitatief goed irrigatiewater het grootst is. Deze zoetwaterschaarste kan leiden tot grote verliezen in de landbouw.

Binnen het Deltaprogramma wordt er gewerkt aan de veiligheids- en zoetwateropgave in het IJsselmeergebied (deltaprogramma, 2015). Het IJsselmeer is een belangrijke zoetwaterbuffer voor Noord-Nederland en staat onder druk door klimaatverandering en veranderde zoetwatervraag in de regio (Velstra et al., 2013). Zachte winters en hete zomers komen vaker voor en extreme neerslag in de winters neemt toe (KNMI, 2014). Dit kan de zoetwatervoorraden in de regio sterk beïnvloeden. Daarnaast wordt de Rijnafvoer steeds grilliger. Het riviersysteem veranderd steeds meer van een smeltwaterrievier in een regenwaterrievier. Dit zorgt voor een grotere variatie in de zoetwateraanvoer naar rivier de IJssel en het IJsselmeer gebied. Naast deze variatie toename is er sprake van een zeespiegelstijging en een toename in zoetwatervraag in de regio. Het verbruik van zoetwater zal veranderen door nieuwe teelten. Daarnaast neemt de kwaliteitsvraag toe bij nieuwe teelten. De verwachting is dat de zoetwaterbuffer van het IJsselmeer in de toekomst vaker aangesproken zal moeten worden.

De vraag blijft hoe we de zoetwaterbuffer van het IJsselmeer in de toekomst kunnen blijven gebruiken en optimaal kunnen inzetten op een veilige en flexibele manier. Binnen het Deltaprogramma wordt gewerkt aan een robuuste zoetwatervoorziening en een van de doelen van het Deltaprogramma is zorgen voor een veilig en veerkrachtig IJsselmeergebied. Een efficiëntere benutting van water door gebruikers is een van de factoren die hieraan bijdragen. Om dit doel te bereiken wordt gezocht naar maatregelen om de watervraag in de regio te beperken. Hierin levert Acacia Water haar bijdrage in het project Spaarwater. Tevens onderzoekt het deltaprogramma manieren om de regionale watersystemen en de zoetwaterbuffer van het IJsselmeer te vergroten en optimaal te benutten (Velstra et al., 2013).

Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier heeft de wens zich zo goed mogelijk voor te bereiden op de problemen in de toekomst. Inzicht in de mogelijkheden voor zelfvoorzienendheid van agrariërs in hun zoetwatervraag is belangrijk. Met zelfvoorzienendheid bedoelen wij hier dat

agrariërs zelf investeren in zoetwatermaatregelen zodat ze water beter vast kunnen houden op en rond hun perceel. Zo zijn zij in staat om hun watervraag aan het hoofdwatersysteem te reduceren. De hypothese is dat de oppervlaktewatervraag hiermee daalt en het Hoogheemraadschap minder water hoeft aan te voeren vanuit het IJsselmeer.

3.2 Doel

In deze case wordt de Regioscan Zoetwatermaatregelen ingezet om een indruk te krijgen in hoeverre zelfvoorzienendheid in de watervraag in de Anna Paulownapolder (AP) en Oostpolder (OP) (Figuur 3.1) te realiseren is. De keuze voor deze polders is tweeledig.

Ten eerste zijn deze polders betrokken bij het programma Spaarwater. Eén van de pilotlocaties voor ondergrondse opslag van perceelseigen water is gevestigd in Breezand, de Anna Paulownapolder. De Oostpolder geldt als pilotpolder voor de Maatschappelijke Kosten-Batenanalyse (MKBA) die binnen dit programma wordt uitgevoerd. De resultaten van de Regioscan worden op basis van hypothesen kwalitatief getoetst aan resultaten van Spaarwater; een kwantitatieve toetsing was met de beschikbare gegevens niet mogelijk.

Ten tweede heeft het Hoogheemraadschap een specifieke vraag omtrent deze twee polders. In de zogenoemde 'Boezemstudie' die het Hoogheemraadschap uitvoert wordt de efficiënte van het boezemsysteem geanalyseerd. Door de Regioscan voor beide polders te draaien wordt kennis van de invloed van zelfvoorzienendheid op het poldersysteem gegenereerd. Deze kennis helpt bij het maken van waterverdelingsvragen.

In deze casestudie worden twee centrale vragen behandeld, namelijk:

1. Wat zijn gunstige locaties voor lokale zoetwatermaatregelen?
2. Hoe kan de Regioscan Zoetwatermaatregelen worden ingezet als communicatie tool van de beheerder met de agrariërs?





Figuur 3.1: Boven: casestudiegebied binnen het beheergebied van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Onder: Anna Paulownapolder en Oostpolder.

3.3 Aanpak casestudy

3.3.1 Aanpak scenario's en implementatiegraad

Op basis van het huidige landbouwareaal en het aantal landbouwbedrijven in de Anna Paulownapolder en de Oostpolder zijn modelbedrijven samengesteld. De impact van de zoetwatermaatregelen wordt voor deze bedrijven doorgerekend voor 3 scenario's:

- Huidige situatie (alle maatregelen toegestaan)
- Huidige situatie zonder beregening (23 maatregelen, geen beregening uit grond- of oppervlaktewater)
- Klimaatscenario WH2050 (alle maatregelen).

Bij de berekeningen is uitgegaan van een implementatiegraad van 25 procent.

3.3.2 Hypothesen

Om de toepasbaarheid van de Regioscan Zoetwatermaatregelen voor laag Nederland te verifiëren zijn een aantal hypothesen opgesteld over de geschiktheid en effecten van maatregelen in het studiegebied. Deze hypothesen zijn vervolgens getoetst met de resultaten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen. Hieronder wordt ingegaan op de hypothesen en de resultaten wat betreft de kansrijkheid en de baten-kostenratio van de zoetwatermaatregelen.

1. De voorkeur voor maatregel combinaties in de Anna Paulowna zal uitgaan naar systeemgerichte drainage en ondergrondse opslag van perceelseigen water;
2. De voorkeur voor maatregel combinaties in de Oostpolder zal uitgaan naar systeemgerichte drainage;
3. De baten-kostenratio zal in de Anna Paulownapolder positiever uitvallen dan in de Oostpolder;
4. Door toenemende droogte en daarmee grotere watervraag, zullen de zoetwatermaatregelen in de toekomst een positievere baten-kostenratio laten zien;

5. De inzet van zoetwatermaatregelen levert een besparing op de zoetwatervraag aan het oppervlaktewater met positieve gevolgen voor het waterbeheer;
6. De uitkomsten van de Regioscan Zoetwater kunnen worden gebruikt als communicatiemiddel richting de agrariërs.

3.4 Gebiedsbeschrijving

3.4.1 Areaal en modelbedrijven in de Anna Paulownapolder

Voor de analyses van de Regioscan Zoetwatermaatregelen zijn voorbeeldbedrijven nodig voor de deelgebieden. Deze voorbeeldbedrijven zijn door Wageningen Economic Research samengesteld op basis van het huidige areaal in de Anna Paulowna Polder en de huidige landbouwbedrijven die grond hebben in de Anna Paulownapolder en Oostpolder. Het areaal is ingedeeld aan de hand van de gewascategorieën die Agricom hanteert: 1 gras; 2 mais; 3 aardappelen; 4 suikerbieten; 5 granen; 6 overige landbouw; 7 boomteelt; 8 glastuinbouw; 9 boomgaard; 10 bollen.

De voorbeeldbedrijven zijn samengesteld uit deze 10 gewasgroepen. Daartoe zijn de bedrijven in de Anna Paulownapolder en Oostpolder ingedeeld aan de hand van de gewascategorie die meer dan de helft van de gewasproductiewaarde van het bedrijf representeert. De productiewaarde van één ha is gelijk aan de waarde van één ha van het gewas (per gewascategorie) (van Everdingen en Wisman, 2016); zo heeft 1 ha bollen een grotere waarde dan 1 ha gras. De gewascategorieën zijn zo verdeeld over de voorbeeldbedrijven, dat zowel het gemiddeld areaal per type voorbeeldbedrijf als het totale areaal van de gewascategorie redelijk overeenkomst met de geobserveerde waarden in beide polders.

Voor het samenstellen van deze voorbeeldbedrijven hebben we gebruik gemaakt van twee bestanden. BRP (Basisregistratie Percelen) en de landbouwtelling (waarin bedrijven en hun grondgebruik zijn weergegeven). In beide databases zijn de percelen in de Anna Paulownapolder en Oostpolder (op basis van aangeleverde GIS informatie) geselecteerd. In de landbouwtelling zijn deze gekoppeld aan het bijbehorende bedrijf. De hoofdvesting van dit bedrijf kan zowel in als buiten beide polders liggen. Uit eerdere analyses blijkt dat beide databases een klein deel van de percelen en bedrijven mist.

In de analyse is uitgegaan van het landbouwareaal in beide polders. Deze bedrijven hebben ook grond buiten de polders, dit geldt voor alle bedrijfstypen, maar in veel mindere mate voor de bloembollenbedrijven. De Anna Paulowna Polder niet veel groter dan de Oostpolder. De consequentie is dat bij lokale watertekorten (beperkt tot de Anna Paulownapolder) het effect op een aantal van de bedrijven beperkt kan zijn. Een droogte zal veelal grootschaliger zijn en ook de omliggende gebieden betreffen (dus ook de totale groep bedrijven die grond in Anna Paulownapolder hebben). Maatregelen kunnen wel een lokaal effect hebben.

3.4.1.1 Landgebruik in de Anna Paulowna Polder en Oostpolder

Het aantal bedrijven met grond in de Anna Paulownapolder is 106, 79 ervan worden gerepresenteerd door de voorbeeldbedrijven. De andere bedrijven zijn over het algemeen te klein (of hebben een afwijkende combinatie van teelten). Verreweg belangrijkste categorie voorbeeldbedrijven is bloembollen bedrijven, deze bedrijven hebben naast bloembollen nauwelijks andere gewassen in de Anna Paulownapolder.

Het aantal bedrijven in de Oostpolder is beperkt (55), 44 ervan worden gerepresenteerd door de voorbeeldbedrijven. De andere 11 bedrijven zijn over het algemeen te klein (of hebben een afwijkende combinatie van teelten). De belangrijkste categorie voorbeeldbedrijven is akkerbouw, met name het areaal aardappelen is relatief groot in deze polder.



Figuur 3.2 Landgebruik in de Anna Paulownapolder en Oostpolder volgens de LGN 7.

3.4.2 Water- en bodemsysteem

De agrariërs van beide polders hebben momenteel te kampen met tegenstrijdige problemen: zoetwatertekort in de zomer en wateroverlast bij piekafvoeren. Het zoete water dat nodig is voor de doorspoeling van de Oostpolder is afkomstig uit het IJsselmeer en wordt vanaf Schardam (ten zuiden van Hoorn) aangevoerd. Het water in de Anna Paulownapolder wordt vanuit de Schermerboezem aangevoerd. De Anna Paulownapolder bestaat uit meer dan 50 peilgebieden met een groot aantal particuliere peilafwijkingen (Alterra, 2015). De Anna Paulowna bestaat uit 99% zandgronden en 1% uit klei op veen, of klei op zand (Alterra, 2015). De Oostpolder valt onder het Watergebiedsplan Anna Paulowna. In de polders wordt seizoensgebonden dynamisch peilbeheer gevoerd rond het huidige zomer en winterpeil. Daarnaast is in specifieke gebieden gekozen voor dynamisch of vast peilbeheer, omdat het agrarisch belang in de polders zwaar weegt. In de polders wordt wel zoveel mogelijk geanticipeerd op de aanwezige teelt en de actuele weersomstandigheden. In het peilbesluit is dit opgenomen als seizoensgebonden dynamisch peilbeheer. Toch blijven er problemen met wateroverlast tijdens piekafvoeren

3.5 Resultaten

3.5.1 Toepassing zoetwatermaatregelen in de polders

Om de toepasbaarheid van de Regioscan Zoetwatermaatregelen voor laag Nederland te verifiëren zijn een aantal hypothesen opgesteld (paragraaf 3.3.2) over de geschiktheid en effecten van maatregelen in het studiegebied. Deze hypothesen zijn vervolgens getoetst met de resultaten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen. Hieronder wordt ingegaan op de hypothesen en de resultaten wat betreft de kansrijkheid en de baten-kostenratio van de zoetwatermaatregelen.

3.5.2 Kansrijke zoetwatermaatregelen

Op basis van ervaring uit de Spaarwater pilots is de hypothese dat voor de Anna Paulownapolder de voorkeur zal uit gaan naar systeemgerichte drainage en ondergrondse opslag van perceelseigen water, en voor de Oostpolder naar systeemgerichte drainage. Vanuit de Spaarwater pilots is duidelijk dat de telers in de Anna Paulownapolder een grote behoefte hebben aan waterzekerheid en controle over het irrigatiesysteem. Ondergrondse opslag biedt hier een oplossing voor.

Toepassing van de Regioscan Zoetwatermaatregelen geeft voor de AP een ander beeld dan werd verwacht op basis van lopende pilots (Figuur 3.3). Voor beide polders komt systeemgerichte drainage als meest kansrijk naar voren. Daarnaast komt op enkele rekencellen verdiept aangelegde druppelirrigatie als meest kansrijk naar voren. Het detailniveau waarop de Regioscan Zoetwatermaatregelen resultaten genereerd is echter niet voldoende om hier conclusies uit te trekken.



Figuur 3.3: Kansrijke maatregelen in casestudiegebied voor huidig klimaat en een implementatiegraad van 25%. Paars: systeemgerichte drainage, geel: ondergrondse druppelirrigatie.

Baten-kostenratio

Op basis van het landgebruik in beide polders is de hypothese dat de baten-kostenratio in de Anna Paulownapolder beter uit zal vallen dan in de Oostpolder. De Anna Paulownapolder wordt gedomineerd door bollentelers. De waarde van de geteelde gewassen is groter dan die van de akkerbouwers in de Oostpolder. Deze hypothese wordt bevestigd door de Regioscan Zoetwatermaatregelen. In Figuur 3.4 is te zien dat de maatregelen systeem gerichte drainage en verdiept aangelegde druppelirrigatie in de Anna Paulownapolder een hogere baten-kostenratio hebben dan in de Oostpolder.

3.5.3 Invloed van klimaatverandering op baten-kostenratio van maatregelen

Verwacht wordt dat door toenemende droogte, en daarmee een toenemende watervraag, de zoetwatermaatregelen in de toekomst een positievere baten-kostenratio laten zien. Deze hypothese

wordt bevestigd door de Regioscan Zoetwatermaatregelen. De baten in de Anna Paulownapolder worden hoger met een W_H scenario in 2050, en de negatieve baten in de Oostpolder worden positief; vergelijk Figuur 3.4 en Figuur 3.5.



Figuur 3.4: Baten-kostenratio casestudiegebied in €, toepassing in huidig klimaat, implementatiegraad van 25%. Rood: negatieve baten-kostenratio. Lichtgroen tot donkergroen: positieve baten-kostenratio, donkergroen betreft de meest positieve verhouding.



Figuur 3.5: Baten-kostenratio in € casestudiegebied, klimaatscenario $W+$ 2050. Alleen positieve -baten-kostenratio.

3.5.4 Communicatiemiddel richting agrariërs

De Regioscan Zoetwatermaatregelen kan door de waterbeheerder worden gebruikt ter ondersteuning van de communicatie met de agrariërs. Hierbij is wel goede kennis van de achtergronden en schematisaties achter de Regioscan Zoetwatermaatregelen noodzakelijk om de resultaten juist te interpreteren (zie hoofdstuk 6).

Naast het verkrijgen van inzicht in de mogelijkheden voor optimalisatie van het watergebruik op basis van de Regioscan Zoetwatermaatregelen, kunnen gebruikers ook zelf aan de knoppen van de Regioscan zitten. Met de interactieve tool kan de gebruiker het effect inzichtelijk maken van afzonderlijke maatregelen, door één van de maatregelen te selecteren en het opgeven van het percentage van de bedrijven die deze maatregel gaat doorvoeren. Zo wordt voor iedere maatregel inzichtelijk voor welke typen bedrijven en in welke deel van de polder de maatregel rendabel is (positief baten-kosten ratio). Ook wordt het effect van de maatregel op de voor het waterschap relevante indicatoren zichtbaar: onder andere verandering in de watervraag, verandering in emissie van nutriënten en kosten voor landbouwers. De waterbeheerder kan door het gebruik van de Regioscan Zoetwatermaatregelen zijn kennisbasis over de maatregelen vergroten.

In een interactieve sessie met landbouwers kan het waterschap de te verwachten effecten, kosten en baten van maatregelen doorlopen met alle deelnemers. Hiervoor is een interactieve tool in Excel ontwikkeld, waarmee de resultaten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen eenvoudig gepresenteerd kunnen worden. Dit kan het startpunt vormen voor een gesprek, waarbij zowel de agrariërs als het waterschap hun kennis kunnen toevoegen aan de resultaten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen. Deze kennis kan of leiden tot nadere aanpassing van de input van de Regioscan (bijvoorbeeld een andere inschatting van de kosten), of tot een doorrekening van enkele maatregelen met een regionaal grondwatermodel. Een van de aandachtspunten bij dergelijke toepassingen met de huidige versie van het instrument is dat het onderscheidend vermogen van de Regioscan Zoetwatermaatregelen nog niet is getoetst. Als gevolg van onzekerheden en schematisaties in de onderliggende maatregeleninformatie kunnen de berekende verschillen tussen de maatregelen niet significant zijn, zodat de prioritering van maatregelen af kan wijken van de werkelijkheid. Voor andere aandachtspunten verwijzen wij naar de discussie (paragraaf 6.1).

Door de modelvereenvoudigingen zullen de resultaten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen af kunnen wijken van de (werkelijke) situatie in de polder zoals de agrariërs die kennen. In de interactieve sessie moet ruimte worden ingeruimd om de modelresultaten met de deelnemers te bespreken, zodat gezamenlijk de waarde van de Regioscan Zoetwatermaatregelen kan worden bepaald.

3.6 Conclusies

De conclusie is dat de kansrijke zoetwatermaatregelen voor de Oostpolder overeenkomen met de hypothese. Voor de Anna Paulownapolder geeft de Regioscan Zoetwatermaatregelen systeemgerichte drainage aan als net rendabeler dan ondergrondse opslag; de laatste maatregel geldt binnen Spaarwater echter als kansrijker in de polder. De resultaten voor de baten-kostenratio ondersteunen wel de hypothese dat zoetwatermaatregelen in de Anna Paulownapolder grotere baten zullen opleveren dan de Oostpolder en hiermee eerder een positief resultaat levert.

Op de vraag of de Regioscan geschikt is als communicatiemiddel richting agrariërs kan nog geen antwoord worden gegeven. De conclusie kan worden getrokken op het moment dat de Regioscan

Zoetwatermaatregelen is overgedragen aan het Hoogheemraadschap en zij dit in de praktijk hebben toegepast. Hierbij is kennis van de achtergronden en schematisaties achter de Regioscan Zoetwatermaatregelen nodig om de resultaten op waarde te kunnen schatten.

3.7 Discussie en aanbevelingen

De casestudie is in twee polders uitgevoerd waar ook Spaarwater pilots worden uitgevoerd voor het toetsen van kleinschalige zoetwatermaatregelen. Dit vormt een basis voor validatie en aanbevelingen. De eerste aanbeveling richt zich op de toepassingschaal. In de Regioscan Zoetwatermaatregelen wordt de maatregel direct toegepast op het volledige areaal van het bedrijf. In werkelijkheid zien we dat telers, zeker in het geval van innovatieve technieken, enkel op een gedeelte van hun bedrijf zullen investeren, en dan met name bij de hoogrenderende gewassen. Bij positieve resultaten en ervaring zullen zij overgaan tot opschaling op bedrijfsniveau (ook dan voor de hoogrenderende gewassen). Deze veronderstelling in de Regioscan leidt tot een afwijking ten opzichte van de werkelijkheid met name voor de inschatting van het areaal, de kosten en baten en het belangrijkste, de m³ besparing die kan worden gerealiseerd. De aanbeveling is dan ook om variatie aan te brengen in de toepassingschaal op het bedrijf (bijvoorbeeld op basis van aandeel van hoogrenderende gewassen). Deze aanpak levert een integratie van de hydrologische invalshoek met de bedrijfseconomische. Dit is een belangrijke stap binnen het opschalingsproces op lange termijn. Omdat de Regioscan Zoetwatermaatregelen niet ontwikkeld is voor toepassingen op een dergelijk klein schaalniveau, vereist het opvullen van dit kennisiaat wellicht de inzet van mechanische modellen die de relevante processen adequaat beschrijven.

Het tweede discussiepunt is de mogelijkheid om te kunnen schakelen tussen maatregelen. Op dit moment geeft de Regioscan een relatief statische weergave van de optimale set maatregelen en is het niet mogelijk om makkelijk te schakelen tussen maatregelcombinaties die een voorkeur verdienen. Voor zowel de waterbeheerder als de agrariër wordt het interessant als maatregelen makkelijk met elkaar vergeleken kunnen worden. Zo kan de beoogde communicatie met de telers, in de vorm van gebiedsprocessen, zo goed mogelijk worden gefaciliteerd. Aandachtspunt hierbij is dat de Regioscan Zoetwatermaatregelen uitgaat van lineaire stapeling van maatregeleneffecten, en cumulatieve effecten niet integraal doorrekend. Hiervoor is de toepassing van geavanceerdere modellen vereist.

Het derde discussiepunt borduurt voort op het schakelen tussen maatregelen. De aanbeveling is om de interactieve Excel tool zo goed mogelijk over te dragen aan het Hoogheemraadschap en hiermee hun kennis te vergroten. Deze vorm van implementatie draagt bij aan het gebruik van de Regioscan Zoetwatermaatregelen als communicatiemiddel richting de agrariërs in de gebiedsprocessen. Binnenkort wordt deze aanbeveling in de praktijk getoetst. Om misinterpretaties te voorkomen is het hierbij voornamelijk van belang dat gebruikers goed bekend zijn met de aannames en schematisaties achter de Regioscan Zoetwatermaatregelen, aangezien dit gevolgen kan hebben voor het onderscheidend vermogen van het instrument. Daarnaast is verdere implementatie van maatregeleninformatie noodzakelijk om goede praktijktoepassingen mogelijk te maken.

4 Casestudie De Raam (Hoog Nederland)

De casestudie de Raam is uitgevoerd in samenwerking met DHZ / Maasstroomgebied en waterschap Aa en Maas. De case heeft ten eerste tot doel te verkennen hoe de regio de Regioscan Zoetwatermaatregelen kan inzetten rond de zoetwateropgave. Hiervoor worden kansrijke maatregelen in beeld gebracht, kosten en baten en het effect op de wateropgave. Neveneffecten zijn vooralsnog niet beschouwd. Ten tweede richt de case zich op het vergelijken van het hydrologisch effect van maatregelen zoals berekend door de Regioscan met een gedetailleerd hydrologisch model.

4.1 Knelpunten in de watervoorziening

Het Provinciaal waterplan 2010-2015 (PWP 2010-2015) voor de provincie Noord Brabant geeft een overzicht van de provinciale wateropgave en de realisatietermijnen (Tabel 4.1). Het uitgangspunt van de Provincie Noord Brabant is, binnen de gestelde randvoorwaarden, het optimaal maken van het onttrekken van grondwater voor landbouwberegening. De provincie participeert in een door de landbouworganisaties te ontwikkelen systeem dat het toedienen van vocht aan gewassen optimaliseert door middel van geavanceerde technieken om vochttekorten te voorspellen. In perioden van watertekort hanteert de provincie de landelijk vastgestelde rangorde bij watertekorten (artikel 2.9 van de Waterwet en artikel 2.1 van het Waterbesluit). In geval van een watertekort of dreigend watertekort wordt met het oog op de verdeling van het beschikbare water over de maatschappelijke en ecologische behoeften bij het beheer de volgende rangorde van behoeften in acht genomen:

- 1°. het waarborgen van de veiligheid tegen overstroming en het voorkomen van onomkeerbare schade;
- 2°. nutsvoorzieningen;
- 3°. kleinschalig hoogwaardig gebruik;
- 4°. overige behoeften.

Voor de landbouw betekent dit dat tijdelijk beregening van kapitaalintensieve gewassen onder 3 valt en de overige landbouwgewassen onder 4.

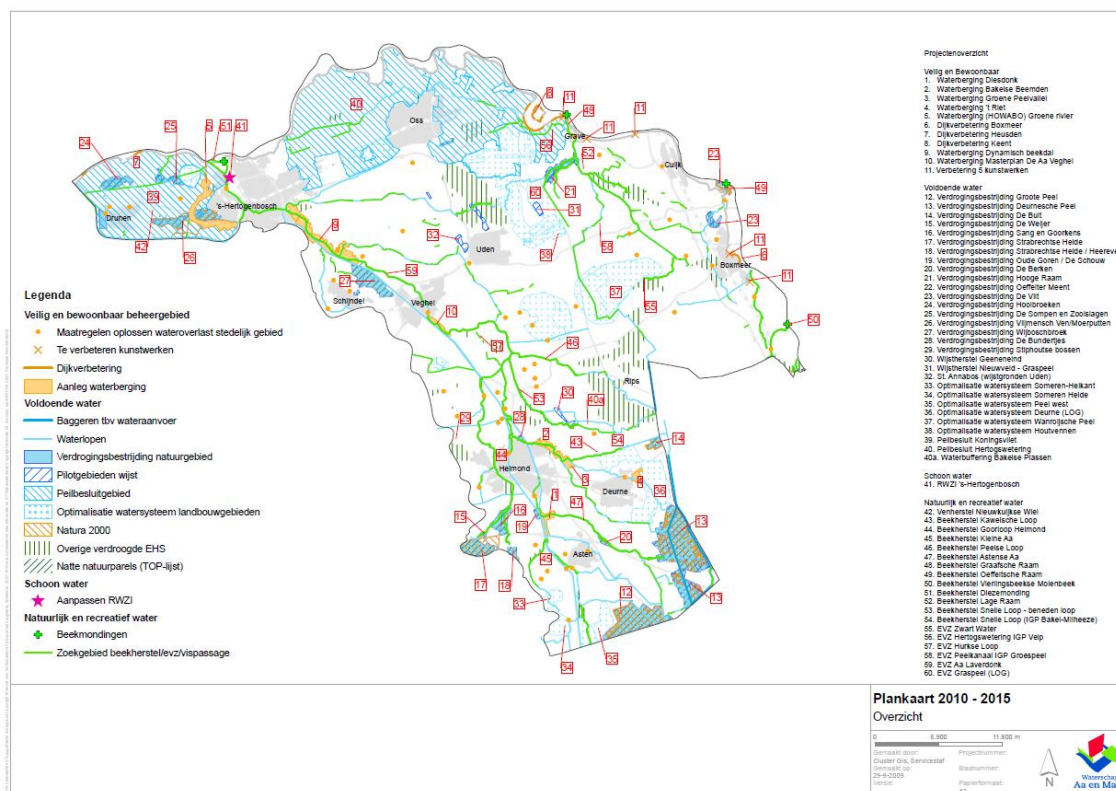
In het Provinciaal Milieu- en Waterplan 2016 – 2012 van Noord-Brabant staat dat voldoende water van goede kwaliteit van groot belang is voor natuur, landbouw, recreatie, drinkwater, industrie en vrijetijdseconomie. De Raam maakt deel uit van de zoetwaterregio “hoge zandgronden”. De partners hebben t.a.v. watervoorziening, strategieën en maatregelpakketten ontwikkelt voor zowel de korte als de middellange termijn. Uitgangspunt voor de watervoorziening voor de hoge zandgronden is de trits: sparen, aanvoeren, accepteren/adapteren.

In 2010 is het operationele grondwaterbeleid van de provincie overgegaan naar de waterschappen. Onderdeel hiervan is het beregeningsbeleid. De waterschappen hebben in 2014 het beregeningsbeleid geactualiseerd en flexibeler gemaakt. Als verantwoordelijke voor het strategische grondwaterbeleid heeft de provincie commitment gegeven aan dit nieuwe beregeningsbeleid, onder de voorwaarde dat deze beleidswijziging geen verdrogend effect heeft op de ecologische waarde in de Natura-2000 gebieden en natte natuurparels.

Waterschap Aa en Maas geeft in de plankaart 2010-2015 (Figuur 4.1) een overzicht van projecten voor het beheergebied van het waterschap, een aantal projecten zijn gericht op verdrogingsbestrijding.

Tabel 4.1: Overzicht van de provinciale wateropgave en realisatietermijnen.

| Prestatie | Totale opgave | WHP 2003 | | PWP 2010-2015 en verder | | | |
|-------------------------------------|---------------|--|-----|--|-----|------------------------------------|-----|
| | | Gerealiseerd + verplicht 2003 t/m 2009 | | Afgesproken prestatie met waterschappen t/m 2013 | | Restantopgave 2014, 2015 en verder | |
| Verdrogingsbestrijding (ha, %) | 34.000 | 6.170 | 18% | 12.130 | 35% | 15.700 | 47% |
| Beek- en kreekherstel (km, %) | 600 | 108 | 18% | 250 | 42% | 242 | 40% |
| Regionale waterberging (ha, %) | 4.200 | 1.015 | 24% | 2.000 | 48% | 1.185 | 28% |
| Ecologische verbindingzones (km, %) | 786 | 186 | 24% | 250 | 32% | 350 | 44% |



Figuur 4.1: Maatregelenkaart van Waterschap Aa en Maas.

Het beleid van waterschap Aa en Maas is dat voor beregenen uit grondwater altijd vergunning noodzakelijk is, er worden geen nieuwe vergunningen meer verleend voor beregening uit

grondwater. Verder mag grasland niet worden beregend tussen 1 januari en 1 juni en in de maanden juni en juli niet tussen 11 en 17 uur.

In het watertekort wordt in de huidige situatie voorzien d.m.v. beregening uit grond- en oppervlaktewater. In Tabel 4.2 is aangegeven hoeveel bedrijven beregenen in het Raam-gebied en welke bron wordt gebruikt. Uit deze tabel blijkt dat 80% van de modelbedrijven gebruik maakt van beregening, 71% gebruikt enkel grondwater, 2,3 % enkel oppervlaktewater en 6,2% zowel grond- als oppervlaktewater. Het totale watergebruik in de huidige situatie bedraagt:

- 397.000 m³/jaar oppervlaktewater

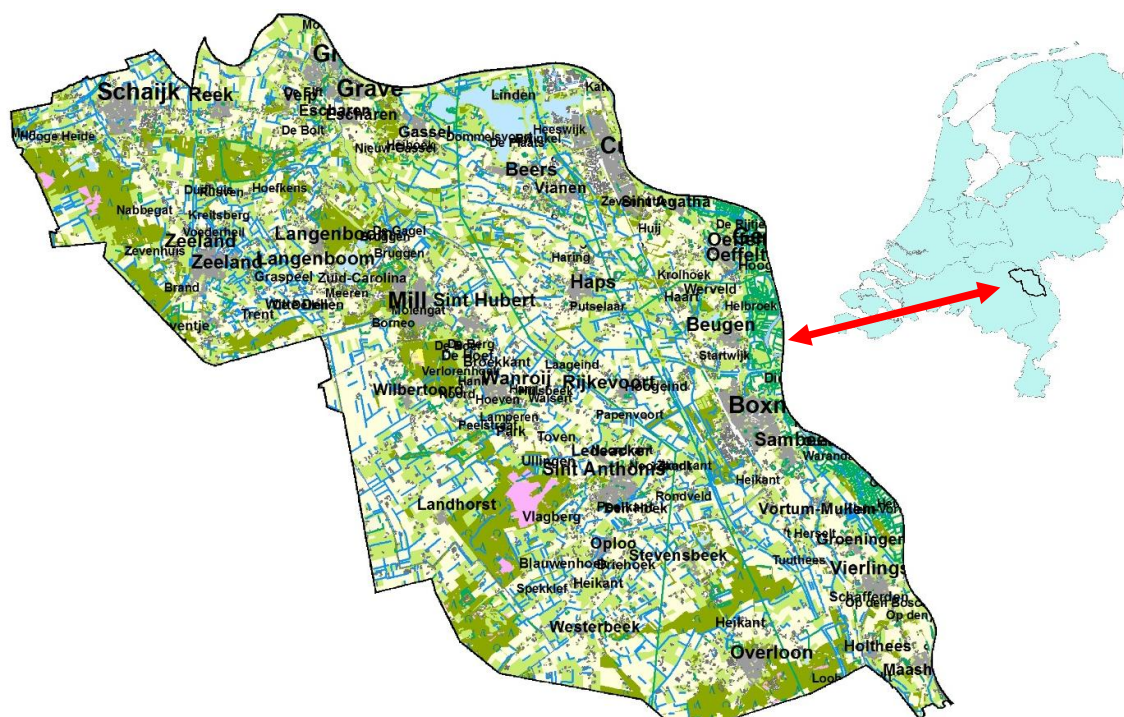
- 5.817.000 m³/jaar grondwater

Tabel 4.2: Beregening, modelbedrijven en beregeningsbron

| Aantal modelbedrijven | Oppervlaktewater | | |
|-----------------------|------------------|------------|--------|
| | Geen | Beregening | Totaal |
| Grondwateronttrekking | | | |
| Geen | 225 | 27 | 252 |
| Beregening | 807 | 71 | 878 |
| Totaal | 1032 | 98 | 1130 |

4.2 Gebiedsbeschrijving

Pilotgebied De Raam ligt in het noordoosten van de Provincie Noord-Brabant, binnen het beheergebied van waterschap Aa en Maas (Error! Reference source not found.). Het pilotgebied heeft een oppervlakte van 42.258 ha, 62,5% van het areaal wordt landbouwkundig gebruikt. Hiervan bestaat 25,4% uit gras en 20% uit mais, verder komen kleine arealen aardappelen, bieten, granen en boomkwekerijen voor.



Figuur 4.2: Studiegebied De Raam.

Binnen de Raam zijn relatief grote hoogteverschillen, het maaiveld daalt van ca. 20 m +NAP in het zuiden naar ca. 8 m +NAP in het noorden van het gebied. De bodem bestaat voornamelijk uit zandgronden (humuspodzolgronden, kalkloze zandgronden en enkeerdgronden), langs de Maas komen oude en jonge rivierkleigronden voor. Het pilotgebied De Raam bestaat voornamelijk uit (matig) droge gronden; het aandeel natte gronden (Gt I,II,III) bedraagt slechts 3,4%, het aandeel matig droge gronden (Gt IV en VI) bedraagt 56,4% en het aandeel droge gronden (Gt VII en VIII) bedraagt 40,2 %.

Binnen de Raam wordt naar verhouding veel beregening toegepast om het neerslagtekort in de zomer aan te vullen. De beregening vindt overwegend plaats vanuit het grondwater. In een deel van het gebied komt buisdrainage voor. In Bijlage E zijn de bij behorende kaarten weergegeven.

4.3 Regioscan Zoetwatermaatregelen

4.3.1 Aanpak

Om de Regioscan Zoetwatermaatregelen te kunnen gebruiken zijn een aantal basisbestanden noodzakelijk in de vorm van een idf –bestanden waaronder o.a.:

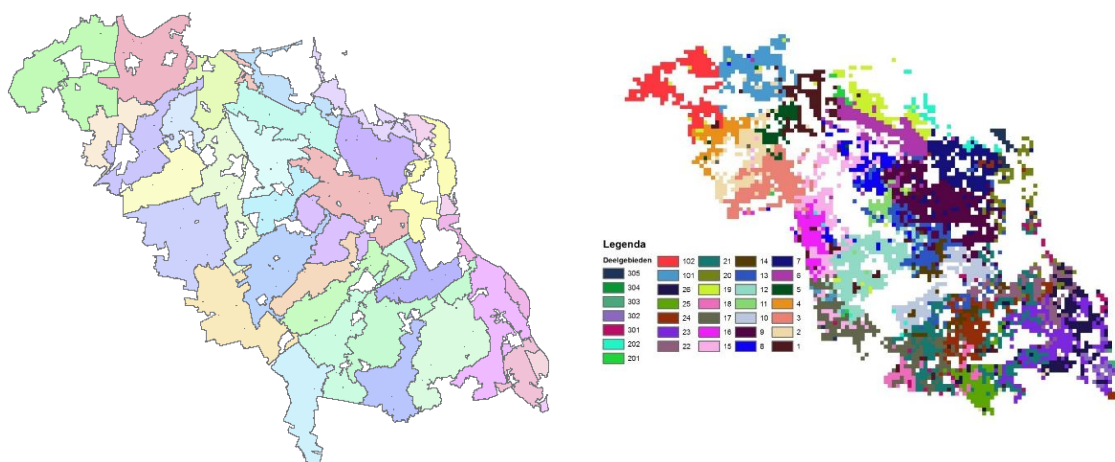
- Deelgebieden: Kaart met de onderscheiden subareas, of deelgebieden binnen het pilotgebied de Raam, rekening houdend met de oppervlaktewatersysteem. Het schaalniveau van de deelgebieden is tevens het uitspraakniveau;
- Modelbedrijven: clustering van rekencellen tot één modelbedrijf;
- Bedrijfstypen: toekenning van de modelbedrijven (clustering van rekencellen) naar een bijbehorend bedrijfstypen;
- Beregeningstype: beregening uit grond- of oppervlaktewater;
- Bodemtype: conform de bodemtypes in LHM;
- Landgebruik: onderscheiden zijn gras, mais, aardappelen, suikerbieten, graan, overige gewassen, boomteelt, fruitteelt, bollen en overig.

Op basis van het huidig landbouwareaal en het aantal huidige landbouwbedrijven in de Raam zijn modelbedrijven samengesteld. Tabel 4.3 geeft een overzicht van het areaal van de voorbeeldbedrijven naar gewascategorie in de Raam.

Tabel 4.3: Areaal van voorbeeldbedrijven naar gewascategorie in de Raam.

| | Voorbeeldbedrijven | | | | | | | Totaal areaal voorbeeld-bedrijven (ha) | Waargenomen areaal totaal (ha) |
|--|--------------------|-----------|-------------------------------|---------------------|------------------|------------------|--------------------------|--|--------------------------------|
| | Bedrijven met voer | Akkerbouw | Bedrijven met overige teelten | Boomteelt-bedrijven | Fruit-bedrijve n | Bollen Bedrijven | Voer akkerbouw bedrijven | | |
| <i>Aantal bedrijven in gebied</i> | 579 | 167 | 92 | 46 | 8 | 33 | | | |
| <i>Gewascategorie areaal (ha)</i> | | | | | | | | | |
| 1. Gras | 12.5 | | | | | 6.25 | 6.25 | 7562.5 | 9025 |
| 2. Mais | 6.25 | 12.5 | 6.25 | 6.25 | 6.25 | 6.25 | 12.5 | 7062.5 | 8027.46 |
| 3. Aardappelen | | 12.5 | | | | | 6.25 | 2206.25 | 2012.3 |
| 4. Suikerbieten | | 6.25 | | | | | | 1043.75 | 765.77 |
| 5. Graan | | 6.25 | | | | | | 1043.75 | 642.99 |
| 6. Overige gewassen | | | 18.75 | | | | 6.25 | 1843.75 | 1962 |
| 7. Boomteelt | | | | 12.5 | | | | 575 | 740.23 |
| 9. Fruitteelt | | | | | 18 | | | 144 | 134.12 |
| 10. Bollen | | | | | | 12.5 | | 412.5 | 387.25 |
| totaal ha voorbeeldbedrijf | 18.75 | 37.5 | 25 | 18.75 | 24.25 | 25 | 31.25 | 21894 | 23697.12 |
| Werkelijk gemiddelde areaal van deze bedrijven | 21.54 | 24.8 | 19.1 | 21.9 | 26.8 | 27.1 | 30.5 | | |

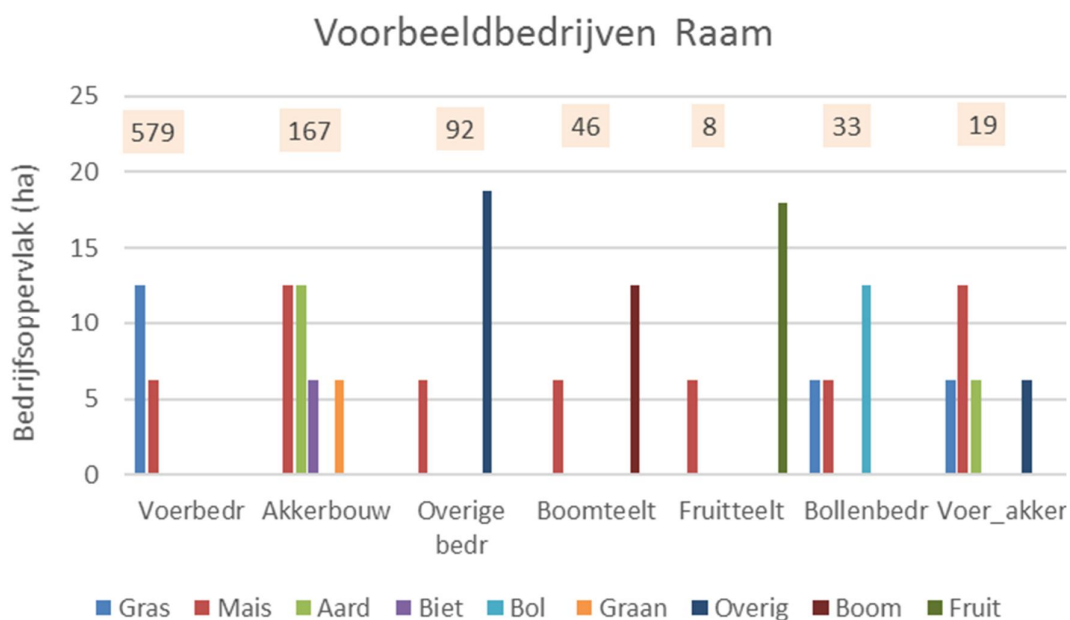
Op basis van de waterhuishoudkundige inrichting van het pilotgebied worden binnen de Raam 36 deelgebieden onderscheiden (Figuur 4.3, links). Het landbouwareaal binnen elk van de deelgebieden wordt toebedeeld aan de onderscheiden modelbedrijven (Tabel 4.3) zodanig dat de gehele oppervlakte wordt toegekend. Elk modelbedrijf als geheel ligt binnen een van de 36 onderscheiden deelgebieden.



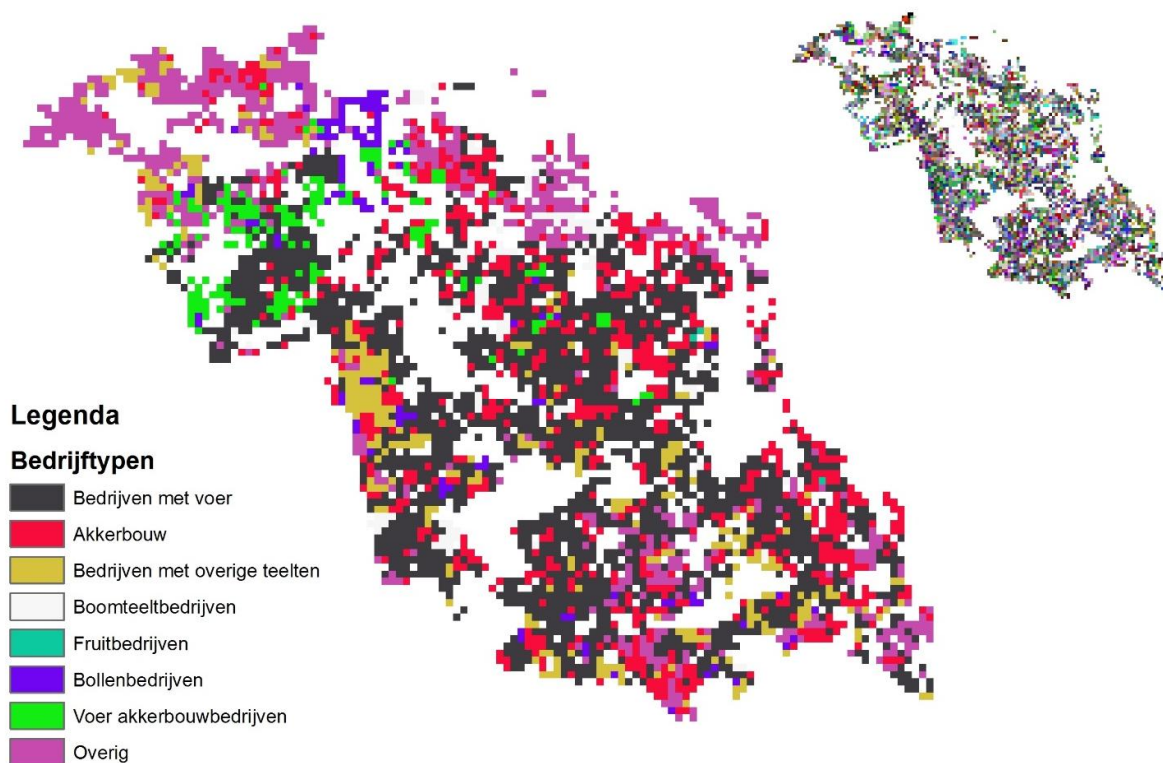
Figuur 4.3: Deelgebieden binnen de Raam (links) en na plaatsing modelbedrijven.

Omdat een modelbedrijf niet in meerdere deelgebieden kan liggen en omdat het agrarische areaal niet altijd optimaal kan worden toegekend aan modelbedrijven is de begrenzing van de deelgebieden soms enigszins aangepast om de modelbedrijven te kunnen plaatsen (Figuur 4.3, rechts).

Het aantal modelbedrijven in de Raam staat weergegeven in Figuur 4.4 en de ruimtelijk toegekende ligging van de bedrijfstypen staat weergegeven in Figuur 4.5. Het meest voorkomende bedrijfstype is voerbedrijf bestaande uit 12,5 ha gras en 6,25 ha mais (579 bedrijven).

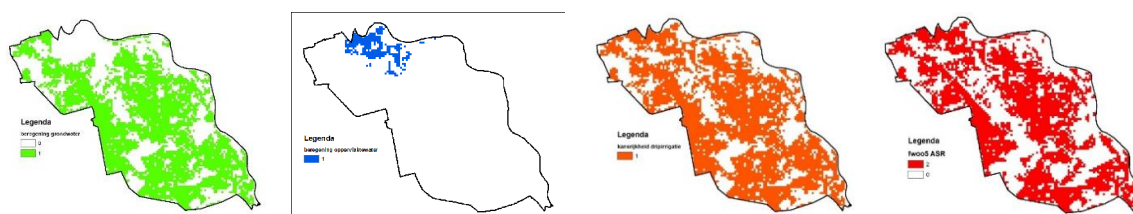


Figuur 4.4: Aantal onderscheiden voorbeeldbedrijven en bijbehorend grondgebruik per bedrijf.



Figuur 4.5: Ruimtelijke verspreiding van de onderscheiden bedrijfstypen (linksonder) en de onderscheiden 1130 modelbedrijven (rechtsboven).

Omdat niet elke maatregel op elke locatie kan worden toegepast is per maatregel een fysieke geschiktheidskaart beschikbaar. Totaal zijn er voor de Raam 25 geschiktheidskaarten beschikbaar, in Figuur 4.6 is als voorbeeld voor 4 maatregelen weergegeven waar deze fysiek kansrijk zijn.



Figuur 4.6: Geschiktheid voor beregning uit grondwater (links), beregning uit oppervlaktewater (links van het midden), druppelirrigatie (rechts van het midden) en ASR (rechts)

Scenario's

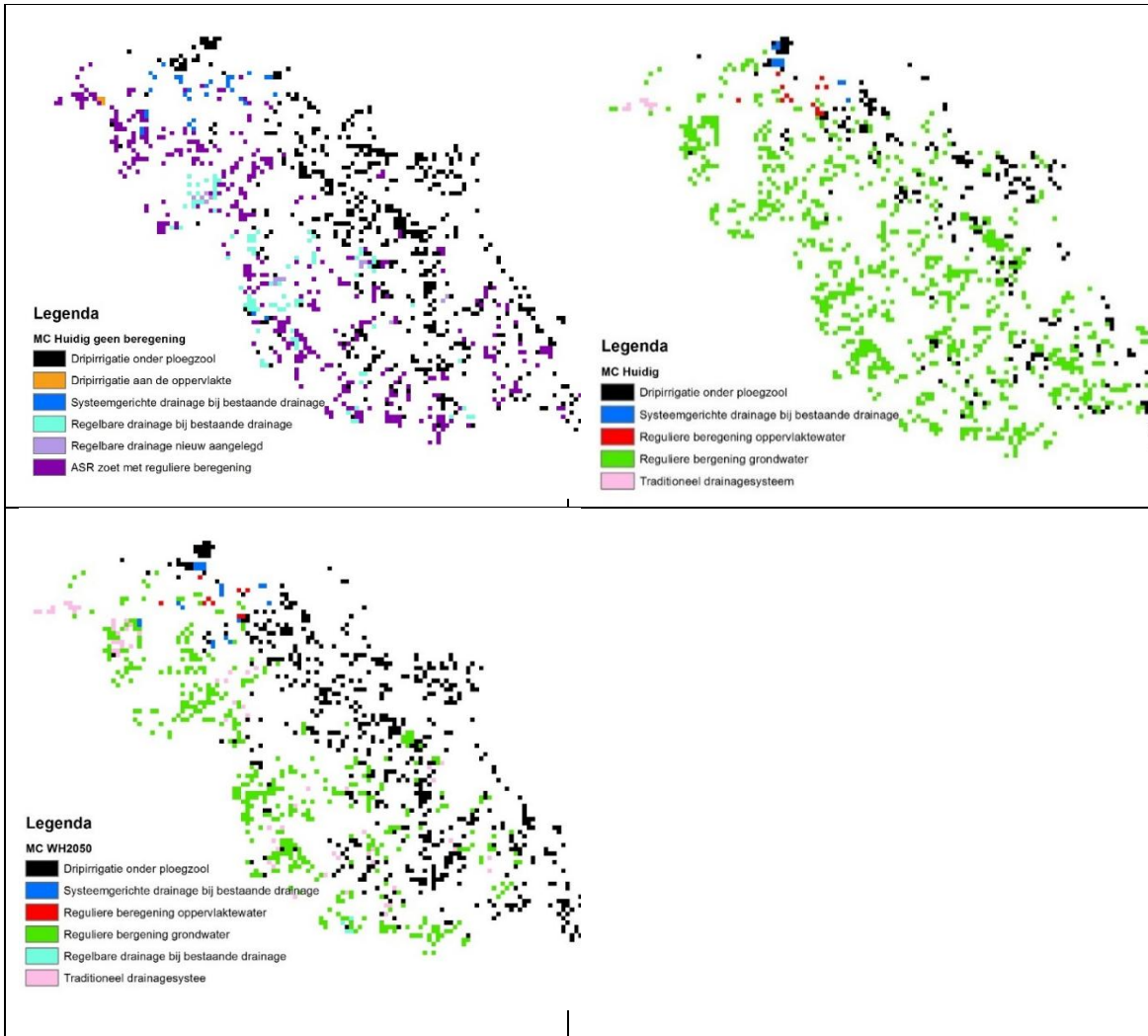
De Regioscan Zoetwatermaatregelen biedt de mogelijkheid om verschillende scenario's door te rekenen. Als eerste stap zijn 3 scenario's doorgerekend met de Regioscan Zoetwatermaatregelen en vergeleken met de referentiesituatie, waarbij een implementatiegraad van 25% is aangehouden.

- Scenario 'huidig': Huidige situatie (alle maatregelen toegestaan);

- Scenario 'huidig zonder beregening': (23 maatregelen, geen beregening uit grond- of oppervlaktewater);
- Scenario 'WH2050': Klimaatscenario WH2050 (alle maatregelen).

4.3.2 Prioritering maatregelen/maatschappelijke kosten-baten

De resultaten van deze scenario's is weergegeven in meerdere figuren. Figuur 4.7 geeft weer welke maatregel op basis van de baten-kosten ratio het gunstigst is voor 25% van de bedrijven onder de verschillende klimaatscenario's.



Figuur 4.7: Gekozen maatregel in huidige situatie waarbij geen beregening toegestaan is (linksboven), in de huidige situatie waarbij ook beregening is toegestaan (rechtsboven) en bij WH2050 waarbij ook beregening is toegestaan (linksonder).

Bij scenario 'huidig zonder beregening' zijn op basis van de baten-kosten ratio de maatregelen druppelirrigatie onder de ploegzool in een strook langs de Maas en voor het overige gebieden ASR met reguliere beregening geselecteerd. Bij een aantal al gedraineerde bedrijven wordt omzetting naar systeemgerichte drainage (noorden van het pilotgebied) en regelbare drainage (in het middengebied van de Raam) als maatregel geselecteerd.

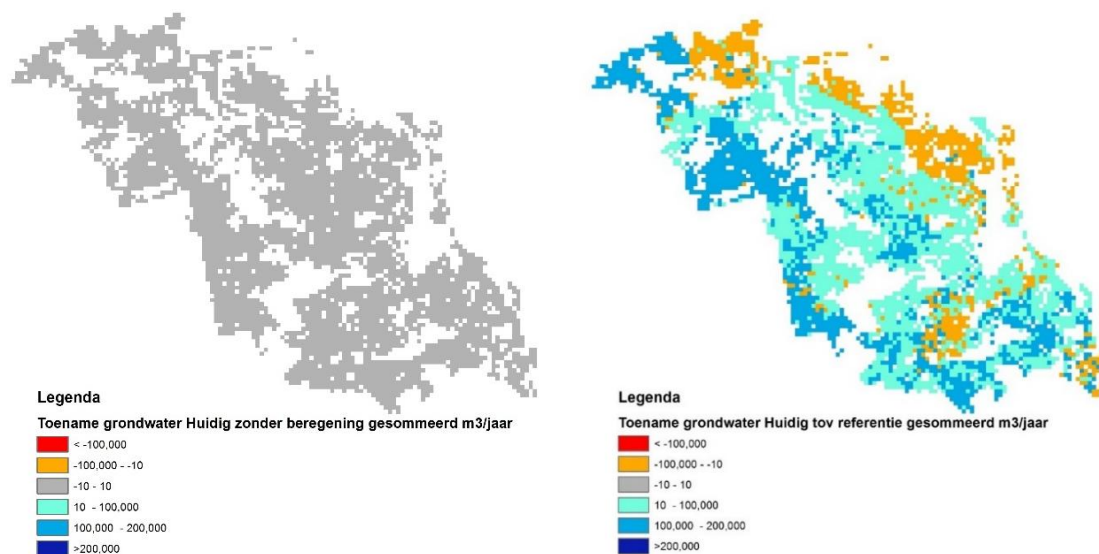
Bij scenario 'huidig' wordt de maatregel druppelirrigatie onder de ploegzool in een smalle strook langs de Maas geselecteerd en voor het overige deel van de Raam reguliere beregening uit grondwater. Bij klimaatscenario 'WH2050' zien we een toename van de maatregel druppelirrigatie onder de ploegzool in een brede band langs de Maas en een afname van reguliere beregening uit grondwater.

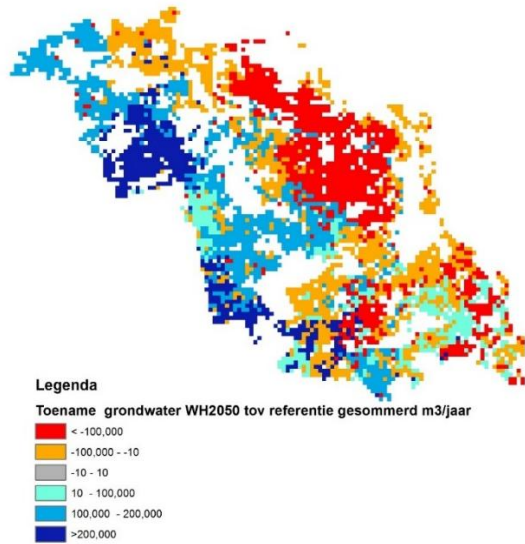
4.3.3 Bijdrage aan regionale zelfvoorzienendheid

De drie scenario's geven inzicht in de verandering van waterverbruik uit grond- en oppervlaktewater. In Figuur 4.8 is per deelgebied de toename van het grondwaterverbruik ten opzichte van de referentie weergegeven. In scenario 'huidig zonder beregening' kunnen de maatregelen combinaties beregening uit grondwater en beregening uit oppervlaktewater niet worden geselecteerd. We zien dan ook geen toe- of afname van het grondwatergebruik bij dit scenario.

Bij scenario 'huidig' zien we in een strook langs de Maas een afname van het grondwatergebruik. Dit kan worden verklaard doordat in deze deelgebieden de maatregelen combinaties druppelirrigatie veelal wordt geselecteerd, waarbij gebruik wordt gemaakt van oppervlaktewater. In de rest van het gebied wordt overwegend de maatregelen combinatie beregening uit grondwater geselecteerd, hier zien we dan ook een toename van het grondwaterverbruik. Voor het pilotgebied is er een toename van het grondwatergebruik van 1,74 miljoen m³ ten opzichte van de referentiesituatie.

In klimaatscenario 'WH2050' zien we een sterke afname van het grondwaterverbruik in een band langs de Maas maar ook in enkele deelgebieden in het zuiden van de Raam. Aan de westzijde zien we een sterke toename van het grondwaterverbruik. Voor het pilotgebied als geheel neemt het grondwatergebruik toe met 0,55 miljoen m³ ten opzichte van de referentiesituatie.



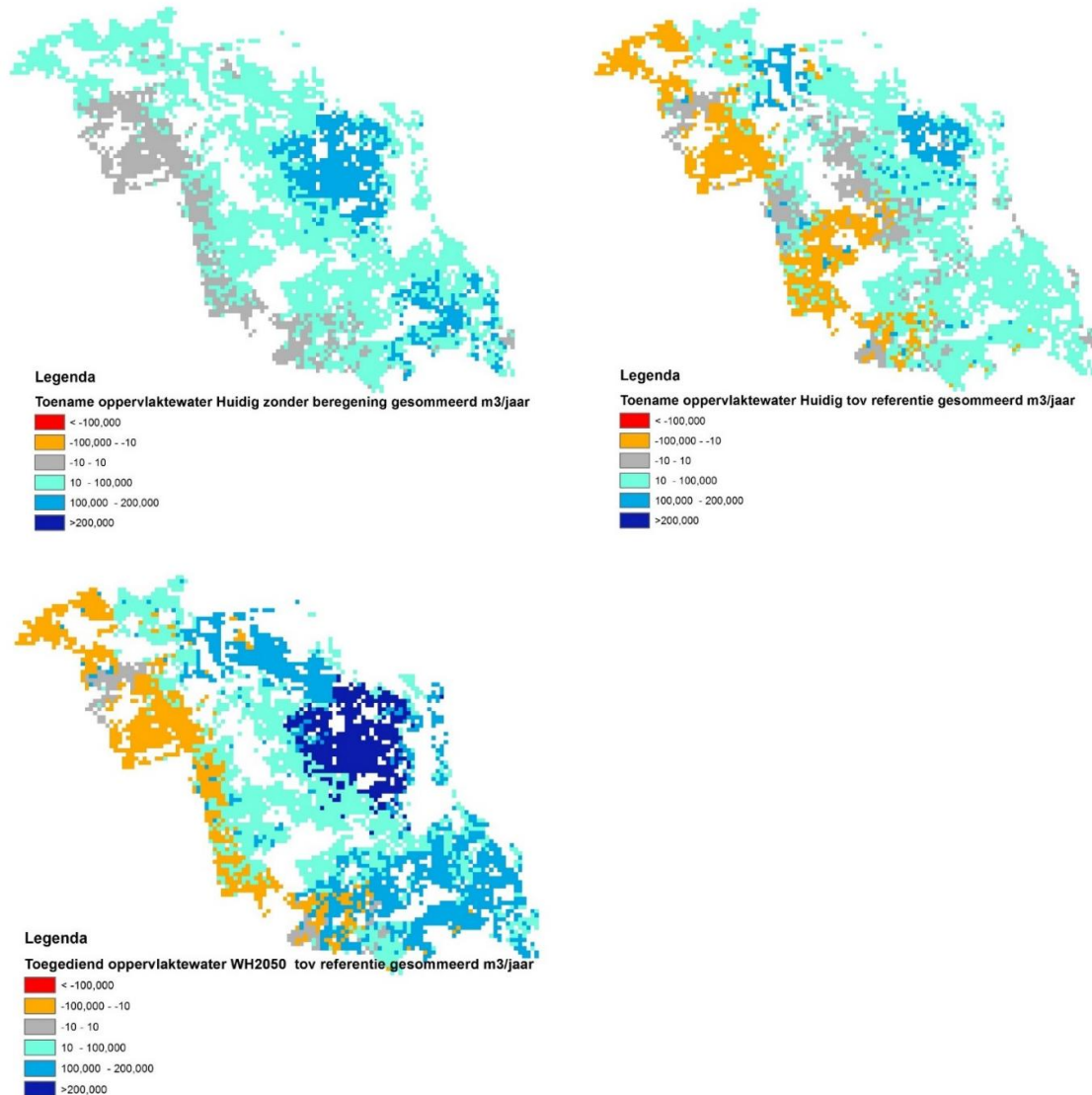


Figuur 4.8: Verandering in het grondwatergebruik t.o.v. de referentiesituatie

In Figuur 4.9 is per deelgebied de toename van het oppervlaktewaterverbruik weergegeven. In 'scenario *huidig zonder berekening*' leidt met uitzondering van een smalle strook langs de westzijde van de Raam tot een toename van het gebruik aan oppervlaktewater. De maatregel druppelirrigatie gaat uit van oppervlaktewatergebruik en draagt daardoor bij aan toename van het oppervlaktewatergebruik. In de eerder genoemde strook aan de westzijde is geen toename te zien. Voor het pilotgebied is er een toename van het oppervlaktewatergebruik van 1,22 miljoen m³ ten opzichte van de referentiesituatie.

In scenario '*huidig*' neemt het oppervlaktewatergebruik in bijna alle deelgebieden in de westelijke strook af of blijft globaal gelijk aan de referentiesituatie, omdat in deze gebieden de maatregel berekening uit grondwater als meest kansrijke maatregel wordt geselecteerd. In een brede strook langs de Maas neemt het oppervlaktewatergebruik toe. Voor het gehele pilotgebied is er een toename van het oppervlaktewatergebruik van 0,73 miljoen m³ ten opzichte van de referentiesituatie.

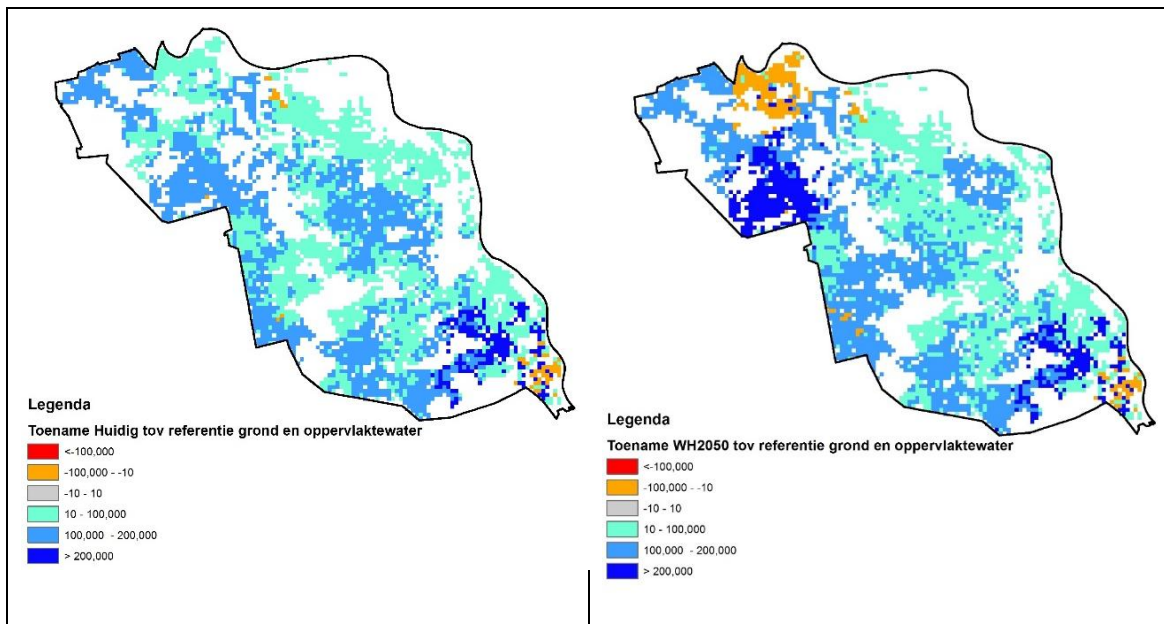
In scenario '*WH2050*' zien we aantal gebieden waar het oppervlaktewatergebruik toeneemt t.o.v. de referentie, deze deelgebieden liggen in een band langs de Maas. Aan de westzijde ligt een smalle strook waar sprake is van een afname in het oppervlaktewatergebruik. Voor het gehele pilotgebied is er een toename van het oppervlaktewatergebruik van 2,46 miljoen m³ ten opzichte van de referentiesituatie.



Figuur 4.9: Verandering in het oppervlaktewatergebruik t.o.v. de referentiesituatie.

In Figuur 4.10 zijn voor de scenario's 'huidig' en 'WH2050' de verandering van het watergebruik uit grond en oppervlaktewater weergegeven. Uit deze figuur volgt dat in scenario 'huidig' op enkele kleine uitzonderingen na een toename wordt berekend van het totale watergebruik t.o.v. van de referentiesituatie. Voor het gehele pilotgebied is er een toename van het watergebruik van 2,47 miljoen m³ ten opzichte van de referentiesituatie.

Voor klimaatscenario 'WH2050' zien we vooral in het noorden van de Raam een gebied waarvoor een afname wordt berekend. Ook valt een gebied op in het noordwesten (donkerblauw) dat een sterke toename laat zien. Voor het gehele pilotgebied is er een toename van het watergebruik van 3,0 miljoen m³ ten opzichte van de referentiesituatie.

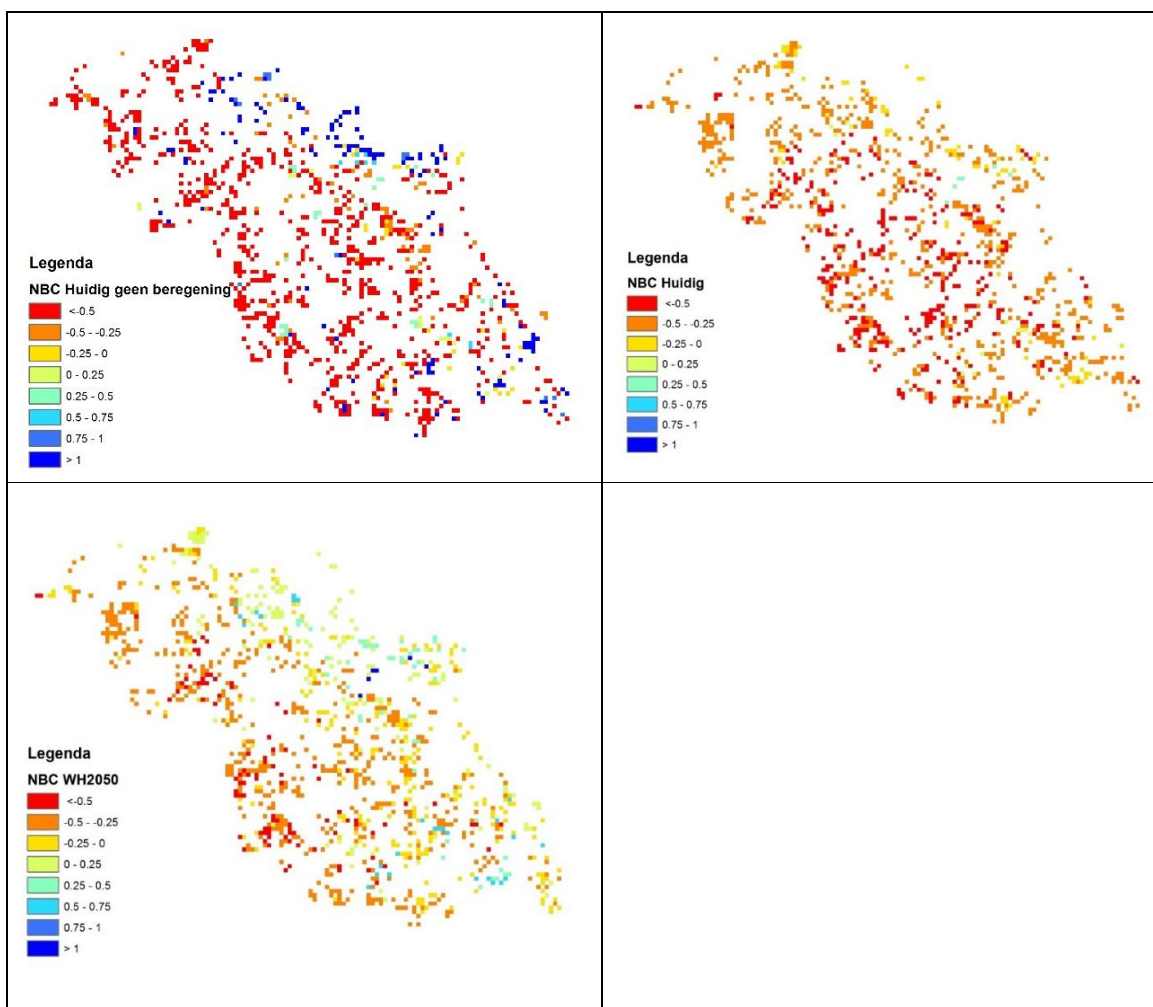


Figuur 4.10: Verandering in het totale watergebruik t.o.v. de referentiesituatie voor de huidige situatie en klimaatscenario WH2050.

Bij een implementatiegraad van 25% bedraagt het watergebruik in de huidige situatie 5,3 miljoen m³ en bij klimaatscenario WH2050 6,9 miljoen m³,

4.3.4 Kosten

De keuze van de maatregel wordt gemaakt op basis van de baten-kosten ratio (Net Benefits Costs (NBC)). In figuur 4.19 is de baten-kostenratio voor de geselecteerde maatregelen weergegeven.



Figuur 4.11: Baten-kosten ratio van de geselecteerde maatregel in huidige situatie waarbij geen berekening mag worden gekozen (linksboven), in de huidige situatie waarbij ook berekening mag worden gekozen (rechtsboven) en bij WH2050 waarbij ook berekening mag worden gekozen (linksonder). Oranje/rood is een negatieve baten-kosten ratio en blauw is een positieve baten-kosten ratio.

Voor scenario 'huidig zonder berekening' wordt voor een deel van de bedrijven met maatregel druppelirrigatie onder de bouwvoor een positieve NBC-waarde berekend, voor de overige bedrijven met deze maatregel en voor de overige geselecteerde maatregelen wordt een negatieve NBC-waarde berekend. Voor scenario 'huidig' zijn alle NBC-waarden negatief. In scenario 'WH2050' worden wederom voor enkele locaties positieve NBC-waarden berekend.

4.3.5 Vergelijking met een regionaal hydrologisch model

4.3.5.1 Regioscan Zoetwatermaatregelen

In de pilot De Raam zijn de resultaten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen vergeleken met een regionaal model van de Raam. De vergelijking vindt plaats door de met de Regioscan berekende verandering van het watergebruik, bij een implementatiegraad van 100%, te vergelijken met de verandering in watergebruik die wordt berekend met het regionaal hydrologisch model. Er is geen verschil gemaakt in herkomst van het water, grond- of oppervlaktewater, mede ook omdat er vraagtekens worden gezet bij de fysische geschiktheidskaart voor berekening uit het oppervlaktewater.

Met de Regioscan Zoetwatermaatregelen zijn onderstaande maatregelcombinaties (Tabel 4.4) doorgerekend.

Tabel 4.4: Overzicht van de doorgerekende maatregelcombinaties

| Maatregel-combinatie | Omschrijving |
|----------------------|---|
| 15 en 16 | Reguliere berekening grondwater Reguliere berekening oppervlaktewater |
| 25 en 26 | Regelbare drainage nieuw, met reguliere berekening voor resterend tekort Regelbare drainage bestaand, met reguliere berekening voor resterend tekort |
| 13 en 14 | Regelbare drainage - nieuw aangelegd Regelbare drainage met subinfiltratie bij bestaande drainage |
| 23 en 24 | Druppelirrigatie aan de oppervlakte Druppelirrigatie onder de ploegzool aangebracht |

Bij de toepassing van regelbare drainage met of zonder subinfiltratie via wateraanvoer wordt geen onderscheid gemaakt tussen al aanwezige drainage of nieuw aangelegde drainage, in beide gevallen wordt regelbare drainage toegepast. Er is alleen gekeken naar het effect op het watergebruik en niet naar de kosten. Verder wordt bij druppelirrigatie geen onderscheid gemaakt tussen toediening aan de oppervlakte of onder de ploegzool.

De maatregelen kunnen niet overal worden toegepast, daarvoor zijn fysische geschiktheidskaarten gemaakt die per maatregel aangeven of een bepaalde maatregel op een bepaalde locatie (grid) kan worden doorgevoerd. Omdat voor de vergelijking maatregelcombinaties zijn samengevoegd zijn nieuwe fysische geschiktheidskaarten gemaakt voor de samengevoegde maatregelen die ook bij de modelberekeningen worden toegepast (Bijlage 12).

4.3.5.2 Regionaal grondwatermodel

In Limburg bestaat sinds 2007 het gebiedsdekkend regionaal hydrologisch model IBRAHYM. Het model beschrijft de complete waterhuishouding van Noord- en Midden Limburg, van diepe ondergrond tot en met het oppervlaktewater. IBRAHYM is in de periode 2007-2009 in opdracht van waterschap Peel en Maasvallei, waterschap Roer en Overmaas, Waterleiding Maatschappij Limburg en Provincie Limburg ontwikkeld in samenwerking met de onderzoeksinstituten TNO/Deltares, Alterra en Royal Haskoning. Door de betrokkenheid van alle partners en de overeenstemming over toegepaste kennis, modelconcepten en modeldata, is IBRAHYM een waardevol instrument, dat veel ten behoeve van grondwater modellen beschikbare kennis bevat. Recent heeft een actualisatie en kalibratie van het model plaatsgevonden (Vermeulen et al., 2015). Het model IBRAHYM is uitgebreid voor waterschap Aa en Maas en wordt momenteel getoetst. Het pilotgebied van De Raam ligt binnen het modelgebied.

Met dit model zijn vier berekeningen uitgevoerd om het effect van hydrologische maatregelen op het watergebruik te bepalen en om het resultaat vervolgens te kunnen vergelijken met de Regioscan Zoetwatermaatregelen. De rekenperiode verschilt tussen de beide modellen, de Regioscan baseert de resultaten op de periode 1981-2010, terwijl met het regionale model de periode 1996-2015 is doorgerekend. Met het model zijn 4 rekenruns uitgevoerd, nl:

- Huidige situatie: deze dient ter vergelijking met de referentiesituatie in de Regioscan,
- Gebiedsdekkende berekening volgens de fysische geschiktheidskaart, vergelijkbaar met de maatregelcombinatie 15 en 16 in de Regioscan,
- Peilgestuurde drainage, waarbij de drains op 90 cm-mv zijn gelegd en het peil op 50 cm-maaiveld is ingesteld volgens de fysische geschiktheidskaart. Het te beregenen gebied is gelijk aan de referentiesituatie van het regionaal hydrologisch model IBRAHYM, waardoor deze modelrun niet direct vergelijkbaar is met de Regioscan.
- Peilgestuurde drainage, waarbij de drains op 90 cm zijn gelegd en het peil op 50 cm-maaiveld wordt gehandhaafd door wateraanvoer volgens de fysische geschiktheidskaart. Het te beregenen gebied is gelijk aan de referentiesituatie van het regionaal hydrologische model IBRAHYM waardoor deze modelrun niet direct vergelijkbaar is met de Regioscan.

De start en einddatum voor berekening in het regionaal hydrologisch model verschilt per gewas volgens onderstaande tabel. Als de pF boven 2,5 uitkomt, wordt berekend (Vermeulen et al., 2007).

| Landgebruik | Start | Eind |
|-------------|--------|-------------|
| Gras | 15 mei | 1 oktober |
| Aardappelen | 1 juli | 1 september |
| Bieten | 1 juli | 1 september |
| Overig | 1 mei | 1 september |

4.3.5.3 Resultaten

Berekening

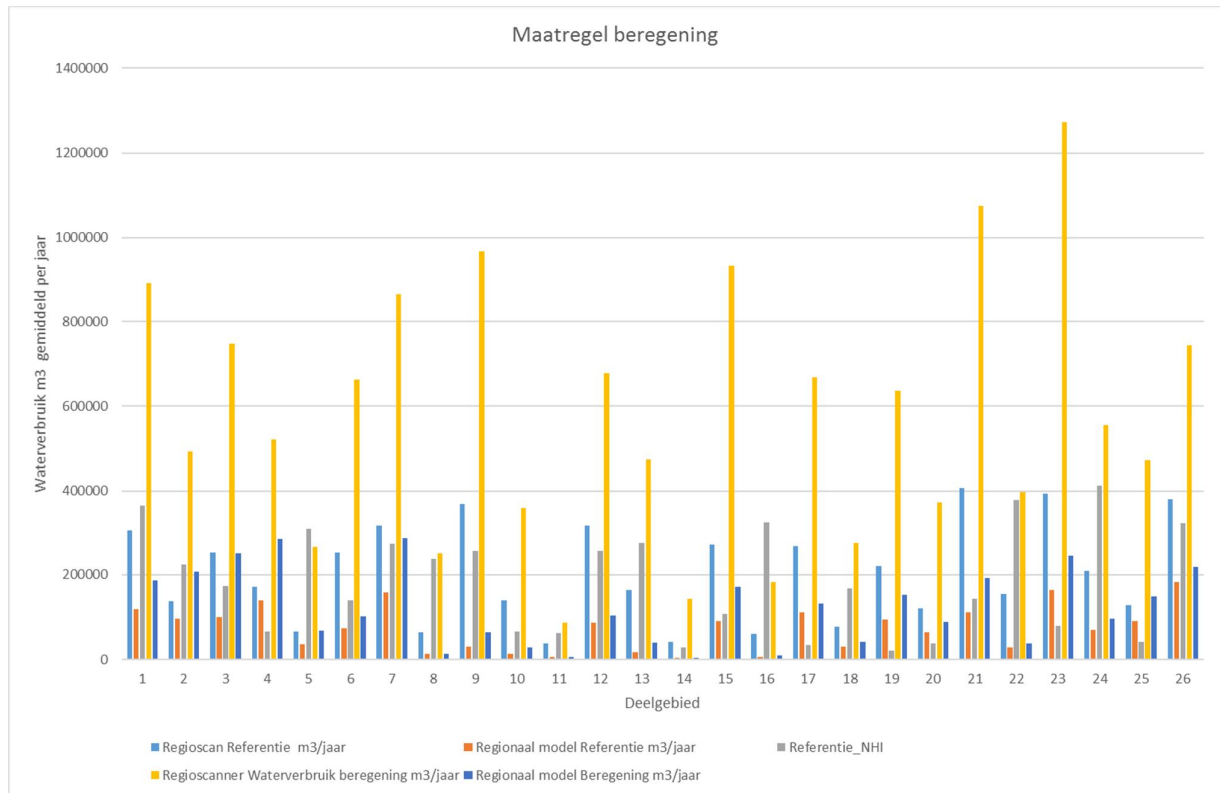
Bij toepassing van deze maatregel met de Regioscan Zoetwatermaatregelen zien we een sterke toename van het waterverbruik t.o.v. de referentiesituatie. Dat is verklaarbaar omdat in vergelijking

met de referentiesituatie alle bedrijven beregenen uit grond- en/of oppervlaktewater, in de referentiesituatie is dit niet het geval. In Figuur 4.12 en Bijlage E is voor de onderscheiden deelgebieden (Bijlage E.8) het waterverbruik weergegeven. Niet alle deelgebieden zijn weergegeven in Figuur 4.12, maar alleen deelgebied 1 t/m 26, dat geldt ook voor de volgende figuren. In de huidige situatie is het gemiddelde waterverbruik in de Raam 6,2 miljoen m³/jaar (25 mm, dit is gemiddeld over het landbouwareaal volgens de fysische geschiktheidskaart), het watergebruik neemt bij gebiedsdekkende toepassing van deze maatregel toe naar 17,8 miljoen m³/jaar (73 mm).

Om de resultaten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen te beoordelen zijn modelberekeningen uitgevoerd met het regionaal hydrologisch model IBRAHYM. De berekeningen hebben betrekking op de periode 1996-2015, derhalve 20 jaar in tegenstelling tot de Regioscan die is gebaseerd op de periode 1981-2010. De overlappende periode is 15 jaar. Het hydrologisch model geeft voor de referentiesituatie een watergebruik van 2,4 miljoen m³/jaar (10 mm) en bij toepassing van de maatregel neemt het watergebruik toe naar 3,9 miljoen m³/jaar (16 mm). De berekening in de referentiesituatie berekent met het regionaal hydrologisch model IBRAHYM (10 mm/jaar) bedraagt slechts 38% van de berekening die wordt berekend met de Regioscan (25 mm/jaar).

Ter controle is tevens de beregeningsgift volgens het LHM voor de periode 1981-2010 bepaald, deze berekening kan worden gezien als de referentieberekening. Volgens het LHM is het waterverbruik voor berekening 6,3 miljoen m³/jaar, dit komt goed overeen met de Regioscan Zoetwatermaatregelen. Op deelgebiedsniveau zijn er echter verschillen.

De beregeningsgift die wordt aangehouden in het regionaal hydrologisch model IBRAHYM wijkt dus sterk af van de beregeningsgift van het LHM en de Regioscan. Doordat de Ausgangssituatie t.a.v. de berekening tussen IBRAHYM en de Regioscan duidelijk verschilt, is het lastig om het effect van de maatregel te vergelijken.



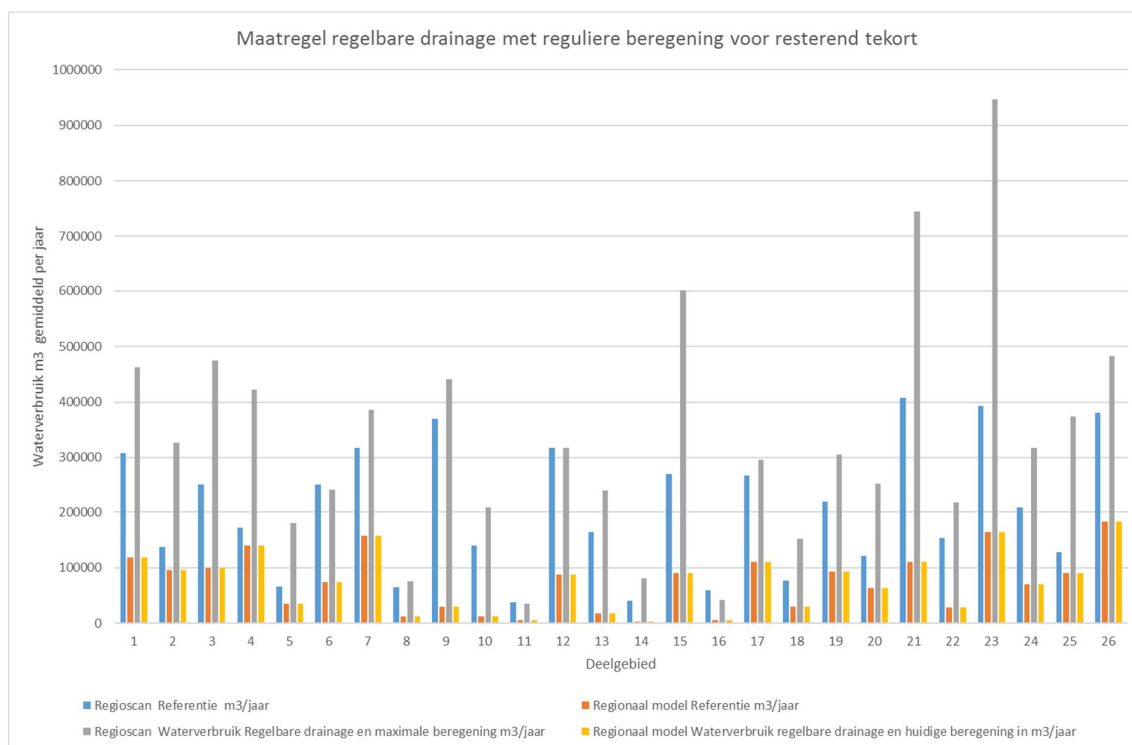
Figuur 4.12: Waterverbruik uit grond- en oppervlaktewater in referentiesituatie en bij gebiedsdekkende invoering van beregening

Regelbare drainage met reguliere beregening voor resterend tekort

De introductie van de maatregel regelbare drainage betekent dat in het voorjaar en in de zomer na natte perioden langer water kan worden vastgehouden, hierdoor is beregening pas later in het seizoen noodzakelijk. Het gebruik van perceel eigen water beperkt het waterverbruik vanuit oppervlakte- en grondwater. Het eventuele resterend vochttekort wordt door beregening vanuit het grond- en of oppervlaktewater aangevuld. Door deze maatregelcombinatie neemt het watergebruik toe van 6,2 miljoen m³/jaar (25 mm/jaar) in de huidige situatie naar 10,4 miljoen m³/jaar (42 mm/jaar) bij gebiedsdekkende toepassing van deze maatregel. Ten opzichte van maatregelcombinatie reguliere beregening levert dit gebiedsdekkend een besparing op van 7,4 miljoen m³/jaar (31 mm/jaar). In Figuur 4.13 en bijlage E.4 zijn de resultaten voor de deelgebieden weergegeven.

Met het regionaal hydrologische model IBRAHYM zijn de effecten op het watergebruik doorgerekend van de toepassing van regelbare drainage bij de huidige beregeningssituatie. Voor regelbare drainage is aangenomen dat de drains op 90 cm-maaiveld liggen en het ontwateringsniveau op 50 cm-mv. Deze maatregel levert een minimale waterbesparing op voor de huidige beregeningssituatie van 79 m³, oftewel 0% ten opzichte van referentiesituatie. De berekening met het regionaal hydrologisch model IBRAHYM is niet vergelijkbaar met de berekening met de Regioscan, omdat bij de Regioscan aanvullend wordt berekend om het resterend vochttekort teniet te doen. In de doorlooptijd van het

project was het niet mogelijk ook een IBRAHYM berekening te doen waarbij ook aanvullend wordt berekend.

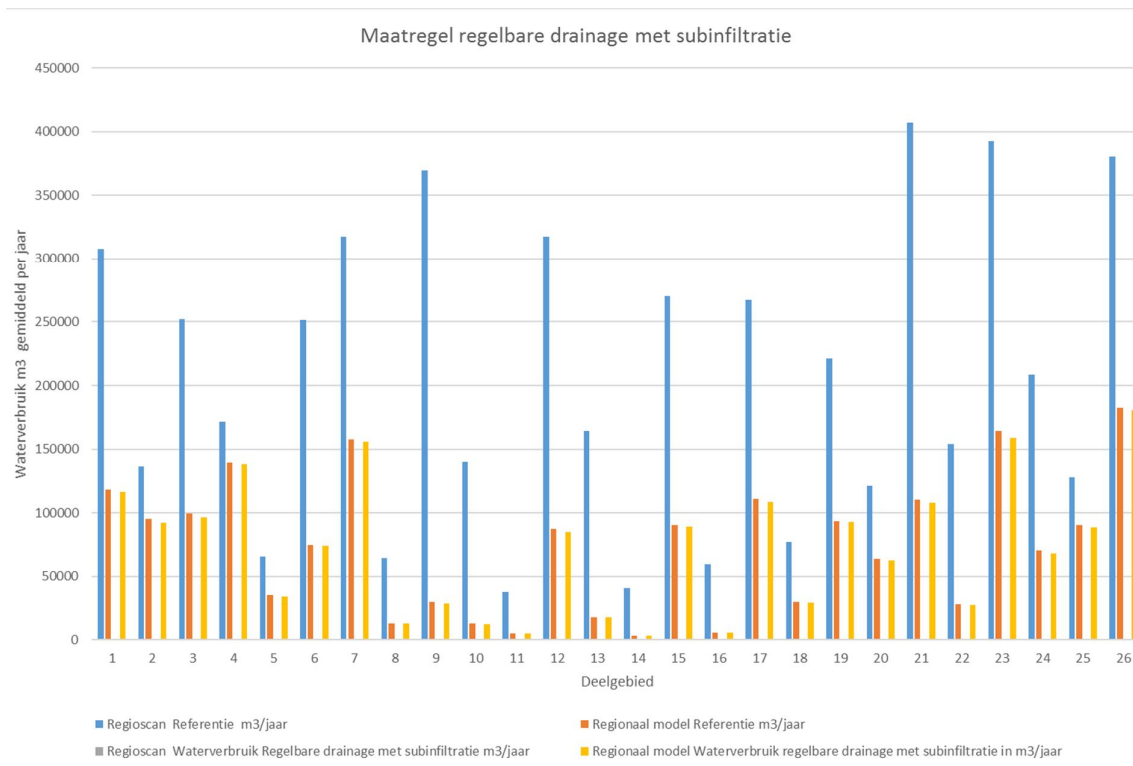


Figuur 4.13: Waterverbruik uit grond- en oppervlaktewater in referentiesituatie en bij gebiedsdekkende invoering van regelbare drainage (aanpassen met modelresultaten).

Regelbare drainage met subirrigatie

Als bron voor subirrigatie dienen reststromen van water die niet beperkend zijn, voorbeelden zijn de reststroom van een bierbrouwer of RWZI. Omdat gebruik wordt gemaakt van reststromen van water, gaat het watergebruik naar 0 m³ mits de beschikbaarheid van water niet beperkend is. Bedenk dat de Regioscan er geen rekening mee houdt dat deze reststromen anders eventueel elders op het watersysteem komen. Bij deze maatregel is er dan geen beregning meer noodzakelijk en neemt de huidige beregning af tot 0 m³ (Figuur 4.14 en Bijlage E.5).

Deze maatregel is niet op identieke wijze in IBRAHYM te implementeren. Met het regionaal hydrologisch model IBRAHYM is daarom een enigszins vergelijkbare maatregel doorgerekend. Met het model is uitgaande van de huidige beregningssituatie berekend wat het effect is van de aanleg van regelbare drainage als het peil door wateraanvoer op 50 cm kan worden gehandhaafd. De toepassing van deze maatregel levert een waterbesparing op van 41302 m³, oftewel 1,7% ten opzichte van de referentiesituatie zoals berekend met IBRAHYM.

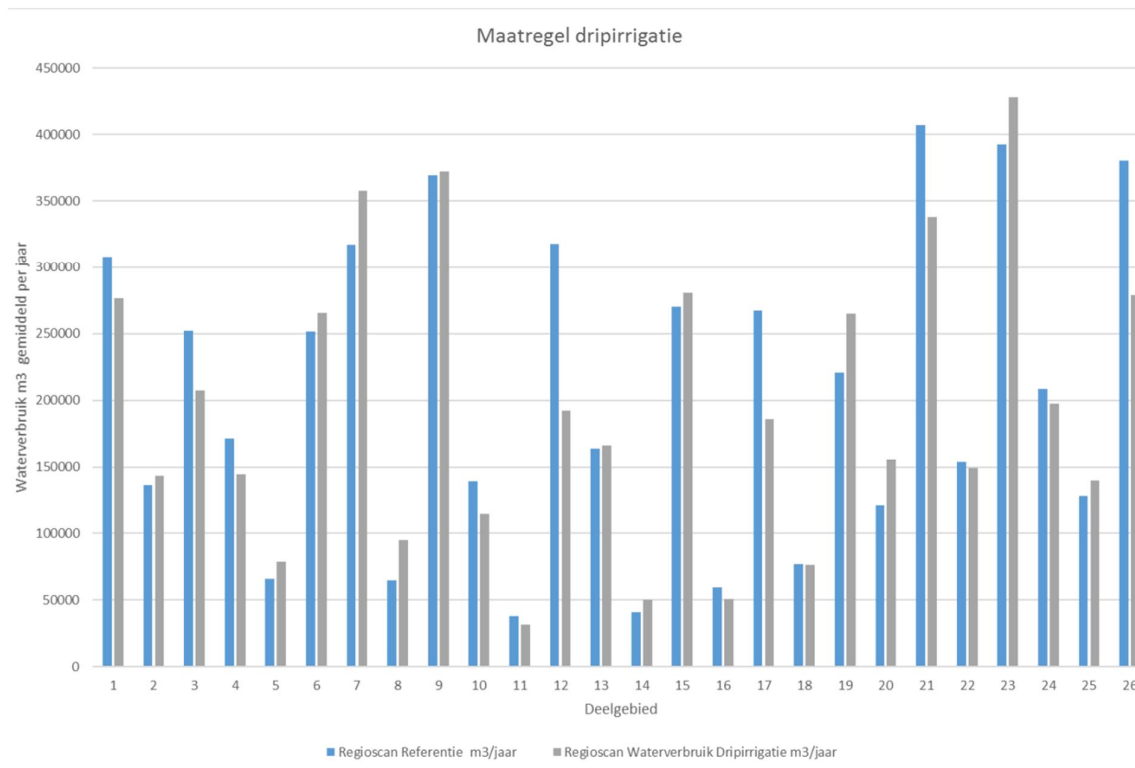


Figuur 4.14: Waterverbruik uit grond- en oppervlaktewater in referentiesituatie en bij gebiedsdekkende invoering van regelbare drainage met subinfiltratie.

Druppelirrigatie

Bij de maatregel druppelirrigatie wordt water toegediend aan maaiveld of onder de bouwvoor, dit levert een waterbesparing op ten opzichte van reguliere beregening. Bij reguliere beregening komt gemiddeld maar 25% van de beregeningsgift ten goede aan de verdampingsreductie (uitkomsten LHM analyse, verliezen treden op door verwaaiing, interceptieverdamping en aanvulling van het grondwater). Het effect van reguliere druppelirrigatie is 90% en voor druppelirrigatie onder de ploegzool is het effect 50-70%. Omdat beide vormen van druppelirrigatie kunnen worden geselecteerd wordt de efficiëntie gemiddeld gesteld op ca. 75%. Bij gebiedsdekkende toepassing van reguliere beregening neemt het watergebruik ten opzichte van de referentiesituatie ongeveer toe met een factor drie. Omdat de efficiëntie van druppelirrigatie een factor drie hoger is dan reguliere beregening (ca. 75% versus 25%) zou het watergebruik bij gebiedsdekkende vervanging van beregening door druppelirrigatie bij benadering overeen moeten komen met de huidige beregening.

Volgens de Regioscan levert de maatregel druppelirrigatie inderdaad gebiedsdekkend een besparing op van slechts zo'n 0,26 miljoen m³ in vergelijking met de referentiesituatie (watergebruik 6,2 miljoen m³), oftewel 4%. In Figuur 4.15 en bijlage E.5 zijn de resultaten weergegeven. De gebiedsdekkende introductie van deze maatregel leidt in de meeste deelgebieden tot een kleine waterbesparing al zijn er ook enkele deelgebieden, die een toename laten zien. Deze maatregel is niet met het regionaal hydrologisch model IBRAHYM doorgerekend.



Figuur 4.15: Waterverbruik uit grond- en oppervlaktewater in referentiesituatie en bij gebiedsdekkende invoering van druppelirrigatie.

4.3.6 Discussie

De vergelijking van de resultaten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen met de resultaten van het regionaal hydrologisch model IBRAHYM is bedoeld om te bepalen of het berekende watergebruik met de Regioscan plausibel is.

Het watergebruik voor berekening in de referentiesituatie berekent met de Regioscan en met het LHM komen goed overeen. Echter, het watergebruik voor berekening berekent met het regionaal hydrologisch model IBRAHYM is aanzienlijk geringer dan volgens de Regioscan. De oorzaak van de verschillen zijn voornamelijk niet verklaarbaar. Dit betekent tevens dat bij gebiedsdekkende toepassing van berekening de effecten op het watergebruik eveneens sterk verschillen. Ook de rekenperiodes voor beide modellen verschillen: de Regioscan Zoetwatermaatregelen is gebaseerd op periode 1981-2010 en IBRAHYM op de periode 1996 – 2015. Ondanks het verschil in rekenperiode is de indruk dat IBRAHYM een te lage berekeningsgift berekent in de huidige situatie en in de situatie met waarbij gebiedsdekkend berekening wordt toegepast, omdat de beregeningskaart aangeeft dat er veel berekend wordt in dit gebied. Of de Regioscan (in feite LHM) een betrouwbaardere schatting van de berekening geeft, kan op basis van de huidige informatie niet worden geconcludeerd. Dit zal samen met het waterschap nader onderzocht moeten worden.

De toepassing van regelbare drainage in combinatie met berekening levert volgens de Regioscan Zoetwatermaatregelen een aanzienlijke waterbesparing op. De berekening met IBRAHYM is anders van opzet en geeft alleen voor gebieden waar in de huidige situatie al wordt berekend het effect van

peilgestuurde drainage op het watergebruik. Dit effect blijkt verwaarloosbaar. In geval de grondwaterstand beneden 90 cm – mv blijft, is weinig effect te verwachten van regelbare drainage.

De toepassing van regelbare drainage met subirrigatie is een maatregel waarbij geen gebruik wordt gemaakt van grond- of oppervlaktewater maar van reststromen van water. Gebiedsdekkende introductie bij een voldoende aanbod van water via reststromen betekent dat er geen vraag meer is naar grond- en oppervlaktewater. Dit zal in de praktijk maar voor beperkte gebieden gelden, omdat de beschikbaarheid van reststromen beperkend is. De berekening met IBRAHYM is ook hier anders van opzet en geeft alleen voor gebieden waar in de huidige situatie al wordt berekend het effect van peilgestuurde drainage met wateraanvoer op het watergebruik. Dit effect blijkt iets groter dan zonder wateraanvoer, namelijk een besparing van 1,7% op de huidige berekening.

De gebiedsdekkende introductie van druppelirrigatie leidt niet tot een toename van het watergebruik ten opzichte van de huidige situatie. De resultaten worden in sterke mate bepaald door de veronderstelde efficiëntie van deze maatregel ten opzichte van de efficiëntie van berekening.

Volgens de Regioscan Zoetwatermaatregelen hebben druppelirrigatie onder de ploegzool en ASR zoet de meest gunstige baten-kosten verhouding voor het stroomgebied van de Raam indien berekening niet meer is toegestaan. Druppelirrigatie onder de ploegzool blijkt rendabeler, door de gunstigere onderhoudskosten ten opzichte van druppelirrigatie met maaiveldslangen. De uitkomsten laten zien dat in het kleigebied langs de Raam druppelirrigatie onder de ploegzool perspectief heeft en op de hogere gelegen zandgebieden ASR zoet. Praktijkonderzoek zal moeten uitwijzen of de capillaire nalevering van de aanwezige kleibodems voldoende groot is om het aangevoerde water onder ploegzool voldoende tot in de wortelzone te krijgen. Volgens de BOFEK-kaart verschillen kleibodems namelijk onderling sterk in capillaire eigenschappen. Dit onderscheid wordt in de Regioscan Zoetwatermaatregelen niet gemaakt. Bij ASR zoet geldt als kanttekening dat voldoende water beschikbaar moet zijn om het ASR-systeem te voeden en dat de kosten voor infrastructuur om het wateroverschot te verpompen en zuiveren niet zijn meegerekend in de Regioscan Zoetwatermaatregelen. In de huidige praktijk worden ASR-systemen op de hoge zandgronden alleen nog maar toegepast in de glastuinbouw, omdat veel waterbronnen, waaronder leidingwater, ongeschikt zijn voor de kapitaalintensieve teelten vanwege te hoge natrium gehalten. Met ASR zijn de glastuinbouwbedrijven in staat om schoon regenwater voldoende lang op te vangen om toepassing later mogelijk te maken.

4.3.7 Conclusies en aanbevelingen

Maatregelen

De geselecteerde maatregelen die het meest kansrijk zijn bij een implementatiegraad van 25% voor scenario 'huidig' zijn reguliere berekening uit grondwater en in mindere mate druppelirrigatie onder de ploegzool (op gronden langs de Maas). Bij het scenario 'WH2050' zien we in toenemende mate dat de maatregel druppelirrigatie wordt geselecteerd, ten koste van de maatregel reguliere berekening uit grondwater. Neveneffecten zijn in deze pilot niet beschouwd.

Verandering watergebruik

In de gebieden waar de maatregel druppelirrigatie wordt toegepast leidt dit tot een toename van gebruik van oppervlaktewater en een afname van het gebruik van grondwater. In gebieden met

reguliere beregening uit grondwater neemt het grondwatergebruik toe. Dit komt het sterkst tot uiting bij klimaatscenario 'WH2050'.

Baten-kosten ratio

De Net Benefits Costs (NBC) zijn meestal negatief, bij klimaatscenario 'WH2050' zien we in een strook langs de Maas positieve waarden voorkomen. Dat er voornamelijk een negatieve NBC gevonden worden, is op zich niet vreemd omdat de verwachting is dat de meeste agrariërs al eerder tot andere maatregelen zouden zijn gekomen indien dit tot een positieve NBC zou leiden.

Reguliere beregening

Er worden grote verschillen gevonden in gemiddelde beregeningsgift voor de huidige situatie tussen de berekeningen met Regioscan/LHM en het regionaal hydrologisch model van waterschap Aa en Maas (IBRAHYM). De beregeningsgift in de referentiesituatie in de Regioscan/LHM bedraagt ca. 25 mm/jaar, in IBRAHYM is de beregeningsgift ca. 10mm/jaar. Ook bij gebiedsdekkende toepassing van beregening zijn de verschillen groot. Met de Regioscan Zoetwatermaatregelen neemt voor de maatregel *reguliere beregening* het watergebruik t.o.v. de referentiesituatie met bijna een factor 3 toe, terwijl met IBRAHYM een toename van 63% wordt berekend.

Regelbare drainage met beregening

De berekening met het regionaal hydrologisch model IBRAHYM is niet vergelijkbaar met de berekening met de Regioscan, omdat bij de Regioscan aanvullend wordt berekend om het resterend vochttekort teniet te doen. In IBRAHYM is dit niet het geval. De toepassing van de maatregel *regelbare drainage met beregening* t.o.v. de maatregel *reguliere beregening* levert met de Regioscan Zoetwatermaatregelen een waterbesparing op van ca. 42%. Met IBRAHYM is het effect van de maatregel verwaarloosbaar (79 m³).

Regelbare drainage met subirrigatie

In de Regioscan Zoetwatermaatregelen wordt gebruik gemaakt van reststromen en is er geen beregening meer noodzakelijk, de huidige beregening neemt af tot 0 m³. De toepassing van deze maatregel levert een waterbesparing op van 41302 m³, oftewel 1,7% ten opzichte van de referentiesituatie zoals berekend met IBRAHYM.

Druppelirrigatie

Bij gebiedsdekkende toepassing van druppelirrigatie blijft het watergebruik ongeveer gelijk aan het watergebruik voor beregening in de huidige situatie en is daarmee een factor drie kleiner dan gebiedsdekkende toepassing van reguliere beregening. Deze maatregel is niet met het regionaal hydrologisch model IBRAHYM doorgerekend

Aanbevelingen

Voor het verklaren van de verschillen in beregeningsgift in de uitgangssituatie tussen de Regioscan (LHM) en IBRAHYM, verdient het de aanbeveling om een nadere analyse uit te voeren van de in- en output van het regionale model, o.a. modelaannames en uitgangspunten en deze te vergelijken met het LHM. In de huidige opzet van de Regioscan worden de maatregelen geprioriteerd op basis van de baten-kosten ratio (NBC). Uit de resultaten blijkt dat de gekozen maatregelen resulteren in een toename van de watervraag t.o.v. van de referentiesituatie. De (extra) watervraag wordt dus niet meegenomen bij de afweging van de te kiezen maatregelen. Omdat een toename van de watervraag

als niet wenselijk gezien kan worden, verdient het de aanbeveling effecten op de watervraag mee te wegen in de prioritering van maatregelen.

-

5 Casestudie Landelijke knelpuntenanalyse

5.1 Inleiding

Het doel van de case Landelijke knelpunten analyse is om inzicht te krijgen in de mogelijke bijdrage van de Regioscan Zoetwatermaatregelen aan het landelijke spoor van het Deltaprogramma Zoetwater. Deze case bouwt voort op de resultaten van de twee regionale cases. Hierbij komen de volgende aspecten aan bod:

- Vertalen van de resultaten uit de regio-casussen (hoofdstukken 3 en 4) naar meer generieke input voor de knelpuntenanalyse (paragraaf 5.2);
- Formuleren van aanbevelingen ten aanzien van het meenemen van effecten van lokale maatregelen in de landelijke analyse (paragraaf 5.3);
- Doorkijk naar de aanpak van de landelijke uitrol van het instrument: wat is er nog nodig om instrument landsdekkend toe te passen (paragraaf 5.4).

5.2 Vertaling resultaten regionale cases naar landelijke KPA

5.2.1 Uitkomsten regionale cases

De Regioscan Zoetwatermaatregelen is als pilot toegepast in de Anna Paulownapolder en Oostpolder in de kop van Noord-Holland (Hoofdstuk 3), en het stroomgebied van de Raam in Oost-Brabant (Hoofdstuk 4). De Anna Paulowna en Oostpolder zijn Noordhollandse polders, waar verzilting door uittredend brak grondwater leidt tot een slechte waterkwaliteit. In de Anna Paulownapolder zijn voornamelijk bollenteeltbedrijven gevestigd, in de Oostpolder akkerbouwbedrijven, melkveebedrijven met grasland en ook enkele bollenbedrijven. De Raam is een karakteristiek zandgebied van Noord-Brabant, met vooral melkveehouderij (grasland en snijmais) en akkerbouw. Met de Regioscan Zoetwatermaatregelen is onderzocht welke maatregelen in deze gebieden rendabel zijn voor landbouwbedrijven en hoe groot het effect is op de zoetwatervraag van het gebied. Daarnaast is verkend in hoeverre beregeningsverboden de maatregelafweging veranderen.

De Regioscan Zoetwatermaatregelen laat zien dat verschillende maatregelen in de Anna Paulownapolder onder de huidige omstandigheden rendabel zijn voor de boeren (de bedrijfseconomische baten overstijgen de kosten van de maatregelen). Vooral regelbare drainage, Aquifer Storage en Recovery (ASR) zout, Freshmaker en Spaarwater lokale opslag zijn kansrijk (technisch haalbaar en baten groter dan de kosten). Door de hoogwaardige bollenteelt in de Anna Paulownapolder, gecombineerd met de kwetsbaarheid van de polder voor zoutschade, worden hoge baten gerealiseerd. Het LHM berekent in de huidige situatie hoge optredende zoutschades in de Anna Paulowna polder. Onderzocht moet worden in hoeverre deze schades zich ook in de praktijk voordoen.

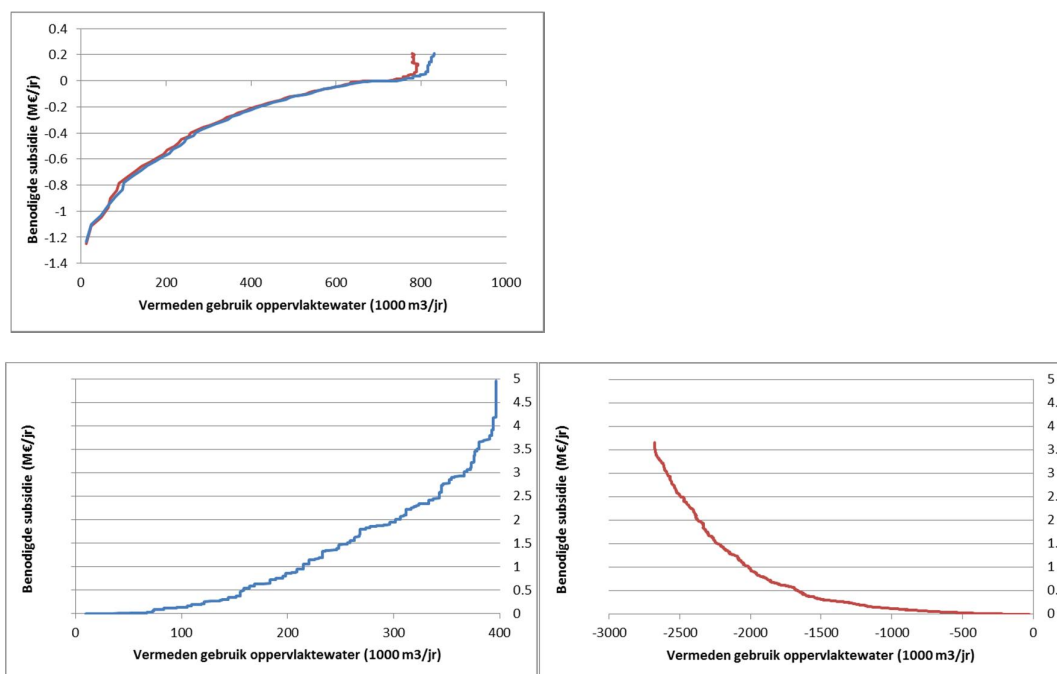
In de Oostpolder en de Raam is het beeld beduidend minder positief dan in de Anna Paulownapolder. Het aantal maatregelen met een positief kosten-batensaldo is verwaarloosbaar. De vermeden droogte- of (in geval van de Oostpolder) zoutschade ten opzichte van de uitgangssituatie is onvoldoende om investeringen in een maatregel voor de agrariër te compenseren. Voor een belangrijk deel komt dit doordat de nieuwe maatregelen duurder zijn dan de reeds geïnstalleerde reguliere beregeningsinstallaties. In simulaties waarin geen reguliere beregening is toegestaan valt de baten-kostenratio voor meer zoetwatermaatregelen positief uit. Onder een beregeningsverbod

zijn voor de Raam de aanleg van druppelirrigatie onder de ploegzool en ASR (zoet) beperkt kansrijk. Voor de Oostpolder is regelbare drainage dan kansrijk.

In zijn algemeenheid is het perspectief voor autonome adaptatie om zoetwatergebruik te beperken erg beperkt. Waar innovatieve maatregelen op zichzelf een positieve baten-kosten ratio kunnen laten zien, moeten ze in de kosten – baten afweging van een agrariër concurreren met reguliere beregening. De uitzondering vormt een gebied als de Anna Paulownapolder, waar de beschikbaarheid van zoetwater beperkend kan zijn en schade optreedt, en waar door de hoogwaardige landbouw baten van een maatregel snel opwegen tegen de kosten.

5.2.2 Lokale maatregelen ten opzichte van grootschalige maatregelen

Het uitzetten van de benodigde investering (hier gedefinieerd als het verschil tussen gesommeerde kosten en baten voor de agrariër) tegen de vermindering van het watergebruik uit oppervlaktewater, maakt inzichtelijk wat de 'prijs per kuub' is van de door de Regioscan Zoetwatermaatregelen geselecteerde maatregelen. We hebben ons hier beperkt tot de waterbesparing uit oppervlaktewater, omdat de grootschalige maatregelen uit het Deltaprogramma zich ook richten op het vermijden van (tekorten in) oppervlaktewatervraag.



Figuur 5.1: Netto kosten voor vermeden gebruik van oppervlaktewater in casegebied Anna Paulowna- en de Oostpolder (boven), en De Raam (onder). De blauwe curve is opgesteld op basis van de maatregelen die het oppervlaktewatergebruik het meeste terugdringen, de rode curve zijn de maatregelen die gezien kosten en baten voor de agrariër het meest gunstig zijn.

In de Anna Paulownapolder zijn er verschillende maatregelen die een positief baten-kosten saldo kennen, deze komen in bovenstaande figuur naar voren als een negatieve prijs per kubieke meter water. Uiteraard komen de baten hiervan terecht bij de betrokken agrariër, en niet bij de

waterbeheerder. Het gaat hier dan ook om een prijs voor de waterbeheerder van nul euro per kubieke meter, of zelfs een kleine positieve prijs, omdat aan deze maatregelen wel kosten zijn verbonden, zoals het informeren over de betreffende maatregelen etc. Voor de Anna Paulowna- en Oostpolder komen de maatregelen die het meest geschikt zijn voor de agrariër vrijwel overeen met de maatregelen die vanuit waterbesparing het meest geschikt zijn. Het 'gewonnen water' betreft hier in alle gevallen namelijk beregening uit oppervlaktewater, de winst is daarom voor de meeste maatregelen gelijk. Omdat in tweede instantie ook weer op kosten – baten wordt gesorteerd, wijken de blauwe en rode lijn in Figuur 5.1 weinig van elkaar af.

In het stroomgebied van de Raam is de kosten-baten afweging van de agrariër bijna uitsluitend negatief. Zoetwatermaatregelen zullen daarom alleen door agrariërs genomen worden indien ze daar financieel voor gecompenseerd worden, bijvoorbeeld in de vorm van subsidie. Deze maatschappelijke kosten voor maatregelen die het gebruik van oppervlaktewater in het stroomgebied van de Raam terugdringen (dit zijn andere maatregelen als die naar voren komen in de casestudie Raam, waar op kosten-baten is gesorteerd, zie ook Figuur 5.1) lopen snel op. Een vermindering van 50.000 m³ is met een additionele subsidieprijs van 0,16 €/m³ te bereiken, tot 100.000 m³ is de prijs 1,2 €/m³, en tot 200.000 m³ zelfs ongeveer 4 €/m³. De meest gunstige maatregelen voor het terugdringen van de zoetwatervraag betreffen in beide casegebieden (varianten van) regelbare drainage maatregelen. Voor de Anna Paulowna- en Oostpolder gaat het dan vooral om systeemgerichte drainage, bij de Raam om regelbare drainage.

In 2013 zijn door Ecorys de kosteneffectiviteit van verschillende grootschalige zoetwatermaatregelen op een rij gezet (Ecorys, 2013). De kosteneffectiviteit werd hierbij uitgedrukt in €/m³ vermeden zoetwatertekort. De gevonden kosteneffectiviteit is samengevat in Figuur 5.2. Volgens deze figuur loopt de kosteneffectiviteit uiteen van 0,014 €/m³ voor de meest kosteneffectieve maatregel (buffer IJsselmeer), tot 3,58 €/m³ voor het afsluiten van de Nieuwe Waterweg. Deze kosteneffectiviteit is berekend voor het klimaatscenario W+ 2050. Volgens Ecorys (2013) loopt de kosteneffectiviteit van regionale maatregelen uiteen van 0,26 €/m³ (het verhogen van de irrigatie-efficiëntie), tot 22 €/m³ (conserveren van grondwater).

De kosteneffectiviteit voor regionale maatregelen die door de Regioscan Zoetwatermaatregelen berekend wordt is gunstiger dan berekend door Ecorys (2013). Tot 50.000 m³ zijn de lokale maatregelen in de Regioscan Zoetwatermaatregelen vergelijkbaar met grootschalige maatregelen, maar daarna worden de lokale maatregelen snel duurder. Daarbij moet worden aangetekend dat door Ecorys (2013) is gekeken naar de prijs per kubieke meter afname van het watertekort, voor de Regioscan wordt alleen de afname in het watergebruik meegerekend. Daarnaast is bij Ecorys sprake van een kosten-effectiviteitsanalyse: alleen de kosten van een maatregel worden beschouwd, de baten worden buiten beschouwing gelaten. In de Regioscan worden baten voor de agrariër wel meegenomen. Verder onderzoek is nodig om de kosteneffectiviteit van lokale maatregelen goed te vergelijken met die van grootschalige ingrepen in het watersysteem.

Tabel 4.22 Overzicht kosteneffectiviteit, klimaatscenario W+ (Ambitie: behoud in een 1/10 droogtejaar)

| Case | Effectief Doel behaald? | Kostprijs (€/m ³) | Leveringsniveau cases bij ambitie 1/10 | | Ranking (€/m ³) | Overweging om mee te nemen in de KKBA | |
|------------------|--|-------------------------------|--|------|-----------------------------|---|---|
| | | | 2050 | 2100 | | | |
| IJsselmeergebied | Case 2 - 40 cm buffer | Nee | 0,014 | 100% | 81% | Kan bij minder extreem scenario wel effectief zijn en voldoet bij deze ambitie wel in 2050. | |
| | Case 3 – 40 cm buffer & 90 cm buffer | Ja | 0,042 | 100% | 100% | Effectief bij ambitie behoud in 1/10 droogtejaar, geen nadelige gevolgen scheepvaart Waal. | |
| | Case 4 – 40 cm buffer & 100 kuub extra afvoer IJssel | Ja | 0,037 | 100% | 100% | Effectief bij ambitie behoud in 1/10 droogtejaar. | |
| | Case 7 – 54 cm buffer (t.b.v. categorie 1 en 2) | n.v.t. | n.v.t. | 100% | 100% | n.v.t. | Meenemen i.v.m. werkambitie 'selectief. |
| | Case 8 – Uitzakken IJsselmeer en Markermeer | Ja | 0,367 | 100% | 100% | | Effectief bij ambitie behoud in 1/10 droogtejaar. |
| Maas | Case 2 – MLBK | Ja | 0 | 99% | 93% | | Case 2&3 hebben effect op andere gebieden. Op basis van KEA daarom nog geen keuze te maken. |
| | Case 3 – Maas-Waal kanaal | Nee | 0,19 | 99% | 91% | | |
| | Case 4 – MLBK & Maas-Waal kanaal | Ja | 0,04 | 99% | 99% | | Effectief bij ambitie behoud in 1/10 droogtejaar. |
| West Nederland | Case 2 – Bellenpluim 200 kuub | Nee | 0,17 | 100% | 78% | | Kan bij minder extreem scenario wel effectief zijn |
| | Case 3 – KWA +11 kuub | Ja | 0,28 | 98% | 89% | | Effectief bij ambitie behoud in 1/10 en 1/100 droogtejaar. |
| | Case 4 – KWA + 18 kuub | Ja | 0,45 | 100% | 99% | | Effectief bij ambitie behoud in 1/10 en 1/100 droogtejaar. |
| | Case 5 – Bellenpluim 200 kuub & Overstappen KWA | Ja | 0,16 | 100% | 92% | | Effectief bij ambitie behoud in 1/100 droogtejaar. |
| | Case 6 – Bellenpluim 200 kuub & Afsluiten NWW | Ja | 0,97 | 100% | 100% | | Effectief bij ambitie behoud in 1/10 en 1/100 droogtejaar. |
| | Case 7 – Afsluiten NWW | Ja | 3,58 | 100% | 100% | | Effectief bij ambitie behoud in 1/10 en 1/100 droogtejaar. |
| | Case 8 – Balgstuw Spui | Nee | Geen extra opgelost tekort t.o.v. referentie | | 94% | 63% | |

Meest kosteneffectief bij ambitie 1/10 – Effectief bij ambitie 1/10 – Niet effectief bij ambitie 1/10

Figuur 5.2: Kosteneffectiviteit van enkele grootschalige zoetwatermaatregelen (Ecorys, 2013).

5.3 Meenemen effecten lokale maatregelen in landelijke hydrologische modellering

De landelijke Knelpuntenanalyse gebruikt het Landelijk Hydrologisch Model en de Quick Water Allocation Scanning Tool (QWAST) voor het evalueren van knelpunten in de watervoorziening en effecten van mogelijke maatregelen hierop. QWAST is ontwikkeld om wijziging van aanvoerroutes en andere maatregelen te kunnen screenen. QWAST maakt gebruik van gegevens van het Landelijk Hydrologisch Model en berekent met een eigen rekenmodel de optimale waterverdeling op nationale schaal (Gijsbers, 2016; Gijsbers & Ten Velden, 2017).

In de Regioscan Zoetwatermaatregelen wordt het effect van lokale maatregelen uitgedrukt in additioneel beschikbaar water voor het gewas. Dit effect is geschat op basis van indicatieve perceelsmodellen of informatie (ervaringscijfers) uit eerdere onderzoeken. Het effect op het beschikbaar water wordt vervolgens vertaald in gewasopbrengst, en in watergebruik uit grond- of oppervlaktewater. Er is geen sprake van terugkoppeling – via de hydrologie – naar het omliggende gebied.

In Tabel 5.1 wordt op hoofdlijnen een overzicht gegeven van de directe hydrologische effecten van de verschillende in de Regioscan Zoetwatermaatregelen opgenomen maatregelen. Daarnaast wordt ook het effect op de gewasopbrengst en de watervoorziening gegeven.

Tabel 5.1: Beoogde effecten van Regioscan maatregelen op hydrologie, watervraag en gewasopbrengst

| Maatregel | Beoogde hydrologische effecten | Beoogde effecten op watervraag en gewasopbrengst |
|---------------------------------------|--|---|
| Druppelirrigatie op maaiveld | Beregeningswater alleen op de grond rondom de plant. Geen interceptieverdamping, minimaal weglekken naar drainage / dieper grondwater. | Minder watervraag voor beregening bij gelijkblijvende gewasgroei (in vergelijking met reguliere beregening) |
| Druppelirrigatie onder ploegniveau | Beregeningswater direct in de wortelzone onder de plant. Geen interceptieverdamping, minimaal weglekken naar drainage / dieper grondwater. | Minder watervraag voor beregening bij gelijkblijvende gewasgroei (in vergelijking met reguliere beregening) |
| Regelbare drainage | Drainageniveau wordt dynamisch ingesteld, om berging in ondiep grondwater te vergroten. Opzet ná landbewerking. Minder uitstroming naar drainagebuizen. Meer water beschikbaar voor gewas. | Gewassen kunnen bij gelijkblijvende gewasgroei toe met minder beregeningsbeurten. Watervraag voor beregening neemt dus af, gewasopbrengst gelijk (in vergelijking met reguliere beregening, conventionele drainage) |
| Regelbare drainage met subinfiltratie | Als regelbare drainage, maar dan met een extra waterbron om ook in droge perioden voldoende water beschikbaar te hebben. Werkt met infiltratie van water via | Gewassen kunnen volledig worden voorzien door alternatieve waterbron. Watervraag voor beregening gaat naar nul, gewasopbrengst richting maximaal. |

| | | |
|---|---|--|
| | drainagebuizen. Moet wel toegang zijn tot alternatieve waterbron. | |
| Drains2buffer | Door dieper liggende drainage krijgt zout grondwater geen kans tot in de wortelzone door te dringen. Verder blijft hydrologie gelijk. | Gelijke hydrologie als conventionele drainage, zoutschade door zout grondwater verdwijnt. |
| Spaarwater systeemgerichte drainage | Combinatie regelbare drainage en drains2buffer. Minder uitstroming naar drainagebuizen. Meer water beschikbaar voor gewas. Geen zout grondwater in wortelzone. | Afname zoutschade door zout grondwater, droogteschade neemt af of minder beregeningsbeurten nodig. |
| Aquifer Storage en Recovery in zoet systeem | Overtollig (regen)water wordt geïnjecteerd in het watervoerend pakket, waardoor de stijghoogte plaatselijk toeneemt. Dit water wordt zomers weer onttrokken. | Beregeningsvraag wordt grotendeels voldaan uit ASR, bij gelijkblijvende gewasopbrengst. |
| Aquifer Storage en Recovery in zout systeem | Als ASR zoet. Terugwin-efficiëntie niet 100%, daardoor extra aanvulling watervoerend pakket. | Beregeningsvraag wordt grotendeels voldaan uit ASR, bij gelijkblijvende gewasopbrengst (uitgaande van beregende locaties, anders neemt opbrengst toe). |
| Spaarwater lokale opslag en subirrigatie | Overtollig regen- en drainagewater wordt geïnjecteerd in het watervoerend pakket, waardoor de stijghoogte plaatselijk toeneemt. Dit water wordt zomers weer onttrokken en met subinfiltratie via de drainagebuizen wordt het ondiepe grondwater aangevuld, waardoor meer water beschikbaar komt voor het gewas. | Beregeningsvraag wordt grotendeels voldaan uit lokale opslag, bij gelijkblijvende gewasopbrengst (uitgaande van beregende locaties, anders neemt opbrengst toe). |
| Kreekruginfiltratie systeem | Overtollig water wordt geïnfiltreerd in een kreekrug, dit wordt in droge zomers onttrokken. Daarnaast functioneert het kreekrug-infiltratiesysteem als een regelbare drainagesysteem. | Beregeningsvraag wordt grotendeels voldaan uit lokale opslag, bij gelijkblijvende gewasopbrengst (uitgaande van beregende locaties, anders neemt opbrengst toe). |
| Freshmaker | Als een ASR in zout systeem. | Als een ASR in zout systeem. |

Het modelleren van lokale maatregelen in een regionaal of landelijk hydrologisch model verloopt via een andere route dan in de Regioscan Zoetwatermaatregelen. In een hydrologisch model wordt een maatregel zo goed mogelijk vertaald in randvoorwaarden of parameters van het hydrologische model (bijvoorbeeld diepteligging drainagebuizen, injectie en onttrekking van water etc.). Het hydrologisch model berekent vervolgens het effect op de vochttoestand in de wortelzone en daarmee de waterbeschikbaarheid voor de plant. Zeker in het LHM, met de beperkte ruimtelijke resolutie, is dit geen sinecure: de rekentijden zijn lang en veel rekencapaciteit is vereist. Lokale fine-tuning is daarbij over het algemeen niet mogelijk, omdat berekeningen voor heel Nederland plaatsvinden.

Daarnaast hebben gewijzigde parameters ook invloed op andere aspecten van de modellering, waar rekening mee moet worden gehouden. Druppelirrigatie zou bijvoorbeeld kunnen worden geïmplementeerd door minder water te onttrekken (conform werkelijkheid), maar de oorspronkelijke hoeveelheid water beschikbaar te maken voor de plant (conform werkelijkheid). Deze aanpak houdt alleen geen rekening met de daadwerkelijke werking van druppelirrigatie: alleen de bodem rondom de wortels wordt bewaterd, niet het gehele oppervlak. Met de geschetste aanpak wordt er een fout in de waterbalans gecreëerd, en zal meer water doorsijpelen naar het diepe grondwater dan in werkelijkheid.

QWAST berekent het effect van maatregelen niet direct, maar als een factor op watervragen in een deelgebied. Het opgeschaalde effect van maatregelen op de watervraag moet dus vooraf worden bepaald. Deze methode sluit goed aan bij de uitkomsten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen. Veranderingen in de regionale watervraag die met behulp van de Regioscan zijn berekend kunnen eenvoudig worden toegepast in QWAST.

5.4 De Regioscan Zoetwatermaatregelen in de landelijke Knelpuntenanalyse

In de landelijke Knelpuntenanalyse kan de Regioscan Zoetwatermaatregelen worden toegepast voor

- (1) Scenario definitie
- (2) Snelle inschatting van de regionale bijdrage van kleinschalige maatregelen
- (3) Afweging van kleinschalige maatregelen.

Deze toepassingen worden hieronder nader toegelicht.

5.4.1 Scenario definitie

Bij de ontwikkeling van toekomstscenario's kan de Regioscan Zoetwatermaatregelen inzicht geven in autonome ontwikkelingen. Welke maatregelen zijn bij toekomstig klimaat / landgebruik kosteneffectief, zodat hiervan kan worden aangenomen dat ze zonder verdere beleidsinspanning worden geïmplementeerd? Kernwoord hierbij is autonome ontwikkeling: de scenario's worden zo beleidsarm mogelijk opgesteld, om de afweging van maatregelen hier tegen mogelijk te maken.

Een begin hiermee wordt gemaakt door voor de Deltascenario's met behulp van de Regioscan Zoetwatermaatregelen te berekenen welke cellen zullen worden berekend. Hierbij wordt berekening toegekend aan cellen waar een beregeningsinstallatie het meest kosteneffectief is.

5.4.2 Snelle inschatting effecten lokale maatregelen

Met de Regioscan Zoetwatermaatregelen kan een eerste inschatting worden gegeven van de bijdrage van lokale maatregelen aan het verminderen van de zoetwateropgave in verschillende regio's. In het Deltaprogramma hebben de verschillende regio's zich gecommitteerd aan verschillende regionale maatregelen om water te besparen. De effecten van de verschillende genoemde maatregelen zijn echter veelal niet kwantitatief onderbouwd. De Regioscan Zoetwatermaatregelen kan ingezet worden om met een beperkte inspanning een indruk te krijgen van de haalbaarheid van de genoemde besparingen.

5.4.3 Afweging lokale maatregelen in de Maatregelanalyse

In de landelijke analyse worden verschillende maatregelpakketten afgewogen, zowel grootschalige zoetwatermaatregelen als lokale zoetwatermaatregelen. De Regioscan Zoetwatermaatregelen kan ondersteuning bieden bij het definiëren van maatregelpakketten en de onderlinge afweging. Op basis van rekenresultaten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen kunnen in verschillende gebieden de meest geschikte maatregelen worden geïdentificeerd. De Regioscan geeft zelf een eerste inschatting van het effect op het zoetwatergebruik, de landelijke doorvertaling kan vervolgens met de QWAST worden gemaakt. Effecten uit de Regioscan worden in dit geval als verminderingen in de watervraag opgelegd aan QWAST.

Ook in de gedetailleerdere maatregelanalyse met het LHM kan de Regioscan Zoetwatermaatregelen aanvullende informatie leveren. Met behulp van de Regioscan worden lokale maatregelen immers gestructureerd, op basis van kosten en baten toegekend aan juiste locaties. De ervaring leert dat het bij landsdekkende analyses moeilijk is te bepalen waar welke maatregelen precies kunnen worden geïmplementeerd. De precieze parametrisatie van de maatregelen in het LHM heeft nog wel nader onderzoek (zie hiervoor).

5.5 Landelijke uitrol Regioscan Zoetwatermaatregelen

De Regioscan Zoetwatermaatregelen biedt wat opzet betreft aanknopingspunten om het instrument op landelijke schaal toe te passen. Om deze toepassing mogelijk te maken dient het instrument op de volgende punten doorontwikkeld te worden:

(1) Landsdekkende schematisatie modelbedrijven

In de Regioscan Zoetwatermaatregelen worden maatregelen genomen per zogeheten 'modelbedrijf'. Hiervan worden verschillende typen onderscheiden, die verschillen in bedrijfsareaal en gewassen. Voor de casegebieden De Raam en Anna Paulowna- en Oostpolder zijn de in het gebied voorkomende bedrijven in verschillende categorieën onderverdeeld, en zijn de rekenpixels vervolgens op basis van landgebruik aan deze modelbedrijven toegekend. Bij landsdekkende analyses moet een landsdekkend, regionaal verschillend, overzicht worden gemaakt van onderscheiden bedrijfstypen.

(2) Additionele maatregelen en geografische aanpassing

De huidige versie van de Regioscan Zoetwatermaatregelen bevat niet alle maatregelen die in de verschillende regio's onderdeel van gesprek zijn. In de eerste plaats missen de maatregelen die bij aanvang van het project wel waren voorzien:

- bodemverbetering (verhogen gehalte organische stof, om meer water in de bodem vast te houden)
- kleine perceelstuwen (verhoging oppervlaktewaterstand en daarmee grondwaterstand. niet aan de orde in casegebied Raam, maar wel in andere zandgebieden)
- slootboderverhoging (verhoging drainagebasis kleine sloten en daarmee grondwaterstand. niet aan de orde in casegebied Raam, maar wel in andere zandgebieden)

Daarnaast worden meer maatregelen genoemd als onderdeel van de regionale maatregelpakketten. Een voorbeeld hiervan is onderwaterdrainage, met name in de veengebieden. Waar mogelijk moet de Regioscan Zoetwatermaatregelen worden uitgebreid om de belangrijkste lokale maatregelen in het Deltaprogramma te kunnen meenemen.

Ten slotte is de effectbepaling van maatregelen toegespitst op de omstandigheden in de casegebieden. Dit geldt met name voor de opslag & toedieningsmaatregelen, die voornamelijk voor een beperkt aantal gewassen (gras, aardappel, mais) en bodemtypen (vijf verschillende zandige, lemige en klei bodems) zijn uitgewerkt. Deze selectie moet voor een landelijke uitrol verder worden uitgebreid.

(3) Koppeling resultaten aan QWAST en implementatie in LHM

Zoals hierboven geschetst kan de Regioscan Zoetwatermaatregelen een rol spelen in de definitie van pakketten van lokale maatregelen, om mee te nemen /door te rekenen in de landelijke analyse. Hiervoor dienen goede koppelingen gelegd te worden naar zowel QWAST als het LHM. Voor QWAST gaat het dan om een eenvoudige vertaling van Regioscan uitkomsten in voor QWAST benodigde informatie (aanpassing regionale watervraag). Voor het LHM gaat het om nader onderzoek naar de implementatie van de maatregelen in het LHM, of de bijbehorende post-processing. In het bovenstaande wordt hiervoor al een eerste aanzet gegeven.

5.6 Berekening LHM voor maatregel regelbare drainage

Met een eerdere versie van het LHM zijn berekeningen gedaan voor een aantal regionale maatregelen. Deze berekeningen zijn gedocumenteerd in Hunink & Visser (2013) en Deltares (2013). In deze berekeningen is onder meer de maatregel 'Peilgestuurde drainage' doorgerekend, een maatregel die overeenkomt met Regioscan maatregelen 'regelbare drainage' en 'systeemgerichte drainage'. De berekening is uitgevoerd voor het klimaatjaar 1976, een extreem droog jaar, voor klimaatscenario Warm 2050. Effecten zullen daarmee worden uitvergroot ten opzichte van de klimaatgemiddelde effecten in de Regioscan.

De maatregel is als volgt geïmplementeerd (Hunink & Visser, 2013):

RH6: Peilgestuurde drainage

De maatregel is gebiedsdekkend doorgevoerd. In de gebieden waar al buisdrainage aanwezig is, is de ontwateringsbasis in de winter verhoogd met +0.30m tot een maximum van -0.70m t.o.v. maaiveld. De ontwateringsbasis in de zomer is verhoogd met +0.60m tot een maximum van -0.40m t.o.v. maaiveld. De drainageweerstand is verlaagd naar 10 dagen. De drainage package is tijdsafhankelijk

gemaakt met de overgangsmomenten winter/zomer op 1 april en 1 oktober. De drainage in het stedelijk gebied wordt niet aangepast. Voor deze maatregel is de drainage package (Modflow) aangepast.

Bovenstaande beschrijving geeft al direct een van de moeilijkheden weer bij het implementeren van lokale maatregelen in een landsdekkend model: het is simpelweg onmogelijk dergelijke maatregelen afhankelijk van lokale omstandigheden te implementeren, er moeten eenvoudige, overal toepasbare, schematisatie aanpassingen worden toegepast. Naar verwachting zal het effect van de maatregel dan ook suboptimaal zijn, omdat deze niet op de lokale omstandigheden wordt geoptimaliseerd.

Tabel 5.2 geeft de resultaten van de berekening weer, ten opzichte van de referentiesituatie. In de LHM berekening leidt de maatregel tot tegengestelde effecten in de twee casegebieden. In de Anna Paulowna- en Oostpolder heeft de maatregel diepere grondwaterstanden en een toename van de beregeningsvraag tot gevolg. Door hoge zoutconcentraties in het oppervlaktewater in het LHM leidt meer beregening in de Anna Paulownapolder tot meer zoutschade, en daarmee tot een toename van de opbrengstderving. Voor de Raam geldt het tegenovergestelde: de regelbare drainage leidt tot een ongeveer gelijke grondwaterstands daling over de zomer, maar wel tot een vermindering van de beregeningsvraag, en een afname van de opbrengstderving.

De verschillen tussen beide casegebieden zijn niet verder onderzocht, maar zijn waarschijnlijk te verklaren uit het verschil in grondsoort: klei versus zand. In het eerste geval is de verlaging van de drainageweerstand dominant, en wordt de grondwaterstand door de drainagemaatregel verlaagd. In het tweede geval domineert juist de verhoging van de drainagebasis, en is meer water beschikbaar voor de plant.

Tabel 5.2: Berekeningsresultaten LHM berekening peilgestuurde drainage ten opzichte van referentiesituatie

| | Anna Paulowna- en Oostpolder | | De Raam | |
|-------------------------|------------------------------|---------|------------|---------|
| Opbrengstderving | 428.86 k€ | 6.94 % | -336.50 k€ | -7.20 % |
| Beregening opp. water | 3.18 mm | 5.34 % | -0.13 mm | -3.69 % |
| Beregening grondwater | 0.00 mm | 0.00 % | -3.05 mm | -3.02 % |
| Grondwaterstands daling | 0.06 m | 15.25 % | 0.00 m | 0.29 % |

In vergelijking met de Regioscan Zoetwatermaatregelen is de maatregel regelbare drainage voor de Raam doorgevoerd (zie case Raam). Door de introductie van deze maatregel neemt de waterbehoefte voor beregening af met 3,5 miljoen m³ voor de Raam oftewel 56%. In het LHM is deze afname beduidend kleiner. In absolute zin is de afname met 1.4 miljoen m³ nog van dezelfde orde, maar procentueel is de afname in LHM veel kleiner. Dit heeft in ieder geval deels te maken met de beschouwde periode in de LHM berekening: een extreem droog jaar in scenario WARM2050. De beregening in de referentie is erg hoog, zodat een afname procentueel veel kleiner wordt. Daarnaast is voor te stellen dat het effect van regelbare drainage in een extreem droog jaar kleiner is dan in minder droge jaren, omdat er in het extreem droge jaar geen water is aan het begin van het seizoen om vast te houden met regelbare drainage.

6 Discussie en aanbevelingen

6.1 Reflectie op de gehanteerde methode

6.1.1 Kennissysteem Zoetwatermaatregelen

De basis van de Regioscan Zoetwatermaatregelen wordt gevormd door het Kennissysteem Zoetwatermaatregelen. Hierin is geschematiseerde informatie opgenomen over o.a. de effectiviteit, kosten en baten van 13 verschillende maatregelen. Voor deze maatregelen zijn waar mogelijk kentallen verzameld op basis van literatuur, ervaringscijfers uit pilots of berekeningen met een reeks SWAP-modellen. Deze aanpak heeft als voordeel dat de ontsloten maatregeleninformatie een zo generiek mogelijk karakter heeft en de kosten en baten van de maatregelen breed in beeld worden gebracht. Hierdoor is het Kennissysteem ook los van de Regioscan Zoetwatermaatregelen bruikbaar voor een eerste inventarisatie van kansrijke zoetwatermaatregelen op landbouwbedrijven, ook buiten de hier beschouwde studiegebieden. Om deze bredere toepassing te bevorderen is het Kennissysteem zowel in de vorm van factsheets (Bijlage B), als in de vorm van een Microsoft Access database beschikbaar gemaakt.

Drie oorspronkelijk voorziene maatregelen zijn niet volledig beschreven en niet geïmplementeerd in de huidige versie van de Regioscan Zoetwatermaatregelen, omdat de beschikbare informatie ten tijde van de eerste ontwikkelingsfase daarvoor tekort schoot. De niet geïmplementeerde maatregelen zijn slootbodempverhoging, perceelstuwen en bodemverbetering. De heersende opinie is dat vooral de eerste twee maatregelen goed perspectief bieden om het beschikbare water op lokaal niveau efficiënter te benutten. De derde maatregel (bodemverbetering) staat toenemend in de aandacht vanwege indicaties voor positieve effecten op de lange termijn wat betreft het vochtvasthoudend vermogen van bodems en verminderde uitspoeling van meststoffen. Door het ontbreken van deze maatregelen in huidige versie van de Regioscan Zoetwatermaatregelen geeft het instrument geen volledig beeld van het perspectief van kleinschalige zoetwatermaatregelen. Om een goede toepassing mogelijk te maken adviseren wij om de nog missende maatregelen verder uit te werken en in de Regioscan Zoetwatermaatregelen te implementeren.

Naast het ontbreken van een aantal kansrijke maatregelen, brengt de schematische wijze waarop de informatie in het Kennissysteem Zoetwatermaatregelen is opgenomen twee beperkingen met zich mee voor toepassing buiten de Regioscan Zoetwatermaatregelen. Ten eerste zijn belangrijke nuances in het kennissysteem verloren gegaan, doordat de maatregeleninformatie primair is verzameld met het oog op implementatie in de Regioscan Zoetwatermaatregelen. Hiervoor was het noodzakelijk om de beschikbare informatie te schematiseren, zodat het hanteerbaar wordt voor regionale toepassingen. De consequentie hiervan is dat o.a. inzicht in de spreiding en onzekerheid van kentallen grotendeels verloren zijn gegaan, de maatregelen op een onderling verschillend detailniveau zijn uitgewerkt en dat in sommige gevallen veronderstellingen zijn gedaan over de wijze waarop maatregelen worden toegepast. Zo is bij opslagmaatregelen uitgegaan van voldoende beschikbaarheid van een (alternatieve) zoetwaterbron, terwijl daar in de praktijk niet altijd sprake van is. In sommige andere gevallen is uitgegaan van "voldoende dimensionering" van de maatregel, zodat de verdampingsreductie volledig opgeheven wordt. Voor een goede interpretatie van het kennissysteem en de resultaten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen is het daarom vereist dat gebruikers goed op de hoogte zijn van de wijze waarop de informatie tot stand is gekomen en welke

beperkingen dat met zich mee brengt. Om een volledig en genuanceerd beeld van de maatregelen te verkrijgen is het noodzakelijk om de maatregeleninformatie aan te vullen en de maatregelen op een gelijkwaardig abstractieniveau te beschrijven. Hiervoor geven de geraadpleegde bronnen en uitgevoerde of lopende pilots een goed uitgangspunt.

Ten tweede is het kennissysteem vooralsnog onvolledig wat betreft geografisch gebonden eigenschappen van maatregelen. Dit komt doordat de uitgevoerde inventarisatie en schematisatie van de beschikbare maatregeleninformatie toegespitst was voor de toepassing van de Regioscan Zoetwatermaatregelen voor twee casussen, namelijk één in hoog-Nederland en één in laag-Nederland. Hierdoor is geografisch-gebonden maatregeleninformatie in het Kennissysteem niet altijd representatief voor gebieden met andere kenmerken dan de pilotgebieden, zoals het bodemtype, gewas en drainage eigenschappen. Zo is de effectiviteit van drainagemaatregelen als functie van het grondwaterregime benaderd voor vijf bodemtypen en drie gewassen. Dit geeft enig, maar geen volledig inzicht in de spreiding van de maatregelkenmerken. Voor de andere maatregelen is de geografische afhankelijkheid minder volledig (in grove klassen) beschreven, of is uitgegaan van een gemiddeld ervaringsgetal. Ten behoeve van een bredere toepasbaarheid van het Kennissysteem en de Regioscan adviseren wij om de maatregeleninformatie verder uit te werken voor gebiedskenmerken die afwijken van de twee pilotlocaties die onderdeel waren van deze studie.

Het Kennissysteem Zoetwatermaatregelen biedt een kwantitatief overzicht van de effecten, kosten en baten van verschillende kleinschalige zoetwatermaatregelen. Een breed gedragen kennisbasis over de effectiviteit, kosten en baten van kleinschalige zoetwatermaatregelen is van groot belang in de weg naar gedragen oplossingsrichtingen, zowel regionaal als binnen het landelijke spoor van het Deltaprogramma. Het Kennissysteem Zoetwatermaatregelen heeft het potentieel om uit te groeien tot de *de facto* kennisbasis over de effectiviteit, kosten en baten van kleinschalige zoetwatermaatregelen. Hiervoor moet het Kennissysteem op zijn minst: 1) transparant worden ontsloten op het internet, 2) een proces voor het verwerken van aangedragen aanpassingen en 'nieuwe' maatregelen en informatie worden ingericht, 3) beheer en onderhoud zijn geregeld, 4) het scherper maken van de splitsing tussen KZM en Regioscan, momenteel is de database een mengvorm van generieke maatregeleninformatie en Regioscan-specifieke informatie. De komende jaren zal met de lopende trajecten Spaarwater, Lumbricus, GO-Fresh en COASTAR de nodige nieuwe informatie over effecten, kosten en baten van kleinschalige zoetwatermaatregelen beschikbaar komen (zie ook paragraaf 6.3). Inpassen van nieuw beschikbaar gekomen informatie in de Regioscan en het Kennissysteem zal de komende jaren dan ook een vereiste zijn om de Regioscan een levend instrument te houden.

6.1.2 Rekenmodule voor regionale kosten-baten en effectberekeningen

Met de Rekenmodule voor regionale kosten-baten- en effectberekeningen wordt het Kennissysteem Zoetwatermaatregelen ruimtelijk toegepast, zodat inzicht ontstaat in de kosten-batenafweging van groepen individuele agrariërs en de consequenties daarvan voor de bijdrage aan de regionale zoetwateropgave. In de rekenmodule worden grote hoeveelheden data van maatregelen en geografische kenmerken op een zo uniform mogelijke wijze verwerkt en met elkaar gecombineerd. Ten behoeve van de praktische bruikbaarheid wordt dit gedaan met eenvoudige modelbenaderingen, vuistregels en kentallen, zodat de rekestijden beperkt blijven. De rekenmodule is zo opgezet dat

kaartlagen vervangen kunnen worden, zodat de gevolgen van scenario's (bijvoorbeeld voor klimaat of beregeningsbeleid) inzichtelijk kunnen worden gemaakt. Met deze opzet is de Regioscan Zoetwatermaatregelen naar ons weten het enige beschikbare instrument waarmee meerdere zoetwatermaatregelen geautomatiseerd worden doorgerekend op kosten én baten, zowel in termen van euro's als in m³ water.

Bovengenoemde eigenschappen bieden goede aanknopingspunten voor de verkennend onderzoek naar de kansrijkheid en effectiviteit van lokale zoetwatermaatregelen en de ondersteuning van gebiedsprocessen. Praktijktoeepassingen moeten uitwijzen of de Regioscan Zoetwatermaatregelen daar inderdaad geschikt voor is en meerwaarde kan bieden. Vooruitlopend op dergelijke praktijktoepassingen wijzen wij gebruikers op de volgende beperkingen van het instrument, die het gevolg zijn van de huidige status en gehanteerde aanpak voor het instrument.

Ten eerste zijn niet alle maatregelen in het Kennissysteem op hetzelfde detailniveau uitgewerkt. Zo zijn een aantal drainagemaatregelen gekarakteriseerd op basis van de resultaten van een reeks SWAP-simulaties, terwijl andere maatregelen gekarakteriseerd zijn met grovere kentallen en veronderstellingen over de wijze waarop maatregelen worden uitgevoerd, soms op basis van expertkennis. Hierdoor is de aanpak niet geheel intern consistent, zodat de berekende onderlinge verschillen tussen de maatregelen systematisch af kunnen wijken van de werkelijkheid. Daarom dienen de uitkomsten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen in zijn geheel geëvalueerd te worden en is verificatie aan lokale kennis en informatie over de ondergrond en het watersysteem noodzakelijk.

Een tweede beperking is dat de Rekenmodule geen inzicht geeft in de betrouwbaarheid of onzekerheidsmarges van de uitkomsten. Inzicht in de onzekerheidsmarges is nuttig voor het verifiëren van de ranking van de maatregelen op basis van de berekende kosten en/of baten. Door de onzekerheidsmarges te vergelijken met verschillen tussen de opeenvolgende maatregelen kan namelijk inzicht worden opgebouwd in het onderscheidend vermogen van het instrument: naarmate de onzekerheidsmarges kleiner zijn dan de verschillen tussen opeenvolgende maatregelen is het onderscheidend vermogen groter. Omdat dit inzicht thans ontbreekt, adviseren wij om bij de doorontwikkeling van het instrument expliciet aandacht te schenken aan het onderscheidend vermogen van het instrument als gevolg van onzekerheden in de maatregeleninformatie.

De vergelijkingen van het maatreegeffect in De Raam die is berekend met zowel het regionaal hydrologisch model als het LHM geeft vooralsnog geen uitsluitsel over de plausibiliteit van de maatreegeffecten zoals geïmplementeerd in de Regioscan Zoetwatermaatregelen. Zo zijn er onverklaarbare verschillen in de beregeningsbehoefte tussen het regionale model en het LHM / Regioscan en verschilt de rekenperiode en de implementatie van de maatregelen. De huidige rekenresultaten wijzen vooralsnog op een grotere effectiviteit van regelbare drainage in de Regioscan Zoetwatermaatregelen dan wordt berekend door de hydrologische modellen. Nader onderzoek is nodig om de herkomst van deze verschillen te achterhalen. Voor laag-Nederland is nog geen vergelijking met de uitkomsten van regionale grondwatermodellen gemaakt en is de plausibiliteit van de Regioscan Zoetwatermaatregelen eveneens onbekend.

6.1.3 Aanbevelingen voor doorontwikkeling

Op basis van bovenstaande evaluatie van de Regioscan Zoetwatermaatregelen achten wij de volgende aanbevelingen voor de doorontwikkeling van de Regioscan Zoetwatermaatregelen relevant:

- In de huidige versie van de Regioscan Zoetwatermaatregelen ontbreken in ieder geval nog drie maatregelen waarvan veel wordt verwacht. Deze maatregelen zijn slootbodemplaat, plaatsing van LOP-stuwen en bodemverbetering. Implementeren van deze ontbrekende maatregelen is noodzakelijk om een volledig beeld van het perspectief van kleinschalige zoetwatermaatregelen in beeld te kunnen krijgen. Bovendien is deze ontwikkeling gewenst om beter aan te sluiten bij reeds ingezette trajecten bij waterschappen.
- Ter verbetering van het onderscheidend vermogen van de onderlinge verschillen tussen maatregelen is het noodzakelijk om de maatregeleninformatie te verfijnen en beter te onderbouwen. Tegelijkertijd dient het detailniveau van de informatie voor de verschillende maatregelen beter met elkaar in evenwicht te worden gebracht; in de huidige versie van het instrument varieert het detailniveau en de mate van onderbouwing per maatregel. Daarnaast adviseren wij om het onderscheidend vermogen te toetsen door middel van een onzekerheidsanalyse waarbij de meest kritische en onzekere kentallen, waaronder de opgeheven verdampingsreductie, worden betrokken.
- De huidige effectberekening van de opslag & toedieningsmaatregelen is thans gebaseerd op een beperkt aantal gewassen. Voor een vollediger en representatiever beeld van de opbrengsten is uitbreiding van de batenberekening voor meer gewassen noodzakelijk.
- De huidige effectberekening van zout is sterk vereenvoudigd, en betreft een directe factor op de ondervonden zoutschade. Dit heeft te maken met de waarde van de onderliggende gegevens, deze rechtvaardigt vooralsnog geen gedetailleerde berekening. Met het verder verbeteren van de zoutberekening in het LHM is het aan te bevelen parallel de afhandeling van het effect op zoutschade in de Regioscan verder te detailleren.
- Een belangrijke beoogde toepassing van de Regioscan Zoetwatermaatregelen is de ondersteuning van gebiedsprocessen. Voor dergelijke interactieve toepassingen is een interactieve visualisatie schil in Excel ontwikkeld. Hiermee is de gebruiksvriendelijkheid van het instrument aanzienlijk verbeterd voor wat betreft de visualisatie van reeds bestaande resultaten. Het genereren van nieuwe resultaten, bijvoorbeeld voor andere scenario's of met andere basisinformatie, vereist echter een hoog expert-niveau in verband met pre-processing en het doorrekenen van Pythonscripts. Geadviseerd wordt om het doorrekenen van scenario's gebruiksvriendelijker te maken, bijvoorbeeld door tools voor preprocessing beschikbaar te stellen.
- Verschillende van de in de Regioscan Zoetwatermaatregelen opgenomen maatregelen hebben naast hun effect op droogte- en zoutschade ook effect op natschade, en beïnvloeden daarmee de kosten-batenafweging van de agrariër. Het wordt aangeraden natschade integraal mee te nemen in de bepaling van de baten-kosten ratio.
- In de Regioscan zijn verschillende neveneffecten geïmplementeerd, alle kwalitatief. Kwantificering van de maatschappelijke neveneffecten kan echter bijdragen aan de maatschappelijke afweging in een gebied. Zeker een koppeling met de KRW ligt hierbij voor de hand, er is een mogelijke link met het onlangs gestarte project 'Keukentafeltool / Hydrometra'. De bijdrage van zoetwatermaatregelen aan de uitspoeling van nutriënten zou met uitkomsten van dit project kunnen worden ingevuld.

- In de Rekenmodule zijn nog geen routines geïmplementeerd voor het verrekenen van schaafeffecten. Hiermee wordt bedoeld dat sommige maatregelen efficiënter kunnen worden naarmate ze op grotere schaal, door samenwerking van meerdere bedrijven, worden toegepast. Een bekend voorbeeld vormt de ASR-systemen, die als gevolg van afnemende randeffecten efficiënter worden naarmate de omvang toeneemt. Door het ontbreken van schaafeffecten onderschat de Regioscan Zoetwatermaatregelen de kansrijkheid van ASR-systemen indien gebiedsgerichte samenwerking (tussen agrariërs onderling, of tussen agrariërs en andere grondbezitters) tot de mogelijkheden behoort. Een goed praktijkvoorbeeld van een dergelijke samenwerking is de voeding van een ASR-systeem van tuinders met hemelwater en restwater van de suikerunie te Dinteloord. Het perspectief van grootschalige toepassing van ASR systemen in west-Nederland is thans onderwerp van de studie COASTAR (zie paragraaf 6.3.3). De recent onderzochte schaalvoordelen van de Freshmaker lijken daarentegen beperkter dan gedacht (Fresh Force, 2017).
- In de Regioscan wordt aangenomen dat een boer een rationele afweging neemt op basis van kosten en baten van maatregelen. In de praktijk spelen er ook hele andere afwegingen mee (Van Duinen, 2015), bijvoorbeeld de mate van bekendheid met de maatregel en zijn risicoperceptie. Inzicht in deze afwegingen is van belang wanneer de overheid maatregelen wil stimuleren. Zo kunnen informatiebijeenkomsten over nieuwe maatregelen of inzet van pilots op sommige plekken effectiever zijn dan subsidies. Om meer inzicht te krijgen in het gedrag van boeren én betere beleidsmaatregelen te kunnen nemen bevelen we aan om gedragsaspecten aan de Regioscan toe te voegen.

Voor de ontwikkeling van de Regioscan Zoetwatermaatregelen wordt daarnaast specifiek aanbevolen om de volgende verbeteringen uit te voeren:

- Implementeren van druppelirrigatie uit grondwater;
- Implementeren van betere kansrijke kaart voor druppelirrigatie onder ploegzool. Nu is deze maatregel alleen in kleiige bodems als kansrijk aangemerkt vanwege de potentieel goede capillaire nalevering);
- Implementeren van de maatregelencombinatie regelbare drainage en opslag (kreekruginfiltratie, spaarwater lokale opslag);
- Implementeren van de mogelijkheid om maatregelen op specifieke arealen binnen bedrijven toe te passen (alleen hoogwaardig bijvoorbeeld);
- Implementeren van zoutbalans berekening voor de wortelzone ;
- Meenemen van de terugwin-efficiëntie bij de berekening voor de dimensionering van opslagmaatregelen;
- Berekening van de kosten differentiëren naar gebiedskenmerken (zandig, klei bv);
- Berekende effectiviteit van bronmaatregelen beperken op basis van beschikbaarheid van water;
- Grenzen aan dimensionering: perceel wel groot genoeg voor benodigde hoeveelheid water?
- Schaling van kosten meenemen als meer gebruikers de maatregel gaan toepassen.

Samenvattend dient gewerkt te worden aan vier ontwikkelrichtingen: A) van proof-of-concept naar volwaardig instrument, B) van experttool naar eenvoudig inzetbaar, C) verbreding van de functionaliteiten, en D) Kennissysteem als kennisbasis kleinschalige maatregelen. Deze

ontwikkelrichtingen zijn in onderstaand kwadrant samengevat. Ontwikkelingen in het ene kwadrant zijn overigens ondersteunend aan de andere ontwikkelrichtingen.

Tabel 6.1 *Ontwikkelrichtingen Regioscan Zoetwatermaatregelen*

| | |
|--|---|
| <p>A. Van proof-of-concept naar volwaardig instrument</p> <ul style="list-style-type: none"> • implementatie ontbrekende maatregelen, en geografisch dekkend • nadere toetsing plausibiliteit • meenemen / inzicht in betrouwbaarheid | <p>B. Van experttool naar makkelijk inzetbaar</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gebruiksgemak Regioscan zelf verbeteren • Visuele gebruikersschil ontwikkelen • Exceltool is een eerste aanzet |
| <p>C. Verbreding functinoaliteit Regioscan</p> <ul style="list-style-type: none"> • meenemen natschade • kwantificering neveneffecten • investeringsgedrag agrariër <p>schaaleffecten implementatie maatregelen</p> | <p>D. Kennissysteem als kennisbasis kleinschalige maatregelen</p> <ul style="list-style-type: none"> • transparant ontsluiten via internet • onzekerheidsmarges in plaats van vaste getallen (kosten bv) • beter scheiden generieke kennis / Regioscan specifiek • verrijken van het instrument met kennis en informatie uit lopende en toekomstige projecten |

6.2 Aanwijzingen voor gebruik(ers)

Uit de workshop met waterbeheerders bleek dat de Regioscan Zoetwatermaatregelen in de basis bruikbaar is voor het verkennen van het perspectief van kleinschalige landbouwmaatregelen voor de regionale zoetwateropgave. Het instrument bevat een aantal unieke functionaliteiten voor het verkrijgen van de volgende inzichten:

- Een indicatie van de prestatie van maatregelen ten opzichte van elkaar wat betreft netto kosten en bijdrage aan de zelfvoorzienendheid in de watervraag, c.q. de regionale wateropgave.
- Een indicatie te geven in hoeverre agrariërs zelfredzaam kunnen zijn wat betreft het voorzien in een toenemende vraag naar water. Deze informatie is nuttig voor het werven van agrariërs om de gewenste maatregelen te treffen en om inzicht te krijgen in de wenselijkheid voor aanvullende of andersoortige zoetwatermaatregelen. De Regioscan Zoetwatermaatregelen geeft een indicatie welke maatregelen daar minimaal voor vereist zijn en wat de kosten daarvan zijn;
- Een indicatie te geven in de kosten die gemoeid zouden zijn om een stimuleringsregeling op te zetten om richting te geven aan de wijze waarop adaptatie maatregelen worden genomen. De Regioscan geeft een indicatie van de maatregelen die daarvoor geschikt zijn en biedt de mogelijkheid om de implementatiegraad aan te passen totdat de gewenste bijdrage uit de regio is verwezenlijkt.
- Een indicatie te geven van de bedrijfstypen en ligging van de bedrijfstypen die kansrijk zijn voor mitigerende maatregelen. Deze informatie is bruikbaar om de inspanningen van waterbeheerders te trechteren, zodat de meest kansrijke en effectieve maatregelen op de juiste locaties als eerste worden genomen;
- Een indicatie te geven van de invloed van autonome ontwikkelingen of toekomstscenario's op de investeringsbeslissing van agrariërs. Deze informatie is bruikbaar voor de waterbeheerder voor het maken van beslissingen over bijvoorbeeld de fasering van maatregelenprogramma's.

De huidige versie van de Regioscan Zoetwatermaatregelen heeft echter een aantal beperkingen waarvan de gebruiker op de hoogte dient te zijn om het instrument op de juiste wijze te gebruiken. De belangrijkste beperkingen de consequenties daarvan zijn in paragraaf 6.1 geduid en beschreven. Daarnaast gelden de volgende aanwijzingen voor de interpretatie en communicatie van de resultaten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen:

- De Regioscan Zoetwatermaatregelen levert semi-kwantitatieve informatie over de kosten, baten en effecten van perceelsmaatregelen op het niveau van deelgebieden. Interpretatie van de resultaten op het niveau van rekencellen, en in mindere mate op het niveau van modelbedrijven, wordt vanwege de gehanteerde ruimtelijke clustering en onzekerheden in maatregeleninformatie afgeraden. Wel kan deze informatie inzicht geven in de factoren die bepalend zijn voor de kansrijkheid van maatregelen.
- De Regioscan Zoetwatermaatregelen heeft zich nog maar beperkt in de praktijk bewezen en bevat niet altijd evenwichtige maatregeleninformatie. Daarom is validatie van de uitkomsten met regionale modelstudies, pilots en lokale gebiedskennis noodzakelijk. Belangrijk aandachtspunt hierbij is de validiteit van het onderscheidend vermogen van de Regioscan Zoetwatermaatregelen wat betreft de onderlinge verschillen tussen maatregelen. De berekende onderlinge verschillen tussen maatregelen kunnen namelijk voor een deel het gevolg zijn van het schematiseren van maatregeleninformatie en onzekerheden daarin. Zolang het onderscheidend vermogen niet is geverifieerd, dienen de resultaten als geheel beschouwd te worden, en niet alleen de maatregelen die volgens de Regioscan de hoogste potentie hebben.
- De uitgevoerde casussen met de Regioscan Zoetwatermaatregelen voor hoog- en laag-Nederland bevestigen de bruikbaarheid van de principes van het instrument bij de ondersteuning van gebiedsprocessen. Om deze toepassing te faciliteren is een interactieve tool in Excel ontwikkeld, zodat resultaten van de Regioscan op verzoek zijn te bevragen en visualiseren. Uit de workshop met waterbeheerders bleek dat een goed begrip van de achtergronden en werking van het instrument noodzakelijk is om de resultaten goed te interpreteren en op waarde te schatten. De resultaten spreken niet vanzelf en behoeven een toelichting.

Omdat de resultaten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen vooralsnog niet kwantitatief gevalideerd zijn, en een goed begrip van de achtergronden van het instrument nodig is voor juiste interpretatie van de uitkomsten, wordt gebruik van het instrument zonder de betrokkenheid van de ontwikkelaars vooralsnog afgeraden.

6.3 Relatie tot lopende praktijkinitiatieven

Parallel aan het Deltaprogramma Zoetwater zijn recentelijk twee praktijkinitiatieven gelanceerd die tot doel hebben om kleinschalige zoetwatermaatregelen op regionale schaal toepasbaar te maken. Het eerste initiatief is het onderzoeksprogramma Lumbricus en is gericht op het verhogen van de droogterobuustheid van de Hoge Zandgronden. Het tweede initiatief is de lancering van de regionale zoetwater-adaptatiestrategie COASTAR voor West-Nederland. Hierbij wordt samen met gebiedspartners onderzocht hoe gebiedseigen water op regionale schaal kan worden opgevangen, in

de ondergrond kan worden geborgen en daarna weer worden benut. Daarnaast lopen ondermeer de programma's GO-FRESH, Spaarwater, Klimaatpilots al wat langer. De doelen van deze initiatieven hebben aanzienlijke overlap met het beoogde doel van de Regioscan Zoetwatermaatregelen, namelijk het bevorderen van de zelfvoorzienendheid in de watervraag van regio's door het implementeren van de juiste maatregel(combinaties) op de juiste plaats.

De genoemde onderzoeksprogramma's hebben als gemeenschappelijke deler dat de basisstrategie bestaat uit het verhogen van de zelfvoorzienendheid in de watervraag door beter gebruik te maken van het lokale neerslagoverschot en het sluiten van waterkringlopen. Daarnaast wordt in beide programma's een gebiedsbenadering gehanteerd, waarbij maatregelen op basis van locatie-specifieke kennis (met een bottom-up aanpak) worden geselecteerd en/of ontworpen. Deze kennisintensieve aanpak heeft als voordeel dat de verkenning van zoetwatermaatregelen met de best beschikbare kennis en technieken onderbouwd wordt, en dat efficiënt doorgeschakeld kan worden naar de ontwerpfase. Het nadeel is echter dat de kennis en inzichten niet direct vertaald kunnen worden naar andere gebieden. De Regioscan Zoetwatermaatregelen kan een rol spelen in het overbruggen van dit hiaat tussen locatie-specifieke kennis en generieke informatie over het perspectief van zoetwatermaatregelen. In de Regioscan Zoetwatermaatregelen wordt namelijk een top-down aanpak gehanteerd, waarbij met behulp van gegeneraliseerde maatregeleninformatie inzicht wordt verworven in de kosten en baten van maatregelen. Dit heeft als meerwaarde boven de kennisintensieve regiostudies dat beschikbare kennis snel en efficiënt toegepast kan worden op gebieden waar geen experimentele gegevens beschikbaar voor zijn.

Wij voorzien dat de Regioscan Zoetwatermaatregelen in de toekomst (na implementatie van hiaten en verfijning van de basisinformatie, zie paragraaf 6.1) een rol kan vervullen bij het ontsluiten van beschikbare kennis en informatie uit een grote diversiteit van databronnen (rapporten, publicaties, databases en kennis). Hiervoor is het noodzakelijk dat het kennis- en informatiesysteem van de Regioscan Zoetwatermaatregelen actueel wordt gehouden. Dit betekent o.a. dat de resultaten uit lopende en nieuwe praktijkinitiatieven, voor zo ver mogelijk, terug moeten vloeien naar de Regioscan. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de Regioscan Zoetwatermaatregelen uitsluitend informatie kan leveren over het perspectief van zoetwatermaatregelen in de verkenningsfase van zoetwaterprojecten. Voor het ontwerpen van maatregelen blijft gebiedsgericht maatwerk en onderzoek noodzakelijk.

7 Conclusies

7.1 Het instrument Regioscan Zoetwatermaatregelen

De Regioscan Zoetwatermaatregelen is een instrument dat inzicht geeft in het perspectief van lokale zoetwatermaatregelen voor de regionale zoetwateropgave op basis van de kosten en baten voor groepen individuele modelbedrijven. Hiertoe is een Kennissysteem Zoetwatermaatregelen met geschematiseerde maatregeleninformatie samengesteld en voor regio's toepasbaar gemaakt op basis van algemeen beschikbare geo-informatie en output van grondwatermodellen. Unieke eigenschappen van de Regioscan Zoetwatermaatregelen zijn (1) de ontsluiting van een grote diversiteit aan maatregeleninformatie, (2) de combinatie van fysische en bedrijfseconomische rekenregels voor het genereren van regio-specifieke maatregeleninformatie waarbij agrariërs centraal staan en (3) de doorvertaling van gelokaliseerde maatregeleninformatie naar de (netto) kosten (€) en opbrengsten (m³ water) op het niveau van beheersgebieden.

De huidige versie van de Regioscan Zoetwatermaatregelen is een proof-of-concept, en geeft voor 13 kleinschalige zoetwatermaatregelen een indicatie van de baten-kostenratio, de netto waterbesparing en een overzicht van mogelijke neveneffecten. Met twee pilots is aangetoond dat het instrument ondersteuning kan bieden bij de verkenning van mogelijke zoetwatermaatregelen en de beleidsmogelijkheden om de maatregelen geïmplementeerd te krijgen. Vanwege de beperkte rekentijden en de beschikbaarheid van een interactieve visualisatie-tool in Excel ligt tevens een toepassing bij de ondersteuning van gebiedsprocessen in het verschiet. De Regioscan Zoetwatermaatregelen is niet geschikt voor bedrijfsadvisering en het ontwerpen van maatregelenpakketten. Het maatwerk dat daarvoor vereist is, kan alleen met lokale kennis en informatie worden geleverd.

Uitkomsten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen zijn binnen de casestudies getoetst aan inzichten opgedaan binnen Spaarwater (case Anna Paulowna – Oostpolder), een regionaal hydrologisch model (case Raam), en het Landelijk Hydrologisch Model (case KPA). Voor de case Anna Paulowna – Oostpolder geldt dat de resultaten in zijn algemeenheid overeenstemmen met de verwachting, behalve dat in de Anna Paulownapolder door de Regioscan Zoetwatermaatregelen systeemgerichte drainage als kansrijker wordt gezien dan lokale opslag van perceelseigen water. Binnen de case Raam kwamen grote verschillen naar voren tussen de aanwezige beregeningsbehoefte in de Regioscan (die overeenkomt met de beregeningsbehoefte in het LHM), en de beregeningsbehoefte in het regionale model. Deze verschillen bemoeilijkten een goede vergelijking van maatregeleffecten, vooralsnog lijkt het effect van maatregelen in de Regioscan groter dan berekend door het regionaal hydrologisch model. Ook de vergelijking tussen het LHM en de Regioscan werd bemoeilijkt door verschillen in benadering. De uitkomsten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen zijn daarmee nog niet kwantitatief gevalideerd.

Om de toepassing van Regioscan Zoetwatermaatregelen in de praktijk mogelijk te maken, heeft de huidige versie het instrument in ieder geval op de volgende punten verdere ontwikkeling:

- (1) Kwantitatief valideren van de uitkomsten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen, door verdere toetsing aan gedetailleerde hydrologische modellen en kosten-baten analyses. Daarnaast adviseren wij een gevoeligheidsanalyse om de belangrijkste onzekerheden in het instrument in

beeld te brengen. Het wordt daarom vooralsnog afgeraden de Regioscan Zoetwatermaatregelen toe te passen zonder expert-inbreng van de ontwikkelaars;

- (2) Implementeren van de maatregelen slootbodempverhoging, plaatsen van perceelsstuwen en bodemverbetering. Deze zoetmaatregelen hebben hun effectiviteit voor hoog-Nederland in de praktijk bewezen, of lijken vanwege de beperkte kosten goed perspectief te bieden. Door het ontbreken van deze maatregelen in de Regioscan Zoetwatermaatregelen blijft het volledige perspectief van lokale zoetwatermaatregelen onderbelicht;
- (3) Detailleren en in onderling harmonie brengen van de geschematiseerde maatregel informatie die in het Kennissysteem Zoetwatermaatregelen is opgenomen. Daarnaast toewerken naar een Kennissysteem als een gedragen kennisbasis voor effecten, kosten en baten van kleinschalige zoetwatermaatregelen. Verdere transparantie en processen voor up-to-date houden van de informatie maken hier onderdeel van uit;

7.2 Bijdrage van kleinschalige zoetwatermaatregelen aan de landelijke zoetwateropgave

Bij wijze van *proof of concept* is de Regioscan Zoetwatermaatregelen toegepast op twee casussen, namelijk op het stroomgebied van De Raam (Noord-Brabant, hoog-Nederland) en de Anna Paulowna- en Oostpolder (Noord-Holland, Laag Nederland). Voor de casus De Raam geeft de Regioscan Zoetwatermaatregelen indicaties dat de huidige praktijk van gangbare beregening een belemmering vormt voor het nemen van kleinschalige adaptatiemaatregelen, omdat deze referentiemaatregel de meest gunstige baten-kostenratio voor agrariërs heeft. Adaptatiemaatregelen zullen daarom alleen genomen worden indien verantwoordelijk overheden actief ontmoedigings- of stimuleringsbeleid gaan voeren, of indien droogte perioden vaker op zullen treden zodat de beschikbaarheid van water voor beregening afneemt.

Voor de casus Anna Paulowna en Oostpolder geeft de Regioscan Zoetwatermaatregelen indicaties dat de huidige opbrengstderving in de Anna Paulowna-polder als gevolg van zoutschade dermate hoog is dat kleinschalige adaptatiemaatregelen bij de teelt van kapitaalintensieve gewassen zichzelf terug zullen verdienen. Dit betekent dat kleinschalige adaptatiemaatregelen goed perspectief bieden en agrariërs relatief eenvoudig tot adaptatie te bewegen zijn. In de Oostpolder lijkt daar geen sprake van te zijn, omdat daar minder kapitaalintensieve gewassen worden geteeld, zodat de huidige opbrengstderving onvoldoende is om op te wegen tegen de kosten van kleinschalige zoetwatermaatregelen voor agrariërs. Kleinschalige adaptatiemaatregelen zullen daarom alleen door agrariërs (die kapitaal extensieve gewassen telen) worden genomen indien verantwoordelijke overheden actief stimulerings- of ontmoedigingsbeleid zullen voeren. Deze conclusie geeft aanleiding om te onderzoeken hoe de (netto) kosten van kleinschalige maatregelen zich verhouden ten opzichte van (1) de kosten van oppervlaktewateraanvoer, en (2) de kosten van maatregelen die op gebiedsniveau worden genomen, c.q. door gebiedsgerichte samenwerking, zoals collectieve infiltratie van zoetwater.

Uit de casussen is gebleken dat de Regioscan Zoetwatermaatregelen in potentie toepasbaar is voor de verkenning van het perspectief van zoetwatermaatregelen binnen specifieke gebieden. Hiermee kon voor het eerst inzicht worden verkregen in de consequentie van de kosten-batenafweging van groepen individuele modelbedrijven voor de implementatie van kleinschalige zoetwatermaatregelen. Nader onderzoek moet uitwijzen of de resultaten van de Regioscan Zoetwatermaatregelen

voldoende waarheidsgetrouw zijn en of de conclusies ten aanzien van de adaptatiebereidheid van agrariërs van generieke aard zijn. De verwachting is dat de lopende praktijkinitiatieven op het gebied van grootschalige toepassing van kleinschalige zoetwatermaatregelen daar op termijn meer zicht op zullen geven.

Literatuur

- Burger, S., Waterloo, M., Hu-a-ng, K., Oord, A., 2016. Eigen watervoorziening: Zoetwaterbeschikbaarheid, Spaarwater deelrapport 2013-2015.
- Deltares (2013), Landelijke verkenning van effecten van maatregelpakketten voor de zoetwatervoorziening in Nederland, Deelprogramma Zoetwater - Fase 3.
- Deltacommissaris, 2013. Deltaprogramma 2014: Werk aan de delta.
- Deltaprogramma. 2015. Werk aan de Delta - en nu begint het pas echt. Uitgave van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu en het Ministerie van Economische Zaken.
- De Lange, W.J., Prinsen, G.F., Hoogewoud, J.C., Veldhuizen, A.A., Verkaik, J., Oude Essink, G.H.P., Van Walsum, P.E. V, Delsman, J.R., Hunink, J.C., Massop, H.T.L., Kroon, T., 2014. An operational, multi-scale, multi-model system for consensus-based, integrated water management and policy analysis: The Netherlands Hydrological Instrument. Environ. Model. Softw. 59, 98–108.
- Ecorys, 2013. Voorverkenning kosten en baten Deltaprogramma Zoetwater - Analyse ten behoeve van de onderbouwing van kansrijke zoetwaterstrategieën.
- Fresh Force (2017) Gebiedsfreshmaker – Verkenning naar opschalingsmogelijkheden Freshmakerconcept.
- Gijsbers, P. (2016) Quick Scan Tool KPA2.0: documentatie. Deltares rapport 1230076-008
- Gijsbers, P. en Ten Velden, C. (2017 concept) Validatie QWAST-Nederland: Quick Water Allocation Scanning Tool voor inzet in Knelpuntenanalyse 2.0. Deltares rapport 11200588-025
- Hoogvliet, M., Stuyt, L., van Bakel, J., Velstra, J., de Louw, P., Massop, H.T.L., Tolk, L., van Kempen, C., Nikkels, M., 2014. Methode voor het selecteren van lokale zoetwateroplossingen en het afwegen van hun effecten: “ Fresh Water Options Optimizer.”
- Hunink J., Visser, M., 2013. Resultaten Regiomaatregelen. Deltares memo 1207773-000-VEB-0025
- Jeuken, A., Tolk, L., Stuyt, L., Delsman, J., Louw, P. de, Baaren, E. van, Paalman, M., 2015. Zelfvoorzienend in zoetwater: zoek de mogelijkheden, STOWA rapport 2015-30
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. 2014. Klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie. Herziene uitgave 2015. Brochure. KNMI, De Bilt.
- Massop, H.T.L. ; Schuiling, C. ; Veldhuizen, A.A., 2013.. Wageningen, Alterra Wageningen UR, Alterra-rapport 2382.
- Massop, H.T.L. en C. Schuiling, C., 2016. Buisdrainagekaart 2015 : update landelijke buisdrainagekaart op basis van de landbouwmetellingen van 2012. Wageningen, Alterra Wageningen UR, Alterra-rapport 2700.
- Pauw, P.S., van Baaren, E.S., Visser, M., de Louw, P.G.B., Essink, G.H.P.O., 2015. Increasing a freshwater lens below a creek ridge using a controlled artificial recharge and drainage system: a case study in the Netherlands. Hydrogeol. J.
- Schipper, P., Veldhuizen, A., Kroes, J., 2015. Effectief inlaatregiem zoetwatervoorziening pilot modelleringen €ureyeopener voor het Hoogheemraadshcap Hollands-Noorderkwartier.

- van Boekel, E., Roelsma, J., Massop, H., Mulder, H., Renaud, L., Hendriks, R. 2014. Achtergrondconcentraties in het oppervlaktewater van HHNK. Deelrapport 26: Analyse achtergrondconcentraties voor stikstof en fosfor op basis van water- en nutriëntenbalansen voor deelgebied Anna Paulownapolder Laag. Alterra-rapport 2475.26. ISSN 1566-7197.
- van Dam, J.C., Groenendijk, P., Hendriks, R.F.A., Kroes, J.G., 2008. Advances of Modeling Water Flow in Variably Saturated Soils with SWAP. *Vadose Zo. J.* 7, 640.
- Van Duinen, R., Filatova, T., Geurts, P., Van der Veen, A., 2014. Coping with drought risk: empirical analysis of farmers' drought adaptation in the south-west Netherlands. *Reg. Environ. Chang.*
- Velstra, J., van Staveren, G., Oosterwijk, J., van der Werff, R., Tolk, L., Groen, J., 2013. Verziltingsstudie Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Eindrapport. *Acacia WATER*. pp. 175
- Veraart, J.A., Duinen, R. Van, Vreke, J., 2017. Evaluation of Socio-Economic Factors that Determine Adoption of Climate Compatible Freshwater Supply Measures at Farm Level: a Case Study in the Southwest. *Water Resour. Manag.* 31, 587–608.
- Vermeulen, P., W. van der Linden, A. Veldhuizen, H. Massop, H. Vermulst, W. Swierstra, 2007. IBRAHYM, Grondwater Modelinstrumentarium Limburg. Utrecht, TNO-rapport 2007-U-R0193/B.
- Vermeulen, P., F. Roelofsen en A. Veldhuizen, 2015. Actualisatie en kalibratie Ibrahym. Beschrijving van activiteiten t.b.v. IBRAHYM v2.0. Deltares.
- Waterloo, M., van der Gaast, J., Tonckens, W., Braams, G., Broere, A., Burger, S., 2016. Effectief watergebruik: Druppelirrigatie en fertigatie, Spaarwater deelrapport 2013-2015.
- Zuurbier, K., Kooiman, J., Groen, M.M.A., Maas, B., Stuyfzand, P.J., 2015. Enabling successful aquifer storage and recovery of freshwater using horizontal directional drilled wells in coastal aquifers. *J. Hydrol. Eng.* 20, 1–7.
- Zuurbier, K.G., Zaadnoordijk, W.J., Stuyfzand, P.J., 2014. How multiple partially penetrating wells improve the freshwater recovery of coastal aquifer storage and recovery (ASR) systems: A field and modeling study. *J. Hydrol.* 509, 430–441. Burger, S., Waterloo, M., Hu-a-ng, K., Oord, A., 2016. Eigen watervoorziening: Zoetwaterbeschikbaarheid, Spaarwater deelrapport 2013-2015.
- Hoenderken, J., 2007. Door lange slang minder arbeid [WWW Document]. edepot.wur.
- Hoogvliet, M., Stuyt, L., van Bakel, J., Velstra, J., de Louw, P., Massop, H.T.L., Tolk, L., van Kempen, C., Nikkels, M., 2014. Methode voor het selecteren van lokale zoetwateroplossingen en het afwegen van hun effecten - Fresh Water Options Optimizer, KvK rapport 141/2014.
- Jeuken, A., Tolk, L., Stuyt, L., Delsman, J., Louw, P. de, Baaren, E. van, Paalman, M., 2015. Zelfvoorzienend in zoetwater: zoek de mogelijkheden, STOWA rapport 2015-30.
- Oude Essink, G.H.P., Van Baaren, E.S., Zuurbier, K.G., Velstra, J., Veraart, J., Brouwer, W., Faneca Sánchez, M., Pauw, P.S., de Louw, P.G.B., Vreke, J., Schoevers, M., 2014. GO-FRESH: Valorisatie kansrijke oplossingen voor een robuuste zoetwatervoorziening.
- Spaarwater, 2016. Pilots rendabel en duurzaam agrarisch watergebruik in een verziltende omgeving van de waddenregio 52.
- Stuyt, L.C.P.M., van der Bolt, F.J.E., Snellen, W.B., Groenendijk, P., Schipper, P.N.M., Harmsen, J., 2012. Meer water Met regelbare drainage ?

- Tolk, L., 2013. Zoetwater verhelderd - maatregelen voor zoetwater zelfvoorzienendheid in beeld.
- van Dam, J.C., Groenendijk, P., Hendriks, R.F.A., Kroes, J.G., 2008. Advances of Modeling Water Flow in Variably Saturated Soils with SWAP. *Vadose Zo. J.* 7, 640.
- van den Hurk, B., Siegmund, P., Klein Tank, A., Attema, J., Bakker, A., Beersma, J., Bessembinder, J., Boers, R., Brandsma, T., Brink, H. Van Den, Drijfhout, S., Eskes, H., Haarsma, R., Hazeleger, W., Jilderda, R., Katsman, C., Lenderink, G., Loriaux, J., Meijgaard, E. Van, Noije, T. Van, Oldenborgh, G.J. Van, Selten, F., Siebesma, P., Sterl, A., Vries, H. De, van Weele, M., de Winter, R., van Zadelhoff, G., 2014. KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century – A Netherlands perspective, Scientific Report WR2014-01.
- Van Duinen, R., Filatova, T., Geurts, P., Van der Veen, A., 2015. Coping with drought risk: empirical analysis of farmers' drought adaptation in the south-west Netherlands. *Reg. Environ. Chang.* 15, 1081–1093.
- Veraart, J.A., Duinen, R. Van, Vreke, J., 2017. Evaluation of Socio-Economic Factors that Determine Adoption of Climate Compatible Freshwater Supply Measures at Farm Level: a Case Study in the Southwest. *Water Resour. Manag.* 31, 587–608.
- Zuurbier, K., Van der Schans, M., Paalman, M., de Putter, P., te Winkel, T., Velstra, J., Oude Essink, G., 2015. Technisch-juridische handreiking risicobeoordeling "ondergrondse waterberging."
- Zuurbier, K.G., Raat, K.J., Paalman, M., Oosterhof, A.T., Stuyfzand, P.J., 2016. How Subsurface Water Technologies (SWT) can Provide Robust, Effective, and Cost-Efficient Solutions for Freshwater Management in Coastal Zones. *Water Resour. Manag.*

8 Bijlage A: Gebruikshandleiding Regioscan Zoetwatermaatregelen

8.1 Inleiding

Dit is de beknopte gebruikershandleiding van het instrument Regioscan Zoetwatermaatregelen, een instrument om regionale effecten, kosten en baten en neveneffecten van lokale zoetwatermaatregelen in beeld te brengen. Het instrument is ontwikkeld in Python 3.5 en vergt een Python omgeving om te draaien.

8.2 Installatie benodigde hulpprogramma's

De Regioscan vereist een geïnstalleerde Python 3.5 distributie. Het eenvoudigst is hiervoor gebruik te maken van een van de verschillende vrij verkrijgbare Python distributies. Deze gebruikershandleiding gaat ervan uit dat gebruik wordt gemaakt van Anaconda Python (te downloaden van <https://www.continuum.io/downloads>).



De Regioscan gebruikt GIS bestanden van het iMOD idf formaat. Met het programma iMOD kunnen deze bestanden worden ingelezen en bekeken. iMOD is na registratie vrij te downloaden van <http://oss.deltares.nl/web/imod/download>. De installatie bevat een uitgebreide handleiding en tutorials voor gebruik.

De Kennisdatabase Zoetwatermaatregelen, waarin alle informatie over maatreegeffecten is opgeslagen, is een Microsoft Access database. Microsoft Access, onderdeel van Office, is nodig om informatie uit de database te kunnen bekijken en bevragen. Wanneer op de computer geen Microsoft Access aanwezig is, kan het nodig zijn AccessDatabaseEngine_X64.exe te installeren. Dit bestand wordt meegeleverd met de Regioscan en is te vinden in de bin\ directory.

8.3 Installatie Regioscan Zoetwatermaatregelen

Pak de bestanden van de Regioscan uit in een map, niet al te diep in de directorystructuur (dus bijvoorbeeld direct onder c: of d:).

Als Anaconda Python wordt gebruikt, typ in een dos box (windows menu -> zoek programma's en bestanden -> cmd.exe) achtereenvolgens de volgende commando's:

```
cd <locatie van geïnstalleerde Regioscan_zoetwater >
set CONDA_FORCE_32BIT=1
conda create -n Regioscan python=3.5 -c conda-forge --yes
activate Regioscan
set CONDA_FORCE_32BIT=1
conda install --file requirements.txt -c conda-forge --yes
python setup.py develop
set CONDA_FORCE_32BIT=
```

Bij andere python 3.5 distributies moeten in ieder geval het volgende commando worden gegeven vanuit Regioscan_zoetwater directory:

```
python setup.py develop
```

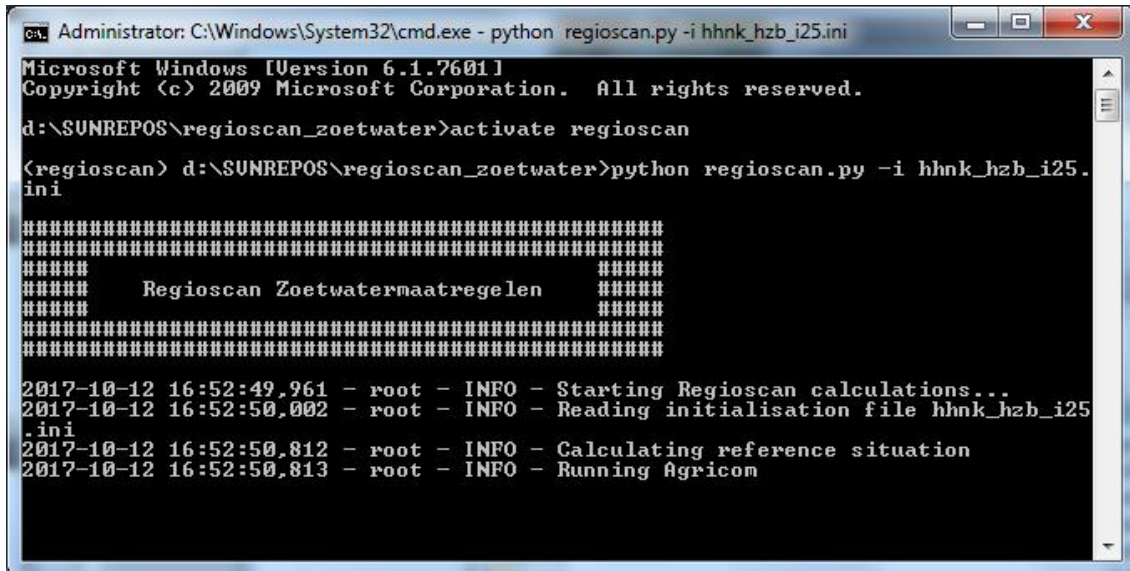
8.4 Doen van een Regioscan berekening

Open een dos box (cmd.exe), ga naar de directory Regioscan_zoetwater.

Draai de Regioscan als volgt (typ de volgende commando's):

```
activate Regioscan
python Regioscan.py -i <inibestand>
```

<inibestand> is de locatie van het gewenste initialisatiebestand, waar de instellingen van de berekeningen in zijn opgeslagen. Meldingen van het programma worden op het scherm weergegeven, maar ook weggeschreven in de logbestanden *info.log* en *debug.log*. Als deze bestanden te groot worden, worden oude meldingen automatisch verplaatst naar *debug.log.<nr>*



```
Administrator: C:\Windows\System32\cmd.exe - python regioscan.py -i hhnk_hzb_i25.ini
Microsoft Windows [Version 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

d:\SUNREPOS\regioscan_zoetwater>activate regioscan

<regioscan> d:\SUNREPOS\regioscan_zoetwater>python regioscan.py -i hhnk_hzb_i25.
ini
#####
#####
#####      Regioscan Zoetwatermaatregelen      #####
#####
#####
#####
2017-10-12 16:52:49,961 - root - INFO - Starting Regioscan calculations..
2017-10-12 16:52:50,002 - root - INFO - Reading initialisation file hhnk_hzb_i25
.ini
2017-10-12 16:52:50,812 - root - INFO - Calculating reference situation
2017-10-12 16:52:50,813 - root - INFO - Running Agricom
```

Figuur 8.1: Berekening van de Regioscan Zoetwater in een zogeheten dos box

8.5 Initialisatiebestand

In het initialisatiebestand zijn de instellingen van de berekening vastgelegd. Het inibestand kent de volgende opbouw, de afzonderlijke instellingen worden daarna toegelicht:

```
# INITIALISATION FILE FOR REGIOSCAN ZOETWATERMAATREGELN
# Must contain [REGIOSCAN] header
[REGIOSCAN]
scenario = Huidig
allowed measure combinations = all

selection by implementation degree = True
selection by implementation degree table = False
```



```

implementation degree single = 25
adaptation threshold = 0.0
filename implementation degree table = impl_deg_table.csv

calculation path = ./calc_Raam
hydroinput path = ./data/HydroInput_Raam

discount rate = 0.01
test = False

```

In het inibestand wordt een commentaarregel aangegeven met een #. De regel met [REGIOSCAN] is verplicht, en moet boven de instellingen staan. De volgende instellingen kunnen worden gewijzigd:

- scenario: Welk scenario (keuze Huidig, Huidig_geenberekening, KlimaatWH2050)
- allowed measure combinations: Welke maatregelcombi's doen mee, 'all' of een kommagescheiden lijst (nummers corresponderen met MeasureCombinations in de kennisdatabase)
- selection by implementation degree: Selectie op implementatiegraad als True, als False selectie op adaptatiegraad
- selection by implementation degree table: Als True: implementatiegraad per tabel (per deelgebied, bedrijfstype, maatregel), anders als False: enkelvoudige implementatiegraad
- implementation degree single: Wat is de enkelvoudige implementatiegraad (in procenten)
- adaptation threshold: Wat is de adaptatiegrens? De minimale baten-kosten ratio (NBC) waarboven een maatregel wordt genomen
- filename implementation degree table: bestandsnaam tabel meervoudige implementatiegraad
- calculation path: Pad naar de locatie van de output. Onder deze locatie wordt een directory aangemaakt met de naam van het scenario, waarin de uitkomsten worden weggeschreven.
- hydroinput path: Pad naar de invoergegevens
- discount rate: De in de berekening gebruikte discontovoet, op te geven als fractie (standaard 0.01)
- test Deze instelling is puur voor testen. Als True, wordt de Agricom berekening niet uitgevoerd, en worden eerder op dezelfde locatie weggeschreven gegevens gebruikt.

Voor een berekening die een implementatiegraad onderzoekt van 25%, waarbij 25% van de modelbedrijven een maatregel implementeren, moeten bijvoorbeeld de volgende instellingen worden gehanteerd:

```

selection by implementation degree = True
selection by implementation degree table = False
implementation degree single = 25

```

Voor een berekening die de adaptatiegraad onderzoekt waarbij de baten-kosten-ratio positief is, moeten bijvoorbeeld de volgende instellingen worden gehanteerd:

```

selection by implementation degree = False

```

adaptation threshold = 0.0



```
hhnk_whzb_i25.ini - Notepad
File Edit Format View Help
# INITIALISATION FILE FOR REGIOSCAN ZOETWATERMAATREGELEN
# Must contain [REGIOSCAN] header
[REGIOSCAN]
scenario = KlimaatWH2050
allowed measure combinations = 1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12,13,14,17,18,19,20,21,22,23,24,27,28

selection by implementation degree = True
selection by implementation degree table = False

implementation degree single = 25
adaptation threshold = 0.0

filename implementation degree table = impl_deg_table.csv

calculation path = ./calc_HHnk
hydroinput path = ./data/HydroInput_HHnk
```

Figuur 8.2: Voorbeeld van een initialisatiebestand, geopend in Kladblok

8.6 Directorystructuur en bestanden Regioscan

Onder de map Regioscan_zoetwater bevinden zich de volgende mappen:

- bin\ Hier bevinden zich hulpprogramma's, zoals Agricom, en het eventueel benodigde MS Access hulpprogramma
- calc_<case>\ Hier komt uitvoer, (tussen)resultaten
- data\ Locatie van de verschillende invoergegevens, ook de kennisdatabase
- docs\ Documentatie
- Regioscan_zoetwater\ Locatie van de python scripts (het eigenlijke programma)

In de map data\:

- HydroInput_<case>\
 - Huidig\ Scenario huidige situatie
 - Buffer\ Metarelaties 'buffermaatregel'
 - Evenredig\ Metarelaties 'evenredige maatregel'
 - MetBerekening\ Referentie met reguliere berekening
 - ZonderBerekening\ Referentie zonder berekening
 - Zout\ Metarelaties aanpassing zoutconcentratie wortelzone
 - Huidig_geenberekening\ Scenario huidige situatie zonder berekening
 - KlimaatWH2050\ Scenario klimaat WH 2050
 - Kansrijkeheidsgrids\ Kansrijkeheidsgrids (FWOO grids) per maatregel
- maatregelen.accdb Kennisdatabase Zoetwatermaatregelen

In de map calc_<case>\ <scenario>\ (instelling calculation path en scenario in inibestand), nadat een berekening is uitgevoerd):

- reference\ Uitvoer van de referentiesituatie
- maps\ Kaarten van het eindresultaat, per deelgebied en per modelbedrijf
- mc_1\ Uitvoer voor maatregelcombinatie 1

- mc_2\ Uitvoer voor maatregelcombinatie 2
- mc_...\
- CompanyResultsGeneral.csv Algemene info per bedrijf
- CompaniesGeneral.csv Algemene info per bedrijf (*deze twee bestanden bevatten gelijke info*)
- AllResultsRankedPerCompany.csv Resultaten per maatregelcombinatie per modelbedrijf
- SuccessResultsRankedPerCompany.csv Resultaten per maatregelcombinatie per modelbedrijf, die volgens kansrijke kaarten ook kansrijk zijn
- ResultsRank1.csv Resultaten beste (meest positieve baten-kostenratio) per modelbedrijf
- ControlSingleImplementationDegree.csv Controlebestand implementatiegraad (kan ook ControlMultiple.. zijn)
- ResultsPerCompany.csv Eindresultaat per modelbedrijf
- ResultsPerCompanyType.csv Gesommeerd eindresultaat per bedrijfstype
- ResultsPerSubArea.csv Gesommeerd eindresultaat per deelgebied

In de mappen mc_...\ en reference\ bevinden zich de volgende uitvoerbestanden:

- Agricom_In\ Invoerbestanden (droogte- en zoutshade) voor agricom berekening
- Agricom_Out\ Uitvoer agricom berekening (kosten berekening (ModuleA), opbrengstderving in kilos (ModuleB) en Euros (ModuleC))
- companyresult_mc_?_tred.csv Optredende gewasverdampingsreductie per jaar per bedrijf (m³)
- agricom_measure.inp Initialisatiebestand Agricom berekening
- companyresult_mc_?_qapp.csv Watergift per jaar per bedrijf (m3)
- agricom_measure.xml LogbestandAagricom
- companyresult_mc_?_icost.csv Investeringskosten per maatregel per bedrijf
- companyresult_mc_?_mcost.csv Onderhoudskosten per jaar per bedrijf
- companyresult_mc_?.csv Resultaten per modelbedrijf
- companyresult_mc_?_nbc.csv Kosten en batenberekening per modelbedrijf
- companyresult_mc_?_fwoo.csv Is de maatregel kansrijk?

8.7 Inhoud uitvoerbestanden Regioscan

In de verschillende bestanden in de hoofddir van de berekening komen de volgende kolommen voor. Niet alle kolommen komen in alle bestanden voor. De met * kolommen worden bij opschaling gesommeerd. In de bestanden ResultsPerSubarea.csv en ResultsPerCompanyType.csv zijn dit sommaties per respectievelijk deelgebied, en bedrijfstype binnen deelgebied.

| Kolom | Beschrijving | Eenheid |
|---------------|---|---------|
| mc | Maatregelcombinatie (zie tabel MeasureCombination voor uitleg code) | - |
| CompanyNumber | Unieke code per modelbedrijf | - |
| companytype | Bedrijfstype modelbedrijf (zie tabel CompanyType voor codes) | - |
| subarea | Code deelgebied | - |
| cost* | Kosten maatregelcombinatie gemiddeld per jaar | EUR |
| benefit* | Baten maatregelcombinatie per bedrijf gemiddeld per jaar | EUR |

| | | |
|-------------------|---|---|
| NBC | Kosten - baten ratio (Baten - Kosten) / Kosten | - |
| rank | Rangorde NBC maatregelcombinatie binnen bedrijf, in ResultsRank1.csv rangorde binnen deelgebied | - |
| surfacewater* | Toegediend water uit oppervlaktewater bij maatregelcombinatie (gemiddelde over jaren) | m3/jr |
| groundwater* | Toegediend water uit grondwater bij maatregelcombinatie (gemiddelde over jaren) | m3/jr |
| Toename_sw* | Toegediend water uit oppervlaktewater ten opzichte van referentie (gemiddelde over jaren) | m3/jr |
| Toename_gw* | Toegediend water uit grondwater ten opzichte van referentie (gemiddelde over jaren) | m3/jr |
| Qapp_gw_sw | Totaal toegediend water uit grond- en oppervlaktewater (som over jaren) | m3 |
| SeuitspoelN* | Neveneffect maatregelcombinatie op uitspoeling N | kwalitatieve score (1: +, 2: ++, -1: -, -2: --) |
| SeuitspoelP* | Neveneffect maatregelcombinatie op uitspoeling P | kwalitatieve score (1: +, 2: ++, -1: -, -2: --) |
| Sewaterkwaliteit* | Neveneffect maatregelcombinatie op waterkwaliteit | kwalitatieve score (1: +, 2: ++, -1: -, -2: --) |
| Severdroging* | Neveneffect maatregelcombinatie op verdroging | kwalitatieve score (1: +, 2: ++, -1: -, -2: --) |
| Sebodemdaling* | Neveneffect maatregelcombinatie op bodemdaling | kwalitatieve score (1: +, 2: ++, -1: -, -2: --) |
| Sepiekafvoer* | Neveneffect maatregelcombinatie op piekafvoeren | kwalitatieve score (1: +, 2: ++, -1: -, -2: --) |

De met * aangegeven kolommen worden bij opschaling gesommeerd. In de bestanden ResultsPerSubarea.csv en ResultsPerCompanyType.csv zijn dit sommaties per respectievelijk deelgebied, en bedrijfstype binnen deelgebied. De kolommen heten net iets anders in deze bestanden:

| Kolom | Beschrijving | Eenheid |
|---------------------|--|---------|
| Costs_EuroPerYear | Kosten genomen maatregelcombinaties gemiddeld per jaar gesommeerd | EUR |
| BenefitsEuroPerYear | Baten genomen maatregelcombinaties gemiddeld per jaar gesommeerd | EUR |
| Watergebruik_gw_m3 | Toegediend water uit oppervlaktewater bij genomen maatregelcombinatie gesommeerd | m3/jr |
| Watergebruik_sw_m3 | Toegediend water uit grondwater bij genomen maatregelcombinaties gesommeerd | m3/jr |
| Toename_gw_prc | Toegediend water uit oppervlaktewater ten opzichte van referentie gesommeerd | m3/jr |
| Toename_sw_prc | Toegediend water uit grondwater ten opzichte van referentie | m3/jr |

| | | |
|--|------------|--|
| | gesommeerd | |
|--|------------|--|

8.8 Uitgevoerde kaarten

Dezelfde kolomnamen en eenheden worden ook gehanteerd bij de weggeschreven kaarten. Deze zijn te vinden in de directory maps\, en te openen met behulp van iMOD. Met het meegeleverde programma *createasc.exe* (te vinden in de bin\ directory) zijn de .idf kaarten eventueel ook om te zetten in door ArcInfo in te lezen .asc kaarten.

8.9 Toegepaste coderingen

De maatregelcombinatie code komt zowel terug in de bestanden, als in de mappen van de rekenresultaten. De codes staan voor:

| MC | Omschrijving | Bestaat uit maatregelen |
|----|--|--|
| 1 | ASR zoet met druppelirrigatie | ASR zoet; Druppelirrigatie oppervlakte |
| 2 | Freshmaker met druppelirrigatie | Druppelirrigatie oppervlakte; Freshmaker |
| 3 | ASR zoet met reguliere beregening | ASR zoet; Reguliere beregening grondwater |
| 4 | Freshmaker met reguliere beregening | Freshmaker; Reguliere beregening oppervlaktewater |
| 5 | ASR zout met druppelirrigatie | Druppelirrigatie oppervlakte; ASR zout |
| 6 | ASR zout met reguliere beregening | ASR zout; Reguliere beregening oppervlaktewater |
| 7 | Kreekruginfiltratie met reguliere beregening | Kreekruginfiltratie; Reguliere beregening oppervlaktewater |
| 8 | Kreekruginfiltratie met druppelirrigatie | Druppelirrigatie oppervlakte; Kreekruginfiltratie |
| 10 | Traditioneel drainagesysteem | Conventionele drainage |
| 11 | Regelbare drainage - nieuw aangelegd | Regelbare drainage nieuw |
| 12 | Regelbare drainage waar al drainage aanwezig | Regelbare drainage bestaand |
| 13 | Regelbare drainage subinfiltratie nieuw | Regelbare drainage subinfiltratie nieuw |
| 14 | Regelbare drainage met subinfiltratie bij bestaande drainage | Regelbare drainage subinfiltratie bestaand |
| 15 | Reguliere beregening grondwater | Reguliere beregening grondwater |
| 16 | Reguliere beregening oppervlaktewater | Reguliere beregening oppervlaktewater |
| 17 | Drains2buffer nieuw aangelegd | Drains2buffer - nieuw |
| 18 | Drains2buffer bij bestaande drainage | Drains2buffer - bestaand |
| 19 | Systeemgerichte drainage nieuw aangelegd | Spaarwater systeemgerichte drainage nieuw |
| 20 | Systeemgerichte drainage bij bestaande drainage | Spaarwater systeemgerichte drainage bestaand |

| | | |
|----|---|--|
| 21 | Spaarwater lokale opslag van perceelseigen water gecombineerd met subinfiltratie nieuw | Spaarwater subirrigatie - nieuw |
| 22 | Spaarwater lokale opslag van perceelseigen water gecombineerd met subinfiltratie bij bestaande drainage | Spaarwater subirrigatie - bestaand |
| 23 | Druppelirrigatie aan de oppervlakte | Druppelirrigatie oppervlakte |
| 24 | Druppelirrigatie onder de ploegzool aangebracht | Druppelirrigatie onder ploegniveau |
| 25 | Regelbare drainage nieuw, met reguliere beregening voor resterend tekort | Regelbare drainage nieuw; Reguliere beregening grondwater |
| 26 | Regelbare drainage bestaand, met reguliere beregening voor resterend tekort | Regelbare drainage bestaand; Reguliere beregening grondwater |
| 27 | Regelbare drainage nieuw, met druppelirrigatie oppervlakte voor resterend tekort | Druppelirrigatie oppervlakte; Regelbare drainage nieuw |
| 28 | Regelbare drainage bestaand, met druppelirrigatie oppervlakte voor resterend tekort | Druppelirrigatie oppervlakte; Regelbare drainage bestaand |

De codering van de bedrijfstypen verschilt per gebied. In de pilots Raam en Anna Paulowna-Oostpolder zijn de volgende bedrijfstypen onderscheiden:

De Raam:

| Bedrijfstype | Omschrijving |
|--------------|-------------------------------|
| 1 | Bedrijven met voer |
| 2 | Akkerbouw |
| 3 | Bedrijven met overige teelten |
| 4 | Boomteeltbedrijven |
| 5 | Fruitbedrijven |
| 6 | Bollenbedrijven |
| 7 | Voer akkerbouwbedrijven |
| 8 | Overig |

Anna Paulowna – Oostpolder:

| Bedrijfstype | Omschrijving |
|--------------|-------------------------------|
| 1 | Bedrijven met voer |
| 2 | Akkerbouw |
| 3 | Bedrijven met overige teelten |

| | |
|---|-----------------|
| 4 | Bollenbedrijven |
| 5 | Overig |

9 Bijlage B: Factsheets Zoetwatermaatregelen

9.1 Inleiding

In deze bijlage vindt u factsheets met informatie over de maatregelen die zijn opgenomen in de Regioscan Zoetwatermaatregelen (maatregelen database). De informatie is deels opgenomen in de Rekenmodule voor Regionale Kosten-baten en Effectberekeningen, c.q. het rekenhart van de Regioscan Zoetwatermaatregelen. Tabel 9.1 geeft een overzicht wat er in elke factsheet beschreven wordt. De vetgedrukte factoren zijn opgenomen in de rekenmodule. In de factsheets wordt daarnaast omschreven hoe (en of) er met elke factor wordt omgegaan. Enkele opmerkingen:

- Als de genoemde kosten uit een rapport komen van minder dan 5 jaar oud worden ze niet naar het huidige prijspeil omgerekend – door de grote onzekerheidsmarge van de kosten is dit verschil naar verwachting niet onderscheidend;
- Overige baten worden alleen in het model opgenomen als ze gemonetariseerd zijn (in geld uit te drukken);
- Neveneffecten worden alleen in het model opgenomen als ze van structurele aard zijn. Tijdelijke effecten zijn niet in de Regioscan Zoetwatermaatregelen opgenomen;
- Maatregelcombinaties kunnen in de Regioscan Zoetwatermaatregelen alleen bestaan uit maatregelen met een verschillend type werkingsmechanisme (opslag, bron, toediening, etc), zodat ze elkaar aanvullen en niet dezelfde functie hebben.

Tabel 9.1 Overzicht in factsheets opgenomen maatregelkenmerken. De vetgedrukte kenmerken zijn opgenomen in de Regioscan Zoetwatermaatregelen.

| Item | Omschrijving |
|-------------------------|---|
| Omschrijving | Omschrijving van de maatregel |
| Bron ingezet water | Grondwater, regenwater, effluent, oppervlaktewater, overschot oppervlaktewater. Bij oppervlaktewater wordt dit onderscheid gemaakt om te voorkomen dat maatregelen die alleen in tijden van overschot water opnemen in het model drukken op de zoetwater beschikbaarheid. |
| Innovatie stadium | <ul style="list-style-type: none"> • Idee: uitwerking idee; • Haalbaarheidsstudie: toepassingsgebied, mogelijke partners/ klanten; • Ontwikkeling techniek: eindigt met uitvoering pilots; • Ontwikkeling product: verkoopbaar maken product/ toepassing; • Gereed voor toepassing in markt: marktintroductie; • Algemeen ingezet instrument/ activiteit. |
| Type werkingsmechanisme | Gaat het om een opslag-, toediening, of opslag-en-toedieningsmaatregel? <ul style="list-style-type: none"> • Opslag: maatregelen die zoetwateroverschotten tijdelijk opslaan; • Toediening: maatregelen die efficiënter water aan het gewas beschikbaar maken; • Opslag en toediening: een combinatie van opslag in de ondiepe ondergrond en toediening via capillaire opstijging (bijvoorbeeld peilgestuurde drainage). |
| Fysieke geschiktheid | Belangrijke elementen in fysieke geschiktheid maatregel. In de Regioscan wordt verwezen naar grids van de fysieke geschiktheid (FWOO). |
| Onderdeel van een | Moet of kan de maatregel in combinatie met een ander (type) maatregel |

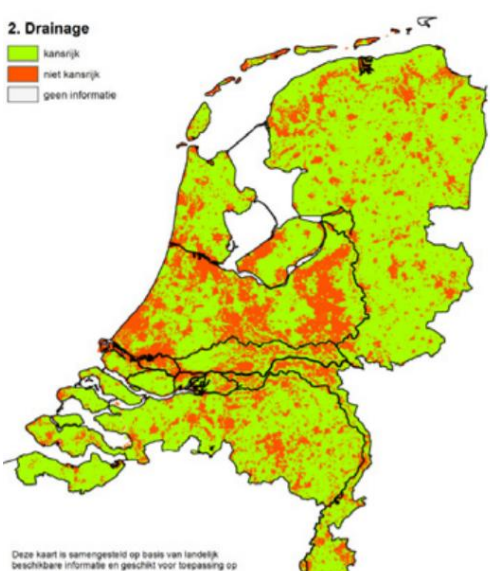
| | |
|-----------------------|--|
| maatregelcombinatie? | worden uitgevoerd? In de Regioscan worden de mogelijke combinaties vooraf ingevoerd. |
| Effecttype | De eenheden waarin het effect van de maatregel wordt uitgedrukt zijn: <ul style="list-style-type: none"> • <i>mm water extra beschikbaar voor gewas% vermindering verdampingsreductie</i> <i>% Efficiëntie toediening: Hoeveel van het water dat wordt onttrokken komt ten goede aan de groei van de plant.</i> |
| Effect | Directe waarde zoals bekend uit ervaring met de maatregel, of verwijzing naar opzoektabel effect per bodemsoort, grondwaterkarakteristiek etc. |
| Dimensioneringstype | Grondslag waarop de maatregel wordt gedimensioneerd: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Benodigde hoeveelheid mm</i> • <i>Areaal (ha)</i> |
| Vaste kosten | Vaste kosten € per ha of met m ³ water. Of een verwijzing naar een opzoektabel als deze kosten sterk samenhangen met de lokale omstandigheden. |
| Lopende kosten | Beheer- en onderhoudskosten (€ per jaar per ha). Of een verwijzing naar een opzoektabel als deze kosten sterk samenhangen met de lokale omstandigheden. |
| Lopende overige baten | Lopende in €/jaar uit te drukken overige baten voor het modelbedrijf. Dit zijn baten van een maatregel die niet gerelateerd zijn aan een vermindering van de opbrengstderiving. |
| Levensduur | Gemiddelde technische levensduur van de maatregel. |
| Neveneffecten | Beschrijving van neveneffecten van de maatregel voor de regio of voor de waterbeheerder (dus niet voor het bedrijf). |
| Juridisch kader | Is deze maatregel (mogelijk) gebonden aan vergunnings- of andere juridische voorwaarden? |

9.2 Reguliere beregeningsinstallatie (referentiemaatregel)

| |
|---|
| Omschrijving |
| Dit is de traditionele beregening die al veelvuldig door de landbouw wordt ingezet. In de zomermaanden ontstaat er dan al snel een vochttekort voor de geteelde gewassen. Beregening vindt voornamelijk plaats bij de hoogst salderende gewassen en de meest droogtegevoelige gewassen zoals aardappelen, groente, bieten en fruit. Het meest voorkomende beregeningssysteem is een haspelinstallatie met dieselpomp of elektrische pomp. Het water is afkomstig uit grondwater of oppervlaktewater, of uit een beschikbaar gemaakte voorraad water (opslagmaatregel). |
| Status innovatie |
| Algemeen ingezet |
| Type werkingsmechanisme |
| Toediening |
| Waterbron |
| Oppervlaktewater, grondwater, opgeslagen water <u>Model:</u> oppervlaktewater / grondwater, afhankelijk van locatie. In maatregelcombinatie is de bron de opslagmaatregel, of grond- of oppervlaktewater. |
| Maatregelcombinatie |
| Reguliere beregening kan worden gecombineerd met alle opslag maatregelen, en bovendien met een opslag- en toedieningsmaatregel om het overgebleven tekort op te heffen. <u>Model:</u> in combinatie met opslagmaatregel, opslag&toediening, of stand-alone |
| Effecttype |
| Efficiëntie toediening: het gedeelte van het water dat aan de bron onttrokken water ook daadwerkelijk ten goede komt aan vermindering van de verdampingsreductie van het gewas. <u>Model:</u> efficiëntie toediening |
| Effect |
| 25% van de totale beregeningsgift komt ten goede aan de verdampingsreductie . Dit effect is bepaald op basis van berekeningen met LHM 3.3.0. |
| Dimensioneringstype |
| Ha |
| Vaste kosten/ initiële investering |
| Schipper et al (2014): <ul style="list-style-type: none"> - Bij een gebied van 608 ha: 2.687.669€: 4420 €/ha - Bij 2324 ha 5.624.000, - €: 2419 €/ha Agricom: 960 €/ha (bij grondwater)- 1130 €/ha (bij oppervlaktewater) De kosten genoemd in Schipper et al. (2014) zijn niet op basis van een daadwerkelijk uitgevoerde pilot, maar een hypothetische. <u>Model:</u> Er is gekozen de Agricom kosten te gebruiken De maatregel wordt gesplitst in model: <ul style="list-style-type: none"> - Beregening met grondwater 960 €/ha; - Beregening met oppervlaktewater 1130 €/ha. |

| |
|---|
| <p>AGRICOM berekent beregeningskosten op basis van daadwerkelijke inzet in een jaar. Kosten variëren daarom per jaar, bovenstaande zijn richtgetallen.</p> |
| <p>Lopende kosten (exploitatie, exclusief afschijving)</p> |
| <p>Schipper et al (2014):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bij 608 ha 64855 €/jaar : 106 €/ha - Bij 2324 ha: 61 €/ha <p>Agricom:</p> <ul style="list-style-type: none"> • onderhoud en verzekering: 2,5% investering • 0,25 € arbeid (mm/ha) • 25 mm (per beregeningsgift) • 0,78 € energiekosten (mm/ha) <p><u>Model:</u> Gebruik Agricom kosten. <i>Berekening met oppervlaktewater:</i> $(0.25 + 0.78) * 25 \text{ mm/ha} + 0,025 * (1130) = 53 \text{ €/ha}$ <i>Berekening met grondwater:</i> $(0.25 + 0.78) * 25 \text{ mm/ha} + 0,025 * (960) = 50 \text{ €/ha}$</p> <p>AGRICOM berekent beregeningskosten op basis van daadwerkelijke inzet in een jaar. Kosten variëren daarom per jaar, bovenstaande zijn richtgetallen.</p> |
| <p>Overige baten</p> |
| <p>Voorkomen schade van nachtvorst (m.n. bloesem fruitbomen)</p> <p>Opmerking: water dat wordt ingezet voor berekening kan ook worden ingezet voor andere functies.</p> <p><u>Model:</u> geen overige baten opgenomen</p> |
| <p>Neveneffecten</p> |
| <p>Verneveling kan leiden tot verspreiding van bacteriën die schadelijk zijn voor gewassen. (Zie ook voordelen bij factsheet druppelirrigatie)</p> <p><u>Model:</u> geen neveneffecten opgenomen</p> |
| <p>Levensduur</p> |
| <p>10 jaar (bij sproeikanon/beregeningsboom; Hoenderken, 2007)</p> |
| <p>Juridisch kader</p> |
| <p>Tijdens perioden van droogte kan het worden verboden door waterschappen om grond- of oppervlaktewater te gebruiken. In sommige gebieden mag i.v.m bruinrot niet uit het oppervlaktewater worden beregend.</p> |
| <p>Bronnen</p> |
| <p>Hoenderken, 2007; Schipper, et al., 2014; www.innovatieveenkolonien.nl</p> |

9.3 Regelbare drainage

| |
|---|
| Omschrijving |
| Een drainagesysteem waarmee de grondwaterstand in een perceel binnen een bepaald bereik kan worden ingesteld op een gewenst niveau – dus ook boven de drainagebuis. Hiermee kan worden geanticipeerd op droogte door de ontwateringsbasis te verhogen en daarmee perceelseigen water vast te houden: de maatregel vermindert de noodzaak voor beregening in het groeiseizoen. Daarnaast kan het systeem worden ingezet om water van elders ondergronds naar de wortelzone te brengen en hogere grondwaterstand te realiseren (9.13: Subinfiltratie). Als de drainage traploos en op afstand kan worden ingesteld met snelle anticipatie op weersverandering, wordt dit klimaat adaptieve drainage (KAD) genoemd (niet apart opgenomen in de Regioscan). |
| Status maatregel/ innovatie |
| Ontwikkeling techniek: er zijn een aantal proeven geweest Toegepast in praktijk: de maatregel is verplicht gesteld door WS Peel en Maasvallei. |
| Mechanisme |
| Opslag en toediening |
| Waterbron |
| Perceelseigen water, voor zover niet extra wordt geïnfiltrerd. |
| Model: Neerslag |
| Factoren geschiktheid |
| <ul style="list-style-type: none"> - Doorlatendheid van de bodem op diepte van drains <p><i>Negatieve invloed op effectiviteit:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Keileem in ondiepe bodemprofiel boven/rondom de drains (maar positief effect als keileemlaagje zich onder drains bevindt, bijv. 1.5 m onder maaiveld) - IJzer in bodemprofiel of in kwelwater - Wegzijing grondwater naar regionale grondwatersysteem - Drooglegging van het perceel: hoe dieper hoe minder effectief |
| <p>2. Drainage</p> <p> ■ kansrijk ■ niet kansrijk geen informatie </p>  <p><small>Deze kaart is samengesteld op basis van lokaal beschikbare informatie en geschikt voor toepassing op regionaal schaalniveau.</small></p> |
| <i>Geschiktheidskaart voor (regelbare) drainage. Bron: (Jeuken et al., 2015)</i> |
| Onderdeel van een maatregelcombinatie? |
| Kan individueel, in sommige gebieden zoals zuidwestelijke Delta samen met drains2buffer en samen met Waterconservering door stuwen: de facto regelen de stuwen dan het peil in de drains. Als effluent kan worden gebruikt om op te infiltreren kan de maatregel ook samen met Spaarwater en |

| |
|--|
| Zelfvoorzienende zoetwaterberging worden ingezet. In Hoog-Nederland is een combinatie met hogere slootpeilen wenselijk om waterberging te vergroten – zonder extra aanvoer kan sterk uitzakken van grondwater niet (volledig) voorkomen worden. In de Regioscan zijn deze combinaties opgenomen als de aparte maatregelen 'regelbare drainage met subinfiltratie, en Spaarwater systeemgerichte drainage en Spaarwater lokale opslag met subinfiltratie' |
| <u>Model:</u> Optioneel met berekening/ drip |
| Effecttype |
| Vermeden verdampingsreductie |
| <u>Model:</u> % vermeden verdampingsreductie |
| Effect |
| <u>Model:</u> reprofunctie op basis van SWAP berekeningen, zie bijlage C. |
| Dimensioneringstype |
| ha |
| Levensduur |
| 15-20 jaar (Tolk, 2013) |
| <u>Model:</u> 17.5 jaar |
| Vaste kosten/ initiële investering |
| (Jeuken et al., 2015): <ul style="list-style-type: none"> - Ombouwen van conventionele naar regelbare drainage met verzameldrain kost 600-1250€/ha. - Aanleggen van geheel nieuw systeem: 1000 – 2500 €/ha Deltafact Regelbare drainage: <ul style="list-style-type: none"> - Kosten geheel systeem 2400 €/ha, inc BTW - Kosten conventionele drainage: 1250 €/ha, inc BTW Bij proef van 40 ha (Jeuken et al., 2015): 2000 €/ha investeringskosten |
| <u>Model:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Ombouwen conventioneel > regelbare drainage: 925 e/ha • Aanleg nieuw systeem: 2000 €/ha • Conventionele drainage: 1000 €/ha |
| Lopende kosten |
| Agrariër is verantwoordelijk voor lopende kosten – o.a. actief aanpassen peil op basis van weersomstandigheden of verwachtingen, aanleg en onderhoud van het systeem. Het systeem is relatief onderhoudsintensief. |
| Beheer en Onderhoud: 10% aanlegkosten, 130 €/ha. |
| <u>Model:</u> 130 €/ha |
| Overige baten |
| Geen overige baten |

Neveneffecten

- Bij bepaald ontwerp van regelbare drainage kan het worden ingezet als waterbuffer (klimaatadaptief) waarmee kan worden ingespeeld op weersvoorspellingen. Maximum buffercapaciteit wordt bepaald door maximaal toelaatbare grondwaterstand afhankelijk van bodemsoort en gewastype. Dit is met name voor de waterbeheerder een aantrekkelijke baat
- Drainage beïnvloedt de drainageweerstand en de ontwatering van het bovenste grondwater: dit leidt tot een herverdeling van ondiep grondwater. De drainage kan worden uitgeschakeld door drainagebasis gelijk te stellen aan maaiveldhoogte. Als de drainage werkt zijn er altijd uitstralingseffecten naar de omgeving – hoe groot dit effect is wordt beïnvloed door hydrologische eigenschappen van het gedraineerd profiel en regionale stromingscomponenten (p67 KvK (2014)).

Generieke neveneffecten bij andere inrichting van waterafvoer (Jeuken et al., 2015; Stuyt et al., 2012)

- Tegengaan nutriënten (N) uitspoeling: nutriëntenbelasting oppervlaktewater
- Andere inrichting van de waterafvoer biedt een kans tot het tegengaan van nutriënten uitspoeling. Veldproeven geven echter nog geen eenduidige beeld.
- Nutriënten worden beter benut omdat gewassen beter groeien.
 - Grotere kans op denitrificatie waardoor afname belasting oppervlaktewater
 - Wanneer de grondwaterstand onder de fosfaatverzadigde laag blijft is er grotere kans op reductie van fosfaatuitspoeling.

- *Reductie bodemdaling veengebied*

Door peilopzet kan de bodemdaling door veenoxidatie worden tegengegaan, indien de installatie zo wordt ingericht dat drainbuizen voor infiltratie kunnen worden gebruikt – hiermee wordt uitzakken van grondwaterstand in het midden van het perceel gereduceerd. Er zijn nog geen metingen naar dit effect verricht.

- *Ruimtecreatie landbouw*

Door het drainagesysteem met behulp van een verzamelleiding toe te passen kunnen kavelsloten worden gedempt.

- *Voor natte natuur*: het peil in de omgeving kan nog gericht worden opgezet met een trapsgewijs drainageniveau – in het voorjaar blijft er echter een belangenclash tussen natuur (hoge waterstand) en landbouw (lage waterstand). Vanwege het tweezijdige effect wordt geen neveneffect opgenomen.

- *Vergroting draagkracht bodem*

- *Bergingscapaciteit*

Door doelbewust de grondwaterstand te verlagen als een piekbui wordt verwacht, wordt wateroverlast tegengaan door de afvoerpiek te verkleinen. Dit werkt met name bij droge omstandigheden, maar niet bij natte omstandigheden (blijkt uit observaties in de VS).

Bovenstaande effecten gelden met name bij het ombouwen van een bestaand systeem naar regelbare drainage. Als een nieuw systeem wordt aangelegd, waar voorheen geen drainage aanwezig was, zijn effecten voor natuur negatief; effecten voor bodemdaling negatief en impact op nutriëntenbalans negatief.

Model (o.b.v. (Stuyt et al., 2012):

In plaats van conventioneel drainagesysteem:

- Waterkwaliteit ++
- Nutrientenbelasting oppervlaktewater ++
 - Reductie afspoeling P ++
 - Reductie afspoeling N +
- Reductie bodemdaling veengebied ++
- Nutrientenbalans bodem (reductie uitspoeling N en P)
 - Reductie afspoeling P ++
 - Reductie uitspoeling N ++
- Reductie afvoerpieken oppervlaktewater ++

Nieuw aangelegd:

Idem, maar verdroging: --

Juridisch kader

Bij waterschap Peel en Maas is de maatregel reeds verplicht gesteld in de keur bij aanleg van nieuwe drainage.

Bronnen

Jeuken et al., 2015; KvK, 2014, Stuyt et al., 2012

9.5 Drains2buffer

| |
|---|
| Omschrijving |
| Door diepe peilgestuurde drainage toe te passen op het zoute grondwater worden dunne zoetwaterlenzen (tot enkele meters dik) die drijven op zout grondwater behouden of vergroot vanuit het neerslagoverschot. Het zoute grondwater wordt afgevoerd naar de sloten en door natuurlijke aanvulling groeit zo de zoetwaterbel - via capillaire opstijging bereikt het zoete water de wortels. Hoofddoel is verzilting te bestrijden. Met name in zoute kwelgebieden (Zuidwestelijke Delta en Noordelijk Kustgebied) zijn de lenzen zo dun dat het zout in sommige gevallen de wortels kan bereiken via capillaire opstijging. De drainage wordt op het perceel toegepast, maakt gebruik van perceelseigen water en heeft daarmee direct effect op het bewuste perceel. Drains2buffer is in eerste instantie bedoeld voor schadebestrijding en niet voor voorraadvorming. In principe wordt uitgegaan van een zo diep mogelijke aanleg van de drainage –aanwezigheid van ongerijpte klei kan een kritische grens vormen aan de mogelijke diepte. |
| Status innovatie |
| Pilot/onderzoeksfase – ontwikkeling techniek |
| Type werkingsmechanisme |
| Opslag en toediening |
| Waterbron |
| Neerslag |
| Fysieke geschiktheid |
| <ul style="list-style-type: none">- Diepte brak-zout grensvlak < 5 m beneden maaiveld.- Optreden van kwel- Geschikt voor diepere regelbare drainage |
| <p>1. Drains2buffer</p> <p>Drains2buffer</p> <p>Deze kaart is samengesteld op basis van landelijk beschikbare informatie en geschikt voor toepassing op regionaal schaalniveau.</p> |
| Bron: (Jeuken et al., 2015) |
| Onderdeel van een maatregelcombinatie? |
| Het ligt voor de hand te combineren met <i>regelbare drainage</i> : daarmee kan waterconservering of subinfiltratie worden gecombineerd met vergroten zoetwaterlens. Deze combinatie is niet |

| |
|--|
| <p>geïmplementeerd in de Regioscan Zoetwatermaatregelen. De maatregel systeemgerichte drainage kan worden beschouwd als een combinatie van drains2buffer met regelbare drainage.</p> <p>Negatieve combinatie/ tegenwerkend effect: waterconservering met stuwen of slootbodempverhoging – de drainagebasis wordt hiermee hoger (terwijl een lagere basis nodig is).</p> <p><u>Model:</u> geen combinatie</p> |
| Effecttype |
| <p>De maatregel is in eerste instantie gericht op zoutschade en niet om droogteschade mee te voorkomen.</p> <p><u>Model:</u> Droogte: geen effect Zout: 100 % reductie schade</p> |
| Effect |
| <p>Geen zoutschade meer Na 4-5 jaar 40 cm verdikte stabiele zoetwaterlens – 40 cm verlaging drainage.</p> <p><i>Lokale verschillen</i> Bij een bodem met slechte doorlatendheid (o.a. bij test zandige ongerijpte klei) zijn diepe drains niet voldoende om het neerslagoverschot voldoende af te voeren. Traditionele drains blijven dan nodig.</p> <p><u>Model:</u> droogteschade: geen effect bij bestaande drains, anders conventionele drainage zoutschade: 100% afname</p> |
| Dimensioneringstype |
| <u>Model:</u> ha |
| Vaste kosten/ initiële investering |
| <p>Investeringskosten (op basis van pilot; KvK (2014): 100000 bij 40 ha: 2500 €/ha</p> <p>Investeringskosten (drains2buffer: gofresh_rekensheet) – kosten: aanleg peilgestuurde drainage inclusief regelputten 3000 €/ha</p> <p><u>Model:</u> 2500 €/ha</p> |
| Lopende kosten |
| <p>Ex afschrijving 0-5 €/ha jaar (onderhoudsarm) (KvK2014)</p> <p><u>Model:</u> 2.5 €/ha</p> |
| Levensduur |
| 15 jaar (Oude Essink et al., 2014) |
| Overige baten |
| <p>Met drains2buffer ontstaat de mogelijkheid over te stappen op een minder zouttolerant gewas of ras als dat rendabeler is.</p> <p><u>Model:</u> Geen overige baten opgenomen</p> |
| Neveneffecten |
| <ul style="list-style-type: none"> - <u>Verhoging zoutlast oppervlaktewater korte termijn</u> Op korte termijn stijgt de zoutlast op het oppervlaktewater nabij het betreffende perceel na enkele jaren is de mix weer in evenwicht op het oude niveau. Dit is in de pilot gemeten. - <u>Optimalisatie waterhuishouding (+)</u> |

Met de regelbare drainage kan worden gestuurd om een optimale waterhuishouding te bereiken. Zo kan bijvoorbeeld wateroverlast verminderd worden en in het voorjaar beregening worden uitgesteld door het peil op te zetten.

Model: Piekaafvoer +


Juridisch kader

Voor de drainage van (zout) grondwater is toestemming nodig van het waterschap. Of er een vergunning nodig is voor de activiteiten rondom de aanleg van het systeem is locatie-afhankelijk. Over het algemeen worden er geen problemen rondom vergunningverlening verwacht.

Bronnen

Jeuken et al., 2015; KvK, 2014; Oude Essink et al., 2014; Tolk, 2013

9.7 Kreekrug-infiltratie

| |
|--|
| Omschrijving |
| Zoetwaterbellen die van nature in kreekruggen aanwezig zijn worden vergroot door actief slootwater via drains te infiltreren in de kreekruggen zodat het zoet-zout grensvlak wordt verlaagd. Volgens het BGH-principe (Badon Gyben – Herzberg) zal de dikte van de zoetwaterlens bij verhoging van de grondwaterstand toenemen. In de zomer wordt de zoetwaterlens gebruikt voor irrigatie. |
| Status maatregel/ innovatie |
| Technische haalbaarheid: er is één proef gedaan (in Walcheren) |
| Type werkingsmechanisme |
| Opslag en toediening |
| Bron water |
| Overschot oppervlaktewater |
| Fysieke geschiktheid |
| <p>Belangrijke factoren t.a.v. fysieke geschiktheid voor toepassing van de maatregel:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aanwezigheid zandige hoger gelegen kreekrug/ oude geul; - Ligging in een zout gebied/ gebied waar zoute kwel een probleem vormt (grensvlak tussen 5 en 25 m) niet bepalend, toepassingen buiten zoute gebieden ook mogelijk; - Optreden van infiltratie (wijst op aanwezigheid zandrug die hoger ligt dan omgeving, essentieel voor groei lens) (maaiveld > 0 m NAP); - Bodemgeschiktheid voor infiltratie via drainagebuizen (zelfde eisen als regelbare drainage) (<35% lutum, deeltjes < 2 µm); - Voldoende diepe grondwaterstand (onverzadigde zone ≥ 0.85 m in de winter) - Afwezigheid klei en veenlagen die lensgroei belemmeren in de 1^e 20 m |
| <p>3. Kreekruginfiltratie</p>  <p>Deze kaart is samengesteld op basis van landelijk beschikbare informatie en geschikt voor toepassing op regionaal schaalniveau.</p> |
| bron: (KvK, 2014) |
| Onderdeel van een maatregelcombinatie? |
| In de winter kan extra grondwateraanvulling worden gestuurd via regelbare drainage. In de winter wordt daarnaast uit lagere locaties oppervlaktewater opgepompt en geïnfiltreerd. In de zomer wordt onttrokken uit zoetwaterlens en toegediend via beregeningsinstallatie. Regelbare drainage is altijd aanwezig bij de maatregel, beregeningsinstallatie is een optie. |
| Model: |
| <ul style="list-style-type: none"> - Kreekruginfiltratie – reguliere beregening - Kreekruginfiltratie – druppelirrigatie |

| |
|---|
| Dimensioneringstype |
| Randvoorwaarde: beschikbaarheid van zoet water voor infiltratie. Grondwaterstand zal neemt toe om zoetwaterlens in evenwicht te houden met omringende zoute grondwater. |
| <u>Model:</u> m3 |
| Effecttype |
| Opslag maatregel |
| Effect |
| <p>Δ Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand + 50 cm Δ Gemiddelde zomergrondwaterstand neutraal (+/-) (afhankelijk van onttrekkingsgehalte uit lens) Δ Gemiddelde Wintergrondwaterstand ' hoger' Δ grondwaterafvoer: kleiner</p> <p><i>Formule</i> Zoet water beschikbaarheid = Δ Zoetwaterlens = f (hoeveelheid water geïnfilteerd, bodemopbouw, lekweerstand, zoutgehalte grondwater, Δ GVG)</p> <p><u>Model</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Dimensionering op 1/10 droogte. Regelbare drainage vooralsnog niet meegenomen - Effect zout: zoutschade 0 |
| Levensduur |
| 15 jaar (Oude Essink et al., 2014) |
| Vaste kosten/ initiële investering |
| <ul style="list-style-type: none"> • 13,524 miljoen € (aanleg regelbare drainage, pompen, beregeningsinstallatie) voor een gebied van 2324 ha. > €5819 per ha. (p52 Schipper et al. 2014) • 80000 bij 40 ha (incl. Regelbare drainage, met pomp= 2000 €/ha (p 50 KvK 2014) • Infiltratieproef 12 ha (aanleg peilgestuurde drainage en pomp ,elektravoorziening) (gofresh rekensheet) = 3630 €/ha <p>N.B. Aanwezigheid contactpunt voor elektriciteit voor de pomp kan veel schelen in investeringskosten. De studie van Schipper et al. had tot doel het macro-economisch effect van de maatregel te illustreren, maar is daardoor niet direct realistisch op kleinere schaal. Daarom worden de getallen van de KvK studie als richting genomen</p> <p>Kosten per m³: uitgaande van de opslagkant van de maatregelen: 100 mm over 40 ha (40.000 m³), bij 80.000 € investeringskosten en 2700 B& O (op basis van (Hoogvliet et al., 2014)) .</p> <p><u>Model:</u> 2.07 €/m³</p> |
| Lopende kosten |
| <p>[jaarlijkse kosten: KvK (2014)]</p> <ul style="list-style-type: none"> • Exclusief afschrijving: 2200 -3100 €. Uitgaande van het gemiddelde (2700 €) komt dat neer op 0,0675 € per m³/jaar <p><u>Model:</u> 0,0675 € per m³/jaar</p> |
| Overige baten |

| |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Meer opbrengst door duurder gewas (scenario + waar wordt overgeschakeld op hoogwaardiger gewas) |
| <p>Model: geen overige baten</p> |
| <p>Neveneffecten</p> |
| <p>Negatief:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toename grondwaterstand in het perceel met kreegruginfiltratie met uitstraling naar omliggende percelen. Hoeveel hangt af van doorlatendheid van de bodem en ontwatering in de omgeving van het perceel – gedraineerde percelen zullen er weinig van merken. • Door zoet oppervlaktewater actief te infiltreren vermindert de zoetwaterbeschikbaarheid benedenstrooms • Toename zoutgehalte benedenstrooms • Risico/ limiterende factor: kans op natschade in midden van het gebied. |
| <p>Model:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Waterkwaliteit - - Piekafvoer - |
| <p>Juridisch kader</p> |
| <p>Indien oppervlaktewater wordt gebruikt voor infiltratie geldt het infiltratiebesluit.</p> <p>Impact op oppervlaktewatersysteem (aanvoer zoet water, vergrootte zoutvracht, kwelwater) moet nader beoordeeld worden of dit al dan niet acceptabel is.</p> <p>In gebieden met een zoetwaterbel dikker dan 15 meter mag 80 mm per jaar onttrokken worden – voor landbouw hoeft hier (WS Scheldestromen) geen vergunning te worden aangevraagd als:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Per uur tussen 10-60 m³ onttrokken • Max 3000 m³/ kwartaal • Max 8000 m³/ jaar |
| <p>Bronnen</p> |
| <p>Jeuken et al., 2015; KvK, 2014; Schipper et al., 2014</p> |

9.8 Freshmaker

| |
|--|
| Omschrijving |
| <p>Met de Freshmaker (een vorm van ASR) wordt, net als bij Kreekruginfiltratie, een zoetwaterlens vergroot om zodoende een groot volume zoetwater op te slaan. Hierbij wordt zoetwater in tijden van wateroverschot met ondiepe (ca. 7 m) horizontale putten in de zoetwaterlens gebracht. Het ingebrachte zoetwater kan met dezelfde putten bij watervraag weer worden onttrokken. Diepere horizontale putten (max. 17 m) onttrekken onder de zoetwaterlens brak / zout grondwater om snelle groei van de lens te faciliteren en opdrijving in c.q. verdringing door brak / zout grondwater te voorkomen.</p> <p>Voor de diepere (>7 m) horizontale putten wordt gebruik gemaakt van horizontal directional drilled wells (HDDWs).</p> <p>Zoals bij ASR systemen is een beperkte zuivering voor verwijdering van zwevend stof voorafgaand aan de infiltratie vereist.</p> |
| Status maatregel |
| Technische haalbaarheid: veldproeven uitgevoerd/ in uitvoering. |
| Type werkingsmechanisme |
| Opslag |
| Bron water |
| Overschot oppervlaktewater, hemelwater, gezuiverd effluent |
| Model: overschot oppervlaktewater |
| Fysieke geschiktheid |
| <ul style="list-style-type: none">• Kustgebieden met een zoet-zoutgrensvlak ondieper dan 20 m;• Beschikbaarheid van een zoetwaterbron voor infiltratie;• Beschikbaarheid van een watervoerende laag met $kD > 50 \text{ m}^2/\text{dag}$ en een aaneengesloten dikte van minimaal 9 m Horizontale stroomsnelheid mag niet te hoog zijn ivm afdrijven zoetwaterlens - waar het maximum ligt hangt van hoe lang de ondiepe horizontale put en de duur van de opslagfase;• Beschikbaarheid elektriciteit. <p>4. Freshmaker</p> <ul style="list-style-type: none">■ zeer kansrijk■ kansrijk■ mogelijk kansrijk■ niet kansrijk■ geen informatie  <p><small>Deze kaart is samengesteld op basis van landelijk beschikbare informatie en geschikt voor toepassing op regionaal schaalniveau.</small></p> |

Figure 9.1. Bron:(Hoogvliet et al., 2014)

Onderdeel van een maatregelcombinatie?

Bestaande drainage wordt in principe niet aangepast: water kan worden teruggewonnen en vervolgens toegediend met druppelirrigatie of reguliere beregening.

Model:

Freshmaker – druppelirrigatie

Freshmaker – reguliere beregening

Effecttype

m3 extra beschikbaar zoet water

Effect

Het terugwinrendement van geïnjecteerd water is 100 % (Zuurbier et al., 2016). Er is hierbij echter wel een maximaal volume dat kan worden opgeslagen per m putfilter. Afgaande op modelberekening voor de casus Ovezande is dit ca. 90 m³/m horizontaal filter. Wanneer de ondiepe en diepe put op een maximale verticale afstand geplaatst kunnen worden, dan kan naar verwachting maximaal 150 m³/m filter worden behaald. Het aantal m filter wordt vervolgens bepaald op basis van de benodigde watervraag.

Model:

- Effect droogte: terugwinrendement 100% . Dimensionering 90% droogte.
- Effect zout: geen zoutschade meer

Dimensioneringstype

M3

Vaste kosten/ initiële investering

- Ca 120.000 euro voor volledig systeem met opslag en levering met capaciteit 50.000 m³/j (Fresh Force, 2017)
- 56.000 € (bij perceel van 15 ha): inclusief putten (horizontal directional drilled wells, excl. toedieningssysteem) (p 50 KvK eindrapportage, 2014) > 3.730 €/ha

Model (obv Fresh Force, 2017):

2.4 €/m³

Lopende kosten

(Fresh Force, 2017 - Verkenning naar opschalingsmogelijkheden Freshmakerconcept)

- 5200 euro per jaar bij capaciteit 50.000 m³/j (energie, onderhoud, monitoring, putregeneratie)

(KvK 2014)

- Kostprijs 0,32-0,57 €/m³ (lager dan landbouwleidingwater 0,70 €/m³)
- Jaarlijkse kosten exclusief afschrijving/ ha: 70-480 €/ha

Model (obv Fresh Force, 2017):

0.104 €/ m³

Overige baten

Geen

Levensduur

25 jaar

| |
|---|
| Neveneffecten |
| <ul style="list-style-type: none"> • Gemiddelde afvoer wordt jaarrond zouter door lozing zout grondwater (vooral in zomer); door inname van zoet oppervlaktewater is daarnaast minder zoetwater beschikbaar benedenstrooms . Een scheiding van oppervlaktewatersysteem kan een oplossing zijn. • Kwel kan lokaal toenemen/ freatische grondwaterstand stijgen (door actieve infiltratie): bij onttrekking wordt dit in de zomer verlaagd. Grootte van het effect hangt af van geo-hydrologische setting. |
| <u>Model</u> |
| Gemiddelde verzouting oppervlaktewater: Waterkwaliteit - |
| Juridisch kader |
| Infiltreren in samenhang met onttrekken (zoals bij de Freshmaker) en het lozen van brakwater op het oppervlaktewater is vergunningsplichtig in het kader van de Waterwet. De kwaliteit van het infiltratiewater kan een belemmering vormen, bijvoorbeeld door aanwezigheid van gewasbeschermingsmiddelen. In dat geval dient op basis van de technisch-juridische handreiking ondergrondse waterberging (STOWA2015.035) te worden bepaald of het risico op verontreiniging aanvaardbaar is en/of gepast monitoring/mitigatie noodzakelijk is. Zie www.stowa.nl voor de handreiking. |
| Bronnen |
| Jeuken et al., 2015; KvK, 2014; Oude Essink et al., 2014; Zuurbier et al., 2015; Zuurbier et al., 2016; Fresh Force, 2017 |

9.9 Aquifer-storage & recovery (ASR)

| |
|---|
| Omschrijving |
| <p>ASR behelst het infiltreren van tijdelijke zoetwateroverschotten met een grondwaterput, en onttrekking van het opgeslagen water met dezelfde put in tijden van watervraag. Hiervoor gebruikt men conventionele, verticale putsystemen, zoals deze in de drinkwatersector, landbouw en industrie al lang worden gebruikt voor onttrekking van grondwater. Met ASR wordt de zoetwatervoorziening in kustgebieden verbeterd door zoetwater in tijden van wateroverschot op te slaan in brakke tot zoute aquifers, en dit water in tijden van waterschaarste te benutten. Door de tijdelijke opslag van het zoetwateroverschot wordt het faseverschil tussen perioden met een groot wateraanbod en perioden met een hoge watervraag overbrugd. ASR systemen bestaan, naast putten, uit een beperkte zuivering en een technische installatie. ASR wordt toegepast in afgesloten aquifers. Er wordt in de Regioscan onderscheid gemaakt van toepassing van ASR op zoute en op zoete ondergrond.</p> <p>Verschil ASR met Freshmaker en kreekruuginfiltratie: hierbij worden zoetwaterbellen die van nature in kreekruigen aanwezig zijn vergroot door infiltratie van zoetwater via drains en horizontale putten. Bij ASR wordt in afgesloten aquifers een nieuwe zoetwaterbel gerealiseerd voor latere (gedeeltelijke) terugwinning.</p> |
| Type werkingsmechanisme |
| Opslag |
| Status maatregelen |
| <ul style="list-style-type: none"> ➤ Toepassing in zoet water: dagelijkse praktijk ➤ Toepassing in brakwater (tot 1000 mg/l Cl): dagelijkse praktijk ➤ Toepassing in zout water: pilot, alleen gedeeltelijke terugwinning mogelijk. |
| Waterbron |
| Gezuiverd effluent, overschot oppervlaktewater, regenwater, opgevangen water in drains |
| <u>Model:</u> Neerslag |
| Fysieke geschiktheid |
| <ul style="list-style-type: none"> • Watervoerend pakket van voldoende dikte en doorlatendheid . • Afsluitende kleilagen om verticale verplaatsing tegen te gaan • Lage horizontale stroomsnelheid om afdrijving van de zoet waterbel te voorkomen zodat juist het opgeslagen water kan wordt teruggewonnen, zonder omringend grondwater (doorgaans zouter, en/of ijzerrijk). • Waterbeschikbaarheid op enig moment in het jaar van voldoende kwaliteit (effluent ,regenwater, oppervlaktewater, opgevangen water in drains, reinwater). Het contrast in dichtheid tussen zoet geïnfiltreerd water en zout water in watervoerend pakket beïnvloedt de mate van opdrijving. De afname van het terugwinrendement die dit tot gevolg heeft kan beperkt worden door de configuratie van injectie- en onttrekkingsputten daarop aan te passen. • Efficiëntie wordt beïnvloed door EC achtergrondconcentratie en aanwezigheid van kleilaag • Put op grotere diepte dan bij Freshmaker en kreekruuginfiltratie. • Beperkte reactiviteit ondergrond, bv liever geen pyriet of ijzerhoudende carbonaten. |
| Onderdeel van een maatregelcombinatie? |
| Kan samen met inrichtingsmaatregelen in het gebied zoals stuwen in waterlopen en regelbare drainage (minder water oppervlakkig afvoeren/ langer vasthouden). Voorkomen wateroverlast door bevorderen infiltratie en ontlasten afvoer (Urban Waterbuffer principe) |

| |
|--|
| <u>Model</u> ASR zoet/zout + berekening / drip |
| Effecttype |
| Opslagmaatregel, extra m3 beschikbaar |
| Effect |
| ASR wordt tot op heden vooral toegepast bij hoogwaardige teelten (glastuinbouw). Daarbij is het uitgangspunt dat er altijd voldoende goed irrigatiewater voorhanden moet zijn. Per definitie wordt ASR daarom zo ontworpen dat er voldoende infiltratie plaatsvindt voor latere succesvolle onttrekking en er geen tekorten ontstaan. Dit betekent doorgaans 'overinfiltratie' om het winbare volume groot genoeg te laten zijn. |
| Terugwinefficiëntie = tot 100% (Tolk, 2013) > in Westland < 50%. Hoeveelheden: 10.000-500.000 m ³ ondergrondse berging. |
| <u>Model</u> Droogteschade: gedimensioneerd op 1/10 droogte Zoutschade: reductie 100% |
| Dimensioneringstype |
| m ³ |
| Vaste kosten/ initiële investering |
| [ervaring glastuinbouw: 50.000- 150.000 € afhankelijk van schaalgrootte (onbekend) |
| Bij grondgebonden gewassen: andere bron dan hemelwater. Hierdoor kan zuivering mogelijk zijn. Daarnaast is het nodig een distributiesysteem aan te leggen. |
| Teruggewonnen water in de zomer kost 0,30 – 1,38 €/ m ³ afhankelijk van het volume en het rendement. Dit bedrag is inclusief afschrijving (van de investering) en beheer en onderhoudskosten. Zout water heeft gemiddeld een lagere efficiëntie en hogere kosten – door opdrijving vergt het meer moeite het zoete water te concentreren om het te kunnen terugwinnen. In zoet water is het oppompen van geïnjecteerd water makkelijker en is ASR meer een maatregel om netto onttrekking van grondwater ('mining') tegen te gaan of te beperken. |
| Economisch is vooral relevant hoeveel water er wordt teruggewonnen. Dit kan verschillen op basis van de vraag (kleiner dan de beschikbare volume voor infiltratie) en de winbaarheid op de opslaglocatie (onder invloed van zoetwaterverliezen in zoute pakketten). |
| <u>Model</u> ASR Zoet water: 0,50 €/m ³ ASR Zout water: 1,20 €/m ³ (rekening gehouden met terugwinrendement) |
| Lopende kosten |
| 10.000-30.000 € per jaar afhankelijk van schaalgrootte. |
| <u>Model:</u> ASR Zoet water: 0,03 €/m ³ ASR Zout water: 0,12 €/m ³ |
| Levensduur |
| Verschillende onderdelen in het systeem hebben verschillende levensduur, met onzekerheidsmarge. Levensduur ligt tussen 10 en 25 jaar (Tolk, 2013). |
| <u>Model:</u> 17,5 jaar |

| |
|--|
| Overige baten |
| <ul style="list-style-type: none"> • Water is afgeschermd voor verdamping en vervuiling van andere bronnen en calamiteiten • Grote capaciteit • Verbeterde waterkwaliteit bij hoogwaardige toepassingen (bv lage Na concentraties) • In vergelijking tot bassins: geen ruimtebeslag (grondkosten en extra productie per bespaarde m²) <p>Model: In dit stadium zijn baten nog niet monetair uit te drukken.</p> |
| Neveneffecten |
| <p>Positief</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kan worden ingezet voor piekberging – bijv. combinatie afkoppelen van regenwater samen met infiltratie om wateroverlast te beperken en zoetwatervoorziening te stimuleren. • Kan in kader van circulaire economie worden ingezet om restwater opnieuw in te zetten (schakel in disbalans vraag – aanbod moment). Kwaliteit is hierbij een aandachtspunt • Water in de ondergrond wordt microbieel gezuiverd – zo kan de waterkwaliteit in gebieden waar ziektes (zoals bruinrot) voorkomen verbeteren (zodat beregening weer mogelijk is) <p>Negatief</p> <ul style="list-style-type: none"> • Risico op verontreiniging van grondwater door infiltratiewater van onvoldoende kwaliteit – dit moet goed getest en mogelijk voorgezuiverd worden (met name bij gebruik van effluent, afvalwater, oppervlaktewater). • Tijdens onttrekking van zoet water uit oppervlaktewater voor infiltratie zal mogelijk stroomafwaarts minder zoet oppervlaktewater beschikbaar zijn en kan mogelijk het zoutgehalte toenemen. Dit wordt bij het verlenen van de watervergunning getoetst. <p>Model: Reductie piekafvoer +1 Waterkwaliteit : 0 (zowel positief als negatief effect)</p> |
| Juridisch kader |
| <p>Infiltreren in samenhang met onttrekken (zoals bij ASR) is vergunningsplichtig in het kader van de Waterwet. De kwaliteit van het infiltratiewater kan een belemmering vormen, bijvoorbeeld door aanwezigheid van gewasbeschermingsmiddelen. In dat geval dient op basis van de technisch-juridische handreiking ondergrondse waterberging (STOWA2015.035) te worden bepaald of het risico op verontreiniging aanvaardbaar is en/of gepaste monitoring/mitigatie noodzakelijk is. Deze Handreiking is te vinden op www.stowa.nl. In sommige waterschappen in Zuid-Holland bestaan reeds algemene regels en standaardvoorschriften voor gebruik van ASR in de glastuinbouw.</p> |
| Bronnen |
| <p>(Jeuken et al., 2015; KvK, 2014; Zuurbier et al., 2015)</p> |

9.10 Spaarwater systeemgerichte drainage

| |
|---|
| Omschrijving |
| Systeemgerichte drainage optimaliseert de diepte en afstand van de drainage met behulp van een verzamelput en stuurt het grondwaterniveau om de zoetwaterlens te vergroten. In eerste instantie is het doel de zoetwaterlens te vergroten ter bestrijding van verzilting zonder de drainagefunctie (o.a. om natschade te voorkomen) in gevaar te brengen. In de pilotfase is systeemgerichte drainage op twee typen grond toegepast: bij het pilotgebied op klei met grasland is bestaande drainage omgebouwd; bij het pilotgebied op fijn zand met akkerbouw is nieuwe drainage verdiept aangelegd. Verschil met drains2buffer is het gebruik van een verzamelput om het peil te sturen. Alleen perceelseigen water wordt ingezet. In combinatie met ASR kan geïnfilteerd water uit een zoetwaterbel worden onttrokken en via de verzameldrain weer worden geïnfilteerd. |
| Type werkingsmechanisme |
| Opslag en toediening |
| Status maatregel |
| Technische haalbaarheid: pilots |
| Waterbron |
| Neerslag |
| Fysieke geschiktheid |
| De maatregel is nu met name toegepast in de Waddenregio. Bepalende factoren voor de inrichting van de systeemgerichte drainage: <ul style="list-style-type: none"> - Aanwezigheid drainage; - Dikte aanwezige zoutlast; - Afstand van de drainage (positief verband met dikte zoetwaterlens) . |
| Onderdeel van een maatregelcombinatie? |
| De maatregel is bij de pilots samen met ondergrondse opslag en druppelirrigatie toegediend. <u>Model</u> : geen combinatie. |
| Effecttype |
| Hoofddoel van de maatregel is verziltingsreductie. <u>Model</u> : % verdampingsreductie % reductie zoutschade |
| Effect |
| Δ Dikte zoetwaterlenzen [kleiperceel]: 3-3.5 m Δ Dikte zoetwaterlenzen bij verdiepte ligging drains [zandperceel]: 1 m <u>Model</u> : Droogteschade: detailberekeningen SWAP, als regelbare drainage % reductie zoutschade: 100% |
| Dimensioneringstype |
| Ha |
| Vaste kosten/ initiële investering |
| <i>Handmatig te sturen systeem met bestaande drainage</i> Kosten verzamelleiding; put voor peilopzet: 500-1500 €/ha <i>Gehele systeem incl nieuwe drainage/ verdiepte drainage</i> ~2300 €/ha |

| |
|--|
| <p><u>Model:</u> Ombouwen bestaand systeem: 1000 €/ha Nieuw systeem: 2300 €/ha</p> |
| Lopende kosten |
| 50 euro/ha/jaar |
| <p><u>Model:</u> 50 €/ha/jaar</p> |
| Levensduur |
| 20 jaar |
| Overige baten |
| Tegengaan van bruinrot. |
| <u>Model:</u> geen overige baten. |
| Neveneffecten |
| <ul style="list-style-type: none"> - Zoutbelasting op het oppervlaktewater wordt bij klei meer dan gehalveerd, bij zandperceel werd 30 % reductie gemeten . - Bij verdiepte ligging van de drains ontstaat er een verzoeting rond de verdiepte drains zelf. Hiermee wordt verzilting verminderd: zoute kwel wordt teruggedrongen met als gevolg een lagere kans op zoutschade. - Vermindering nutriënten uitstroming naar de sloten: er is een langere reistijd van water tot drainagemiddel (nog niet zeker) |
| <p><u>Model:</u> Reductie nutriënten afspoeling: +</p> |
| Juridisch kader |
| Geen belemmeringen voor het toepassen van de maatregel. |
| Bronnen |
| (Burger et al., 2016; Spaarwater, 2016) |

9.11 Druppelirrigatie, regulier en onder ploegzool

| |
|--|
| Omschrijving |
| Bij reguliere irrigatie gaat water verloren door verwaaiing, verdamping en overdimensionering (er wordt meer water gegeven dan strikt nodig). Met druppelirrigatie kan water worden toegediend waar het nodig is – in de wortelzone. Druppelirrigatie met ondergronds opgeslagen water is in twee pilots getest: een met oppervlakkige druppelirrigatie op een bollenveld, en een met ondergrondse druppelirrigatie op een veld met poot aardappelen. Ook toediening van meststoffen kan beter door ze in het water te vermengen – dit zorgt voor betere opname. Resultaten van de pilot wijzen erop dat in kleigebied/ aardappelteelt met lagere watervraag een hogere opbrengst kan worden gerealiseerd. In het zandgebied zijn nog geen resultaten bekend wat water efficiëntie/ efficiënter toedienen betreft; wel werden positieve resultaten behaald door de irrigatie te combineren met meststoffen (fertilisatie). Reguliere toepassing maakt gebruik van wegwerpslangen (eenjarig gebruik) die op het maaiveld liggen – dit heeft het voordeel dat ze snel kunnen worden opgerold en groei van ziektekiemen wordt voorkomen. Permanente druppelirrigatie wordt ingegraven onder ploegniveau, met als voordeel dan ze niet kunnen worden stuk gereden en jaarrond kunnen blijven liggen. |
| Type werkingsmechanisme |
| Toedieningsmaatregel |
| Status maatregel |
| Reguliere irrigatie (Spaarwater pilot Breezand): Algemeen ingezet in NL, met name in fruitteelt Ingegraven druppelirrigatie op 40-60 cm diep (Spaarwater pilot Borgsweer): technische haalbaarheid |
| Bron water |
| Opslagmaatregel |
| Fysieke geschiktheid |
| Op dit moment zijn er in het spaarwater project proeven op de volgende locaties: <ul style="list-style-type: none"> - Zand met bollenteelt: reguliere irrigatie (bedekt met strolaag om verdamping te reduceren) - Kleigrond met aardappelknollen: druppelslangen onder ploegniveau <p><i>Druppelirrigatie onder ploegniveau</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Capillaire opstijging voldoende: idealiter klei/siltige ondergrond. Grof zand ongeschikt. - Voldoende diep geworteld gewas. <p><i>Reguliere druppelirrigatie:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Kan in principe overal worden toegepast - Voldoende water beschikbaar |
| Onderdeel van een maatregelcombinatie? |
| Model: Combinatie met ondergrondse zoetwaterberging perceelseigen water. |
| Effecttype |
| <i>Efficiëntie toediening</i> |
| Effect |
| Model: Reguliere druppelirrigatie (persoonlijke communicatie Mieke Hulshof, Acacia): 90% Druppelirrigatie onder ploegniveau: 50-70 % |
| Dimensioneringstype |

| |
|--|
| Ha |
| Vaste kosten/ initiële investering |
| Ondergrondse druppelirrigatie: €1000 - €750 per ha per jaar |
| Regulier: €750,- €600,- per ha per jaar |
| <u>Model:</u> Regulier: 675 €/ ha Onder ploegniveau: 875 €/ha |
| Lopende kosten |
| <ul style="list-style-type: none"> ➤ Bij diepe druppelirrigatie 70 €/ha ➤ Bij reguliere druppelirrigatie 0 €/ha (jaarlijks systeem vervangen) |
| <u>Model:</u> Regulier: 0 €/ha Onder Ploegniveau: 70 €/ha |
| Levensduur |
| Permanente slangen onder ploegniveau: 20 jaar Regulier: 1 jaar |
| Overige baten |
| <ul style="list-style-type: none"> - Grotere (waardevollere) bollen door combinatie efficiëntere toediening meststoffen, naar schatting meeropbrengst 'enkele duizenden' €/ha Voorzichtige schatting 1000-1500 € per ha voor aardappelknollen. - Bij fertigatie: blad van gewas blijft droog zodat risico op bacterieverspreiding kleiner wordt. Hierdoor kan minder gewasbeschermingsmiddel gebruikt worden. - Door constante zoetwatervoorziening kan voor (groter deel van) de oogst een leveringscontract worden afgesloten: hiermee kan en grotere markt en betere prijzen worden verzekerd. - Door de leveringszekerheid is er een kleiner risico op negatieve effecten van een slecht jaar (effectief een soort verzekering tegen droge jaren en ziektes). <p>Zie ook digitale rekenhulp zoetwaterberging voor informatie over kosten en baten (in ontwikkeling) www.zoetwaterberging.nl</p> |
| <u>Model:</u> Geen overige baten. |
| Neveneffecten |
| <p>Positief</p> <ul style="list-style-type: none"> • In gebieden met beregeningsverbod uit oppervlaktewater vanwege bruinrot is het toch mogelijk te irrigeren als dit vanuit perceelseigen ondergronds opgeslagen water gebeurt. • [zand] Fosfaat: onder bepaalde omstandigheden komt historisch aan de bodem gebonden fosfaat vrij na ½ dagen fertigatie, zodat nog minder fosfaat hoeft te worden gebruikt. <p>Negatief</p> <ul style="list-style-type: none"> • [klei] Uitdroging van de bovenste bodemlaag: scheurvorming in klei, zuurstof in de bodem en waterberging bij regenbui. |
| <u>Model:</u> |

| |
|---|
| Waterberging – Nutrientenbalans bodem: + Bodemkwaliteit: - |
| Juridisch kader |
| Juridische beperkingen hangen af van kwaliteit/ bron geïnfiltreerd water (uit ondergrondse opslag). |
| Bronnen |
| (Sparwater, 2016) |

9.12 Ondergrondse opslag perceelseigen water

| |
|--|
| Beschrijving |
| <p>Water dat op het perceel valt wordt geïnfilteerd in het watervoerende pakket onder de kleilaag. Vaak is hier brak tot zout grondwater, waarin een zoetwaterbel wordt opgebouwd. Er wordt een verzamleiding aangelegd langs de drainagebuizen die normaliter op oppervlaktewater afvoeren: dit water wordt opgevangen in de verzamleiding. Na controle op EC waarde gaat het water naar een zandfilter en wordt onder de kleilaag geïnfilteerd in een zoetwaterbel van waaruit het later teruggewonnen kan worden.</p> <p>Dit systeem is in pilotlocatie Breezand dus een combinatie van systeemgerichte drainage en ASR. Water wordt opgevangen uit de drains, ondergronds opgeslagen onder de kleilaag in een zout grondwatermilieu en daarna weer opgepompt en met behulp van subirrigatie weer in het perceel gebracht.</p> |
| Werkingsmechanisme |
| Opslag |
| Status maatregel/ innovatie |
| <p>Status ondergrondse opslag perceelseigen water: hierover bestaat meer praktische kennis dan FWOO ASR. Hierdoor is het mogelijk gericht en dynamisch te schakelen in inrichting en toepassing van het systeem op gewenste locatie.</p> <p>Status: Technische haalbaarheid/ Ontwikkeling product</p> |
| Bron Water |
| Perceelseigen water dus neerslag |
| <u>Model:</u> neerslag |
| Fysieke geschiktheid |
| <p>In bestaande pilots toegepast op klei en zand.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aanwezigheid aquifer met afdekkende kleilaag, nu 10-30 m diepte |
| Onderdeel van een maatregelcombinatie? |
| Model: als enkelvoudige opslag&toediening maatregel geïmplementeerd |
| Effecttype |
| Model: geïmplementeerd als regelbare drainage met subinfiltratie, bron water is perceelseigen water |
| Effect |
| <p>Meervoudige putten zoals toegepast in (1,5 ha; <i>relatief hoge achtergrondconcentratie zout, aanwezigheid kleilaag, systeemconfiguratie</i>): terugwinrendement max 50%. Bij toepassing op grotere schaal en met een spaarjaar (waarin niet wordt onttrokken) kan dit worden verhoogd tot 90%. Bij de pilot in Borgsweer is 15000 m³ geïnfilteerd en jaarlijks 2030 m³ onttrokken.</p> <p>Enkelvoudige putten Breezand (2,7 ha; <i>lage achtergrondconcentratie zout, zand</i>): naar schatting te verhogen bij toepassing op grotere schaal tot 80% - 100 % (bij kleine achtergrondconcentratie). Er is 15000 m³ geïnfilteerd: 1050 m³ /jaar onttrokken.</p> <p><u>Model:</u> Toepassing zandig areaal: $1050/1,5 = 700 \text{ m}^3/\text{ha/jaar}$ Toepassing klei areaal: $2030/2,7 = 750 \text{ m}^3/\text{ha/jaar}$</p> |

| |
|---|
| In Regioscan teruggevallen op modellering als regelbare drainage met subinfiltratie, met aangenomen beschikbaarheid van water |
| Dimensioneringstype |
| ha |
| Vaste kosten/ initiële investering |
| <p><i>Zandig areaal</i> Breezand:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pilot: 2.7 ha - Kosten systeem: 50.000 euro - Bedieningsgebied: met onttrokken water kan 1:2 bevoeid worden - 1050 m³/jaar ➤ <u>0,50 €/m³</u> <p><i>Kleilig areaal</i> Borgsweer:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 55000 E/systeem - perceel proef 1,5 ha infiltratiegebied - Bedieningsgebied 1: 1.2 ha - 2030 m³/jaar ➤ 0,50-0,60 €/m³ <p><u>Model:</u> 0,55 €/ha</p> |
| Lopende kosten |
| 700 €/jaar / systeem (~ 10 ha) onderhoudskosten Energiekosten zijn 140 €/ ha/jaar. <p><u>Model:</u> 210 €/ha/jaar.</p> |
| Overige baten |
| <ul style="list-style-type: none"> - Voordelen voor watersysteembeheer - Verminderde afvoer gewasbeschermingsmiddelen Bijdrage aan natuurdoelstellingen door reductie nutriëntenafvoer en verminderde afvoer gewasbeschermingsmiddelen. |
| Neveneffecten |
| Hydrologisch wordt een gesloten circuit gecreëerd, van zowel water als nutriënten. Hiermee wordt een bijdrage geleverd aan de KRW doelen. <p><u>Model:</u> Reductie nutriënten afspoeling + + Nutriëntenbalans perceel: ++</p> |
| Juridisch kader |
| Verkrijgen van vergunningen is makkelijker dan bij ASR omdat perceelseigen water wordt gebruikt (en geen effluent, oppervlaktewater etc.) |
| Bronnen |
| Burger et al., 2016; Spaarwater, 2016 |

9.13 Subinfiltratie van effluent

| |
|---|
| Omschrijving |
| Gezuiverde reststromen en hemelwater kunnen een extra bron van zoet water vormen op locaties waar de watervraag het -aanbod overstijgt, of waar deze in faseverschil optreden. Dit restwater kan via netwerken van op elkaar aangesloten drainbuizen, c.q. een regelbaar drainage systeem, in de bodem worden geïnfiltrerd. Door sturing van de infiltratiehoeveelheden op basis van de grondwaterstand wordt de capillaire nalevering vanuit het grondwater naar het gewas verhoogd, zodat de gangbare irrigatiebronnen (grond- of oppervlaktewaterbronnen) minder belast worden. Subirrigatie met restwater wordt thans in een aantal pilots in de praktijk toegepast. Deze pilots verschillen onderling wat betreft de aanvullende waterbron die wordt aangewend, namelijk (1) RWZI-effluent (Haaksbergen), industrieel restwater (Lieshout) en grondwater (America). De focus van dit onderzoek ligt op de haalbaarheid en effectiviteit van subirrigatie in kwantitatieve zin, en de kwaliteitsgevolgen als gevolg van infiltratie van water met een afwijkende kwaliteit. |
| Status maatregel |
| Pilots in uitvoering (RWZI effluent; industrieel restwater; grondwater), rapportage eind 2017 |
| Bron Water |
| Grondwater, restwater |
| Type werkingsmechanisme |
| Toediening |
| Fysieke geschiktheid |
| <ul style="list-style-type: none"> - In eerste instantie is toepassing getest op zandgronden met natuurlijke afwatering (en dus hoger risico op droogte); - Fysieke geschiktheid afhankelijk van wegzijging, grondwaterstand, bodemtype (doorlaatfactor, weerstand en capillaire eigenschappen) en gewas (worteldiepte). - Aanwezigheid van regelbare drainage is kostenbesparend. Gangbare drainage kan in de regel worden omgebouwd naar regelbare drainage. Indien geen drainage aanwezig is, moet het worden aangelegd. - Beschikbaarheid reststromen water <p>De geschiktheid bij deze maatregel hangt sterk samen met de beschikbaarheid van water. Aangeraden wordt een case-specifieke kaart te ontwikkelen met daarop de locaties waar alternatieve waterbronnen kunnen worden benut.</p> |
| Onderdeel van een maatregelcombinatie? |
| Nee |
| Effecttype |
| Vermeden verdampingsreductie |
| <u>Model:</u> vermeden verdampingsreductie, opzoektabel |
| Effect |
| <u>Model:</u> zie bijlage C. |
| Dimensioneringstype |
| Lokaal in de omgeving van RWZI of grote bedrijven met restwater – afhankelijk van capaciteit en behoefte. Pilots zijn thans in uitvoering op perceelsniveau naast RWZI, naast bierbrouwerij met effluentstroom en naast pompput. Opschaling van de pilot op basis van effluentstroom staat op de planning. |

| |
|--|
| <u>Model:</u> ha |
| Vaste kosten/ initiële investering |
| 90.000 euro/systeem, proef van ongeveer 12 ha. Aanleg drains voor regelbare drainage: 1000-2500 €/ha Ombouwen gangbaar naar regelbare drainage: (zie regelbare drainage) Kosten 0,26 €/m ³ (in proefopstelling, nog niet in praktijk bewezen) <u>Model:</u> Bestaande drainage: 7500 €/ha Nieuw aan te leggen drainage: 8500 €/ha |
| Lopende kosten |
| <u>Model:</u> 250 €/ha |
| Levensduur |
| 10 jaar |
| Overige baten |
| <ul style="list-style-type: none"> • Vermijden natschade • Bovengrondse delen van het gewas komen niet in aanraking met het irrigatiewater, met daarmee minder risico op bacteriële ziektes/ verspreiding. <u>Model:</u> Geen overige baten opgenomen |
| Neveneffecten |
| Negatief: <ul style="list-style-type: none"> - Grotere kans op natschade omgeving - Verandering grondwaterkwaliteit Positief <ul style="list-style-type: none"> - Verminderde/gelijkmatiger belasting van het oppervlaktewater met effluentstromen en daarin opgeloste stoffen <u>Model:</u> Waterkwaliteit + |
| Juridisch kader |
| Bij waterschap Peel en Maasvallei/ Limburg is regelbare drainage verplicht in de keur. Ook in de EU is steeds meer aandacht voor hergebruik van reststromen, en zijn bedrijven meer bezig met duurzaam ondernemen en water footprint. Wettelijk zijn er nog wel belemmeringen wat betreft de kwaliteit – het is nodig dit nader te onderzoeken. |
| Bronnen |
| Bartholomeus et al., 2016; Jeuken et al., 2015; Vechtstromen, 2015 Rapporten over de pilots zijn naar verwachting eind 2017 beschikbaar. |

9.14 Referenties

- Bartholomeus, R., Raat, K., Worm, B., Oosterhuis, M., en Eertwegh, G. van den (2016). Restwater van de rioolwaterzuivering voor de landbouw? H2O-online, 28 april 2016.
- Burger, S., Waterloo, M., Hu-a-ng, K., & Oord, A. (2016). Eigen watervoorziening: Zoetwaterbeschikbaarheid.
- Fresh Force (2017) Gebiedsfreshmaker – Verkenning naar opschalingsmogelijkheden Freshmakerconcept.
- Hoenderken, J. (2007). Door lange slang minder arbeid. Retrieved January 12, 2017, from <http://edepot.wur.nl/6050>
- Jeuken, A., Tolk, L., Stuyt, L., Delsman, J., Louw, P. de, Baaren, E. van, & Paalman, M. (2015). Zelfvoorzienend in zoetwater: zoek de mogelijkheden. STOWA rapport 2015-30.
- KvK. (2014). Methode voor het selecteren van lokale zoetwateroplossingen en het afwegen van hun effecten "Fresh Water Options Optimizer."
- Oude Essink, G. H. P., Van Baaren, E. S., Zuurbier, K. G., Velstra, J., Veraart, J., Brouwer, W., ... Schoevers, M. (2014). GO-FRESH: Valorisatie kansrijke oplossingen voor een robuuste zoetwatervoorziening.
- Schipper, P., Groenendijk, P., Eekeren, N. van, Zanen, M. van, Rozemeijer, J., Jansen, G., & Swart, B. (2015). Goede grond voor een duurzaam watersysteem. STOWA rapport 2015-19.
- Schipper, P., Groenendijk, P., Hoving, I., Michels, R., Arts, M., Staarink, H., & van Bakel, J. (2016). Agrarische bedrijfswaterplannen Dwingelerstroom en Wapserveensche Aa - pilotstudie naar de potentie en effectiviteit van maatregelen bij agrarische bedrijven die bijdragen aan verbetering van de waterhuishouding. Retrieved from <http://edepot.wur.nl/388501>
- Schipper, P. N. M., Janssen, G. M. C. M., Polman, N. B. P., Linderhof, V. G. M., Van Bakel, P. J. T., Massop, H. T. L., ... Stuyt, L. C. P. M. (2014). €ureyeopener 2.1: Zoetwatervoorziening Zuidwestelijke Delta en Rijnmond-Drechtsteden [in Dutch]. Alterra-Rapport 2510, 74.
- Schipper, P. N. M., Janssen, G. M. C. M., Polman, N. B. P., Linderhof, V. G. M., Van Bakel, P. J. T., Massop, H. T. L., ... Stuyt, L. C. P. M. (2014). Effect zout Volkerak-Zoommeer op de zoetwatervoorziening van de landbouw; Berekening droogte- en zoutschade met €ureyeopener 2.1 voor Tholen, St. Philipsland, Oostflakkee, Reigersbergsche en PAN-polders [in Dutch]. Alterra-Rapport 2511, 46.
- Spaarwater. (2016). Pilots rendabel en duurzaam agrarisch watergebruik in een verziltende omgeving van de waddenregio, 52.
- Stuyt, L. C. P. M., van der Bolt, F. J. E., Snellen, W. B., Groenendijk, P., Schipper, P. N. M., & Harmsen, J. (2012). Meer water met regelbare drainage ?
- Tolk, L. (2013). Zoetwater verhelderd - maatregelen voor zoetwater zelfvoorzienendheid in beeld. Retrieved from <http://edepot.wur.nl/258933>
- van Eekeren, N., Deru, J., Gerders, S., & Verwer, F. (n.d.). Bufferboeren - Werken aan een droogtetolerante landbouw.
- Vechtstromen, W. (2015). Factsheet hoge zandgronden - subinfiltratie effluent Haaksbergen. <http://www.deltacommissaris.nl/documenten/publicaties/2015/09/15/factsheet-hoge>

zandgronden-uitvoeringsprogramma-regio-zuid

Www.innovatieveenkolonien.nl. Factsheet Praktijknetwerk beregning: Beregning en kosten.
http://www.innovatieveenkolonien.nl/upload/custom/Bijeenkomst_Irrigatie/factsheet_Beregning_en_Kosten_def.pdf.

Zuurbier, K. G., Raat, K. J., Paalman, M., Oosterhof, A. T., & Stuyfzand, P. J. (2016). How Subsurface Water Technologies (SWT) can Provide Robust, Effective, and Cost-Efficient Solutions for Freshwater Management in Coastal Zones. *Water Resources Management*, 1–17.
<https://doi.org/10.1007/s11269-016-1294-x>

Zuurbier, K., Van der Schans, M., Paalman, M., de Putter, P., te Winkel, T., Velstra, J., & Oude Essink, G. (2015). Technisch-juridische handreiking risicobeoordeling "ondergrondse waterberging.

10 Bijlage C: Gehanteerde methode voor het inschatten van het effect van drainagemaatregelen op transpiratiereductie

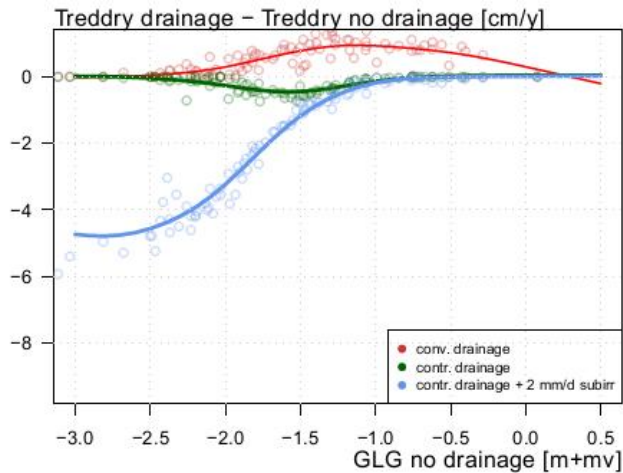
10.1 Overzicht

Het effect van drainagemaatregelen op de vochtvoorziening van het gewas en de transpiratiereductie is niet eenvoudig te duiden. De effectiviteit hangt sterk af van onder andere de hydrologische Ausgangssituatie, het bodemtype, het gewas en de dimensionering van de drainage. Om toch zonder uitgebreide en gedetailleerde metingen en simulaties een globale inschatting te kunnen maken van het effect van drainagemaatregelen op de toe- of afname van de transpiratiereductie ten opzichte van de Ausgangssituatie zonder drainage, zijn met behulp van een reeks SWAP-simulaties reprofuncties afgeleid. Reprofuncties beschrijven het algemene patroon van de gedetailleerde SWAP-resultaten en zijn eenvoudig toepasbaar, bijvoorbeeld als nabewerking op de uitkomsten van een grondwatermodel. Voor deze studie zijn reprofuncties afgeleid voor conventionele (reguliere) drainage, regelbare drainage en regelbare drainage met sub-irrigatie voor gras, mais en aardappel op vijf bodemtypen (zandige, lemige en klei bodems). In totaal betreft dit dus $4 * 3 * 5 = 60$ reprofuncties.

Figuur 10.1 geeft een voorbeeld van afgeleide reprofuncties voor gras op zand. Om de effectiviteit van verschillende drainagemaatregelen te schatten, is steeds het verschil in jaargemiddelde transpiratiereductie als gevolg van te droge condities (*Treddry*) voor de situatie mét drainagemaatregel ten opzichte van transpiratiereductie zonder drainage, gecorreleerd aan de gemiddelde laagste grondwaterstand (*GLG*) van de situatie zónder drainage. Met de reprofuncties kan vervolgens het effect van een drainagemaatregel op de toe- of afname van de transpiratiereductie worden ingeschat op basis van de *GLG* van de situatie zonder drainage, het bodemtype en het gewas,

10.2 Aanwijzing voor gebruik

Benadrukt wordt dat de afgeleide reprofuncties uitsluitend toepasbaar zijn voor de beperkte set van invoergegevens en modelparameters waarvoor de relaties zijn afgeleid. *De reprofuncties dienen daarom alleen toegepast te worden voor het verkrijgen van een globale inschatting van de effectiviteit van de doorgerekende maatregelen; de onzekerheidsmarges zijn groot.* Voor een nauwkeurige inschatting van effectiviteit van drainagemaatregelen dient altijd gebruik gemaakt te worden van lokale, gedetailleerde gegevens en op de locatie toegespitste modelsimulaties.



Figuur 10.1: Voorbeeld van reprofuncties voor het schatten van de effectiviteit van drainagemaatregelen voor gras op zand. De reprofuncties geven het verschil in transpiratiereductie door droogte (*Treddry*) met drainage t.o.v. de situatie zonder drainage (y-as), als functie van de gemiddeld laagste grondwaterstand (*GLG*) voor de situatie zonder drainage (x-as). Elk punt in de grafiek is het resultaat van een SWAP simulatie; de lijnen zijn gefitte splines. Conv. drainage = conventionele drainage, contr. drainage = regelbare drainage, subirr = regelbare drainage met actieve wateraanvoer (sub-irrigatie).

10.3 SWAP

Het SWAP model (Soil-Water-Atmosphere-Plant, (Kroes et al., 2009; Van Dam et al., 2008)) simuleert transport van water, opgeloste stoffen en warmte in de onverzadigde en, zij het in beperkte mate, de verzadigde zone. SWAP is ontwikkeld door Wageningen Universiteit en Alterra. De eerste versie van het SWAP model werd, voor toepassingen op veldschaal, al in 1978 ontwikkeld (Feddes et al., 1978) en sindsdien is het model veelvuldig toegepast en zijn diverse verbeteringen aangebracht. SWAP wordt internationaal gezien als het standaardmodel voor het bepalen van de actuele verdamping als functie van meteorologische gegevens gecombineerd met gewas en bodemgegevens (Feddes & Raats, 2004).

De reductie in actuele transpiratie als gevolg van beschikbaar vocht in de bodem wordt weergegeven door de zogenaamde wortelonttrekkingsfunctie. Zowel te droge als te natte omstandigheden leiden tot een niet optimale verdamping, omdat plantenwortels dan respectievelijk onvoldoende water en zuurstof kunnen opnemen. SWAP beschrijft elk van de factoren die deel uitmaken van de verdamping: evaporatie van de bodem, transpiratie en interceptieverdamping. Zowel de potentiële als actuele evaporatie en transpiratie worden berekend.

10.4 Automatische SWAP-simulaties in R

De reprofuncties zijn gebaseerd op modelsimulaties met het model SWAP, voor automatisch gegenereerde plots (30 jaar, tijdstap van 1 dag). Voor elke plot worden zowel de *GLG* als droogtestress (*Treddry*) gesimuleerd.

De reprofuncties zijn afgeleid voor de meteorologische condities van De Bilt voor 1981-2010, voor gras, mais en aardappelen, voor verschillende drainagetypes, en voor 5 bodemfysische eenheden. Voor elke combinatie van bodemfysische eenheid, gewas en drainagetype zijn aparte functies

afgeleid, door 'splines' door de gesimuleerde 'data' te fitten (Figuur 10.1). Deze zijn vervolgens vertaald in opzoektabelen (Tabel 10.1).

Door de hydrologische randvoorwaarden in SWAP te variëren, wordt een range aan *GLG's* verkregen. Dit hebben we gedaan door in het programma 'R' (open source statistische software, (R Development Core Team, 2012)) software te bouwen waarmee SWAP een x-aantal keer wordt aangeroepen met:

- verschillende hydrologische randvoorwaarden
- verschillende bodemtypen (bodemfysische eenheden nrs. 9, 11, 12, 16, 21 (Wösten et al., 1988))
- verschillende gewassen (gras, maïs, aardappelen)
- verschillende typen drainage: geen drainage, conventionele drainage, samengestelde drainage en samengestelde drainage met wateraanvoer (sub-irrigatie).

Vervolgens wordt een automatische procedure gestart waarin SWAP binnen de opgegeven ranges 100 keer wordt gedraaid. De SWAP -invoer wordt automatisch aangepast en vervolgens wordt het model gerund. Uit de uitvoer worden *Treddy* en de *GLG* bepaald.

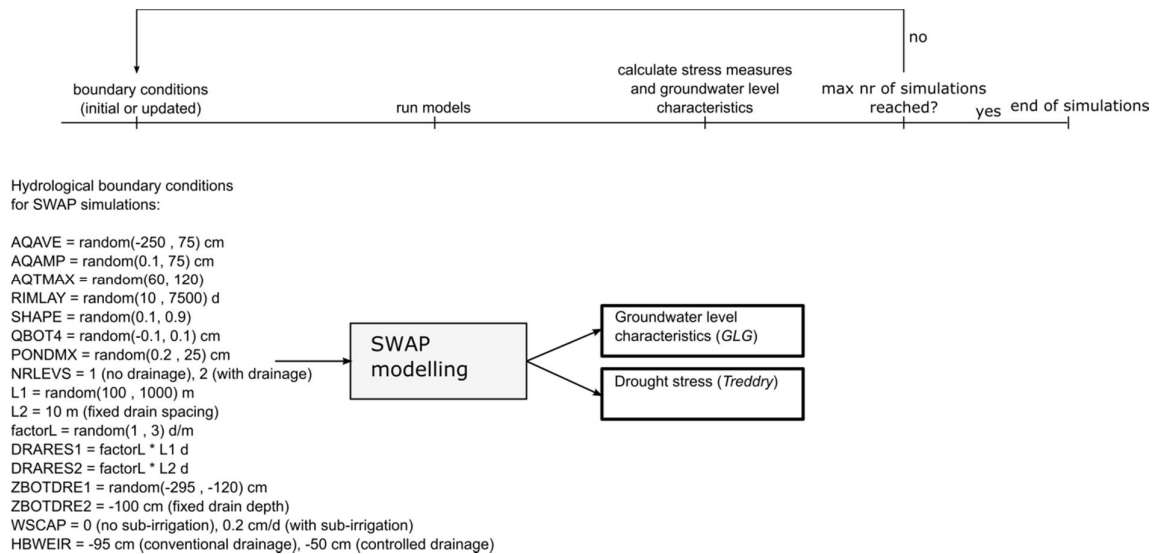
Meteorologische invoer van de SWAP (v.3.2.86) simulaties bestaat uit dagelijkse neerslag, minimale en maximale temperatuur en referentieverdamping van De Bilt (1981-2010). Bodemfysische eigenschappen worden beschreven volgens Van Genuchten (1980). Gewaseigenschappen worden beschreven in een apart gewasbestand en zijn gelijk aan de gewasbestanden zoals opgesteld voor Waterwijzer Landbouw (Bartholomeus et al., 2013; Kroes et al., 2015).

De hydrologische randvoorwaarden zijn zo gedefinieerd dat droge tot natte situaties worden doorgerekend (Figuur 10.2):

- de onderrandvoorwaarde in SWAP is de 'bottom flux' berekend uit de stijghoogte in een diepe aquifer (gegeven door AQAVE, AQAMP, AQTMAX, SHAPE) en de verticale weerstand van de aquitard (RIMLAY). QBOT4 beschrijft een extra laterale drainageflux. Voor deze analyse worden RIMLAY, SHAPE, AQAVE, AQAMP, AQTMAX en QBOT4 gevarieerd.
- de maximale dikte van de 'ponding layer' voordat oppervlakkige afstroming start, is gegeven door PONDMX.
- drainage naar ontwateringsmiddelen wordt gesimuleerd met de module 'extended drainage' en beschreven door (Figuur 10.2):
 - het aantal drainageniveaus (NRLEVS). Voor deze analyse geldt dat in de situatie zonder drainage sprake is van één niveau (NRLEVS = 1), en met drainage van twee niveaus (NRLEVS = 2).
 - de afstand tussen sloten (L1) of drainagebuizen (L2, vaste waarde van 10 m)
 - de drainageweerstand (DRARES), welke afhankelijk is van L: drainageweerstand is $\text{factorL} * L$ (Van der Gaast et al., 2006)

- o de bodemdiepte van de sloot (ZBOTDRE1) of drainagebuizen (ZBOTDRE2, vaste waarde van -100cm+mv)
- o het waterpeil in de sloot (WLP) is gelijk is aan ZBOTDRE1
- o het waterpeil in het drainagesysteem wordt dynamisch berekend, waarbij de stuwhoogte HBWEIR = -95cm+mv bij conventionele drainage en HBWEIR = -50cm+mv bij samengestelde drainage
- o wateraanvoercapaciteit (WSCAP), alleen toegepast voor sub-irrigatie
- o stuwhoogte (HBWEIR)

In elke SWAP run worden de *GLG* en *Treddry* berekend. Deze procedure (Figuur 10.2) wordt herhaald voor de verschillende bodemfysische eenheden, gewassen, en typen drainage, ofwel voor elke reprofunctie. In totaal zijn dus $60 \times 100 = 6000$ SWAP simulaties gedraaid.



Figuur 10.2: Stroomschema en parameterranges van de geautomatiseerde SWAP berekeningen.

10.5 Resultaten

De reprofuncties (splines uit Figuur 10.1) zijn uiteindelijk in tabelvorm weergegeven (Tabel 10.1). Gelijkssoortige tabellen zijn afgeleid voor de andere 14 bodem-gewascombinaties.

Tabel 10.1: Repro-functies in tabelvorm voor het voorbeeld van Figuur 10.1.

| | GLG_nodrainage | Treddy_nodrainage (ref) | Treddy_conv.drainage - ref | Treddy_contr.drainage - ref | Treddy_contr.drainage_subirrigation - ref |
|------|----------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|---|
| -3.0 | 6.02 | -0.01 | 0.02 | -4.73 | |
| -2.9 | 5.90 | -0.01 | 0.02 | -4.78 | |
| -2.8 | 5.77 | 0.00 | 0.01 | -4.78 | |
| -2.7 | 5.60 | 0.01 | 0.00 | -4.76 | |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | |
| -0.5 | 0.01 | 0.72 | 0.02 | 0.00 | |
| -0.4 | 0.00 | 0.66 | 0.03 | 0.00 | |
| -0.3 | -0.01 | 0.58 | 0.04 | 0.01 | |
| -0.2 | -0.01 | 0.49 | 0.04 | 0.01 | |
| -0.1 | -0.01 | 0.40 | 0.04 | 0.01 | |
| 0.0 | -0.02 | 0.30 | 0.04 | 0.02 | |
| 0.1 | -0.02 | 0.20 | 0.04 | 0.02 | |
| 0.2 | -0.02 | 0.10 | 0.04 | 0.02 | |
| 0.3 | -0.02 | 0.00 | 0.04 | 0.02 | |
| 0.4 | -0.03 | -0.10 | 0.05 | 0.03 | |
| 0.5 | -0.03 | -0.20 | 0.05 | 0.03 | |

10.6 Referenties

- Bartholomeus, R.P., Kroes, J., Van Bakel, J., Hack-tenBroeke, M., Witte, J.P.M., 2013. Actualisatie schadefuncties landbouw; fase 1. Op weg naar een geactualiseerd en klimaatbestendig systeem van effect van waterbeheer op gewasopbrengst. STOWA 2013-22, Amersfoort.
- Feddes, R.A., Kowalik, P.J., Zaradny, H., 1978. Simulation of field water use and crop yield. Simulation Monographs. Pudoc, Wageningen, 189 pp.
- Feddes, R.A., Raats, P.A.C., 2004. Parameterizing the soil-water-plant root system. In: Feddes, R.A., Rooij, G.H.d., Van Dam, J.C. (Eds.), Unsaturated-zone Modeling: Progress, Challenges, Applications Wageningen UR Frontis Series Wageningen, pp. 95-141.
- Kroes, J. et al., 2015. Waterwijzer Landbouw, fase 2: Modelleren van het bodem-water-plantsysteem met het gekoppelde instrumentarium SWAP-WOFOST, STOWA, 2015(16).
- Kroes, J.G., Van Dam, J.C., Groenendijk, P., Hendriks, R.F.A., Jacobs, C.M.J., 2009. SWAP version 3.2, Theory description and user manual. Alterra report 1649 (update 02), Wageningen University and Research Centre, Wageningen.
- R Development Core Team, 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- Van Dam, J.C., Groenendijk, P., Hendriks, R.F.A., Kroes, J.G., 2008. Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP. Vadose Zone Journal, 7(2): 640-653.
- Van der Gaast, J.W.J., Massop, H.T.L., Vroon, H.R.J., Staritsky, I.G., 2006. Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken, Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. AlterraRapport 1339. 111 blz. 54 figuur; 27 tab.; 64 ref.
- Van Genuchten, M.T., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci Soc Am J, 44: 892-898.
- Wösten, J., De Vries, F., Denneboom, J., van Holst, A., 1988. Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1: 250 000, ten behoeve van de PAWN-studie. Generalization and soil-physical translation of the soil map of the Netherlands, 1(250,000).

11 Bijlage D: AGRICOM

11.1 Inleiding

In deze bijlage wordt de werking van AGRICOM kort toegelicht. Achtereenvolgens komen aan de orde de methode achter de berekening van beregeningskosten, de dervingsfractie en de opbrengsderving.

11.2 Beregeningskosten

De totale beregeningskosten bestaan uit variabele beregeningskosten en vast beregeningskosten.

Variabele beregeningskosten

De variabele beregeningskosten worden gesplitst in arbeidskosten en energiekosten. Zowel de arbeids- en de energiekosten worden afhankelijk gesteld van het areaal en de totale hoeveelheid beregening, maar zijn onafhankelijk van de verdeling van beregening over een jaar. Naast arbeids- en energiekosten is het mogelijk om heffingskosten te definiëren.

De arbeids- en energiekosten volgen uit de hoeveelheid beregening vermenigvuldigd met de prijs van het grond- of oppervlaktewater.

$$\epsilon_{lbr} = Spr_{mm} \times Area \times \epsilon_{lbr_mm}$$

$$\epsilon_{eng} = Spr_{mm} \times Area \times \epsilon_{eng_mm}$$

$$\epsilon_{tax} = Spr_{m3} \times \epsilon_{cost}$$

Waarbij:

| | | |
|--------------------|-----------------------------------|--|
| €lbr | : Arbeidskosten | [€] |
| €eng | : Energiekosten | [€] |
| €tax | : Heffingskosten | [€] |
| Spr _{mm} | : Hoeveelheid beregening | [mm] |
| Spr _{m3} | : Hoeveelheid beregening | [m3] |
| Area | : Areaal | [ha] |
| €lbr _{mm} | : Arbeidskosten per mm beregening | [€ mm ⁻¹ ha ⁻¹] |
| €eng _{mm} | : Energiekosten per mm beregening | [€ mm ⁻¹ ha ⁻¹] |
| €cost | : Prijs van beregeningswater | [€ m ⁻³] |

Vaste beregeningskosten

De vaste kosten voor beregening bestaan uit afschrijvingen van investeringen in de beregeningsinstallaties en uit de jaarlijkse kosten voor verzekering en onderhoud. Met een gegeven afschrijvingsperiode en rentepercentage volgt uit de totale investeringssom de jaarlijkse kosten, gebruikmakend van de Capital Recovery Factor.

$$CRF = \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

Waarbij:

| | | |
|-----|-----------------------------|-----|
| CRF | : Capitel Recovery Fraction | [-] |
| r | : rentevoet | [-] |
| n | : aantal jaren afschrijving | [-] |

De vaste jaarlijkse kosten voor onderhoud en investeringen worden bepaald door de totale investering te vermenigvuldigen met het opgegeven percentage onderhoud en verzekeringen. De totale kosten worden berekend door de sommatie van kosten door afschrijvingen en kosten voor onderhoud en verzekeringen.

11.3 Dervingsfractie

Bepaling van de totale dervingsfractie voor een rekenjaar

Gedurende het groeiseizoen wordt op basis van modelresultaten verkregen met het LHM model de totale dervingsfractie bijgehouden. De totale dervingsfractie op een bepaald tijdstip wordt bepaald op basis van het deel van het gewas wat op een bepaald moment nog tot opbrengst kan komen, de zogenaamde overlevingsfractie, en het deel van het gewas wat nog niet geoogst is en wat dus nog schade kan ondervinden, het zogenaamde resterend gewas.

$$fD_{tot,t} = fRY_t \times (fO_{t-1} - fO_t)$$

Waarbij:

| | | |
|--------------|--|-----|
| $fD_{tot,t}$ | : Totale dervingsfractie op tijdstip t | [-] |
| fRY_t | : Resterend gewas op tijdstip t | [-] |
| fO_t | : Overlevingsfractie tijdstip t | [-] |

De overlevingsfractie is afhankelijk van de overlevingsfractie van de vorige tijdstap en de schade fracties als gevolg van droogte en zout.

$$fO_t = fO_{t-1} \times (1 - fD_{dry,t}) \times (1 - fD_{salt,t})$$

Waarbij:

| | | |
|---------------|---|-----|
| fO_t | : Overlevingsfractie tijdstip t | [-] |
| $fD_{dry,t}$ | : Schade fractie als gevolg van droogte op tijdstip t | [-] |
| $fD_{salt,t}$ | : Schade fractie als gevolg van zout op tijdstip t | [-] |

De onderstaande figuren geven een grafische weergave van de berekeningswijze voor droogteschade en zoutschade per tijdstap. De parametrisatie voor droogteschade en zoutschade kan zowel per gewas als tijdstip in het groeiseizoen variëren.

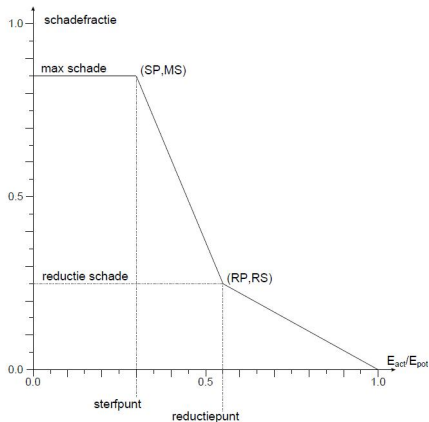


Fig A1: Grafische weergave droogteschade

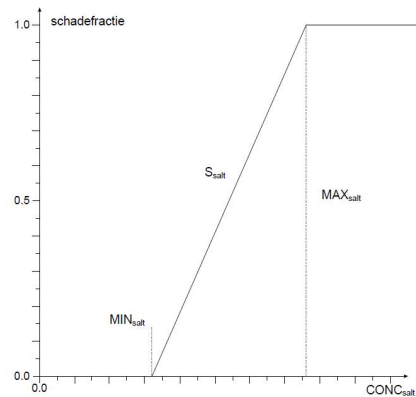


Fig A2: Grafische weergave zoutschade

11.4 Opbrengstderving in euro's

Bepaling van de opbrengstderving voor een rekenjaar

De derving in gewasopbrengst (€ ha^{-1}) volgt uit de vermenigvuldiging van de langjarig gemiddelde gewasprijs (€ kg^{-1} of € stuk^{-1}) met de fysieke opbrengstderving (kg ha^{-1} of stuks ha^{-1}).

$$\text{€}_{red,yr} = \text{€}_{avg} \times Y_{red,yr}$$

Waarbij:

| | | |
|---------------------|---|--|
| $\text{€}_{red,yr}$ | : Opbrengstderving voor een rekenjaar | $[\text{€ ha}^{-1}]$ |
| €_{avg} | : Langjarig gemiddelde gewasprijs | $[\text{€ kg}^{-1} \text{ of } \text{€ stuk}^{-1}]$ |
| $Y_{red,yr}$ | : Fysieke opbrengstderving voor rekenjaar | $[\text{kg ha}^{-1} \text{ of } \text{stuks ha}^{-1}]$ |

De langjarig gemiddelde gewasprijs volgt uit de parametrisatie van AGRICOM. De berekening van de fysieke opbrengstderving wordt hieronder toegelicht.

Bepaling van de fysieke opbrengstderving voor een rekenjaar

De fysieke opbrengstderving volgt uit het verschil tussen de potentiële en actuele gewasopbrengst (kg ha^{-1} of stuks ha^{-1}).

$$Y_{\text{red,yr}} = Y_{\text{pot,yr}} - Y_{\text{act,yr}}$$

Waarbij:

| | | |
|---------------------|--|---|
| $Y_{\text{red,yr}}$ | : Fysieke opbrengstderving voor rekenjaar | [kg ha^{-1} of stuks ha^{-1}] |
| $Y_{\text{pot,yr}}$ | : Potentiële gewasopbrengst voor rekenjaar | [kg ha^{-1} of stuks ha^{-1}] |
| $Y_{\text{act,yr}}$ | : Actuele gewasopbrengst voor rekenjaar | [kg ha^{-1} of stuks ha^{-1}] |

De potentiële gewasopbrengst (kg ha^{-1} of stuks ha^{-1}) voor een rekenjaar is afhankelijk van de langjarig gemiddelde potentiële gewasopbrengst en een verdampingsfactor. De verdampingsfactor wordt bepaald door de ratio van de potentiële gewasverdamping voor een rekenjaar en het langjarig gemiddelde.

$$Y_{\text{pot,yr}} = Y_{\text{pot,avg}} \times fET_{\text{pot}}$$

$$fET_{\text{pot}} = \frac{ET_{\text{pot,yr}}}{ET_{\text{pot,avg}}}$$

Waarbij:

| | | |
|-----------------------|---|---|
| $Y_{\text{pot,yr}}$ | : Potentiële gewasopbrengst voor rekenjaar | [kg ha^{-1} of stuks ha^{-1}] |
| $Y_{\text{pot,avg}}$ | : Langjarig gemiddelde potentiële gewasopbrengst | [kg ha^{-1} of stuks ha^{-1}] |
| fET_{pot} | : Verdampingsfactor tussen rekenjaar en langj. gem. | [-] |
| $ET_{\text{pot,yr}}$ | : Potentiële evapotranspiratie voor rekenjaar | [mm] |
| $ET_{\text{pot,avg}}$ | : Langjarig gemiddelde potentiële evapotranspiratie | [mm] |

De langjarig gemiddelde fysieke gewasopbrengst volgt uit de parametrisatie van AGRICOM. De langjarig gemiddelde evapotranspiratie volgt ook uit de parametrisatie van AGRICOM, en is bepaald aan de hand van een langjarige berekening met het landelijk hydrologisch model (LHM 3.2.0). De potentiële evapotranspiratie voor het rekenjaar volgt uit de berekening met LHM.

De actuele gewasopbrengst (in kg ha^{-1} of stuks ha^{-1}) wordt bepaald door de potentiële gewasopbrengst te vermenigvuldigen met de totale dervingsfractie van het rekenjaar. De dervingsfractie is afhankelijk van verschillende schadecomponenten. AGRICOM kan hierbij onderscheidt maken tussen schadefracties als gevolg van droogte en zout.

$$Y_{\text{act,yr}} = Y_{\text{pot,yr}} \times fD_{\text{tot,yr}}$$

Waarbij:

| | | |
|----------------------|--|---|
| $Y_{\text{pot,yr}}$ | : Potentiële gewasopbrengst voor rekenjaar | [kg ha^{-1} of stuks ha^{-1}] |
| $Y_{\text{act,yr}}$ | : Actuele gewasopbrengst voor rekenjaar | [kg ha^{-1} of stuks ha^{-1}] |
| $fD_{\text{tot,yr}}$ | : Totale dervingsfractie voor rekenjaar | [-] |

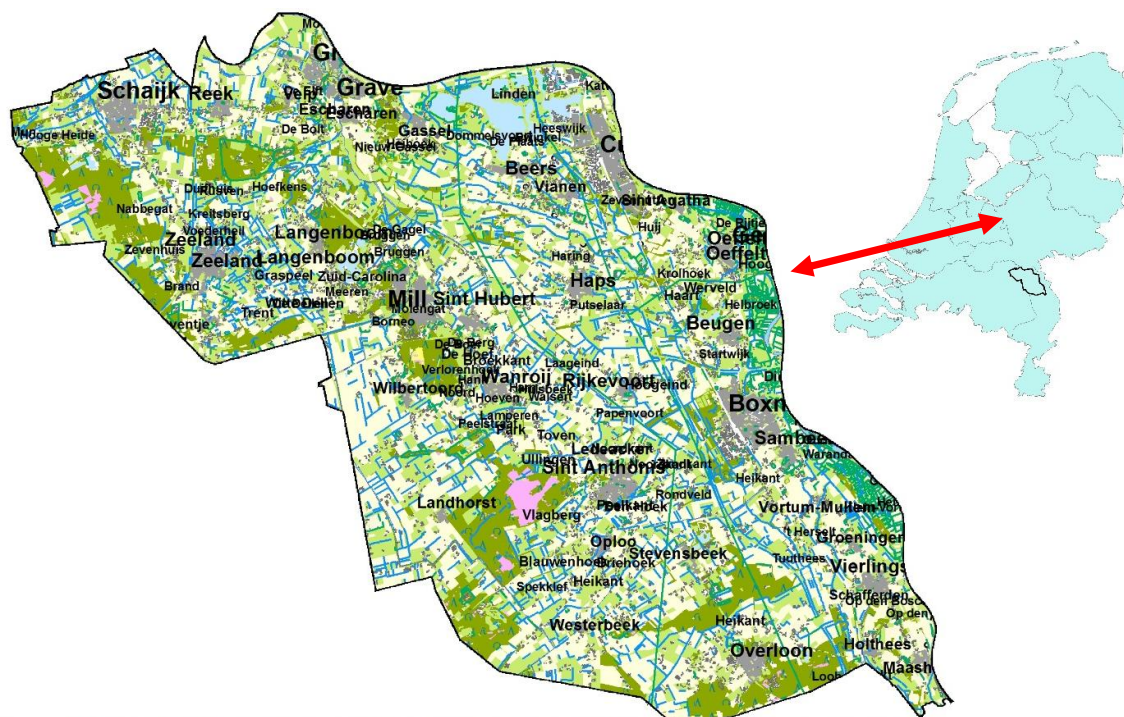
De berekening van de totale dervingsfractie voor een rekenjaar wordt toegelicht in 11.3.

12 Bijlage E: Aanvullende informatie casestudie De Raam (Hoog Nederland)

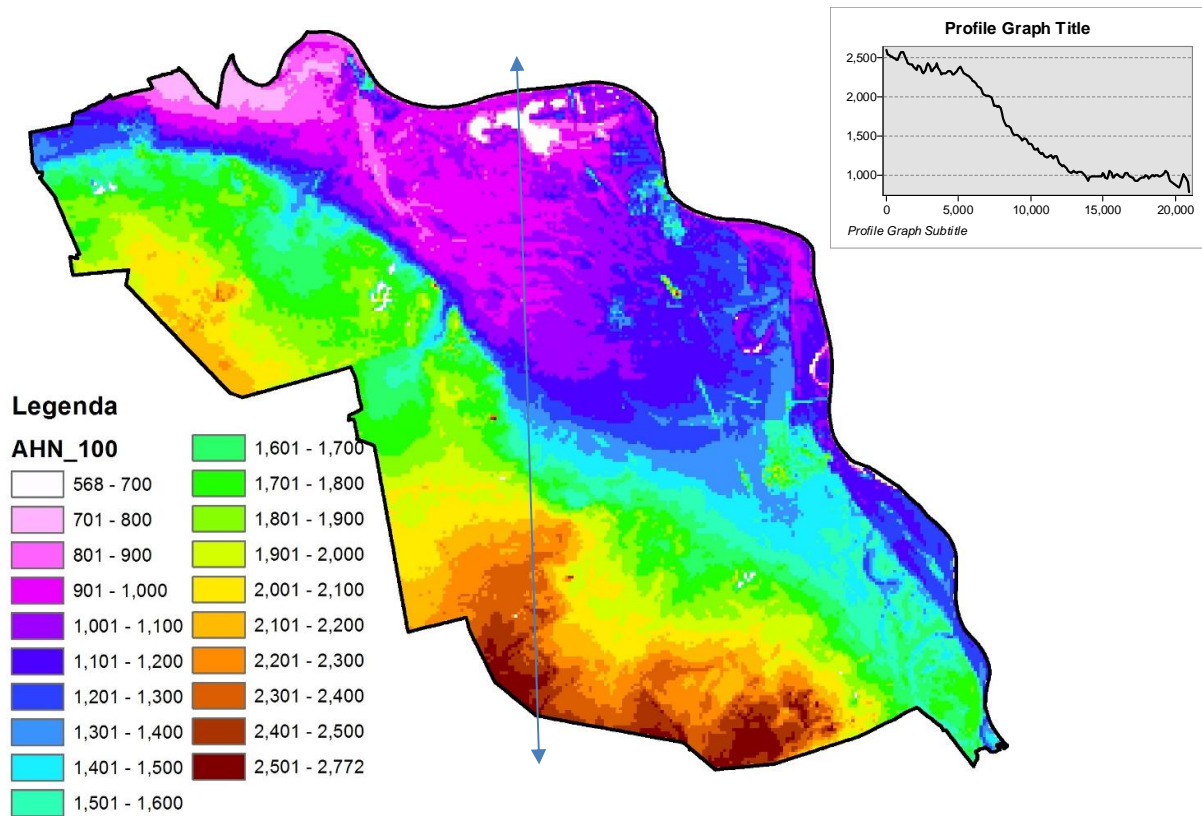
12.1 Gebiedsbeschrijving

12.1.1 Topografische ligging

Het gebied De Raam ligt in het noordoosten van de Provincie Noord-Brabant, binnen het beheergebied van waterschap Aa en (Figuur 12.1).



Figuur 12.1: Studiegebied De Raam.

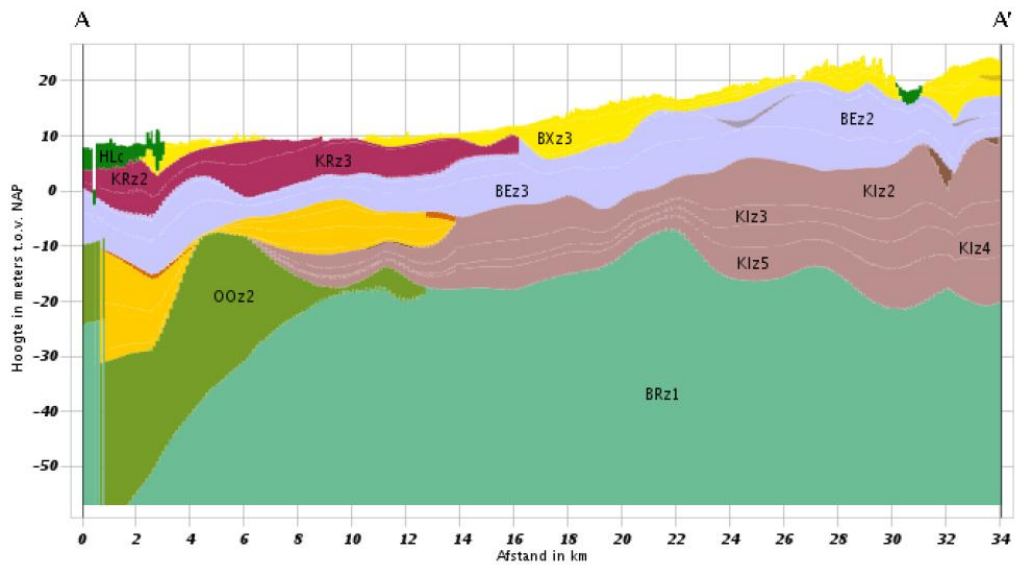


Figuur 12.2: Hoogtekaart van het gebied en raai van zuid naar noord over het gebied

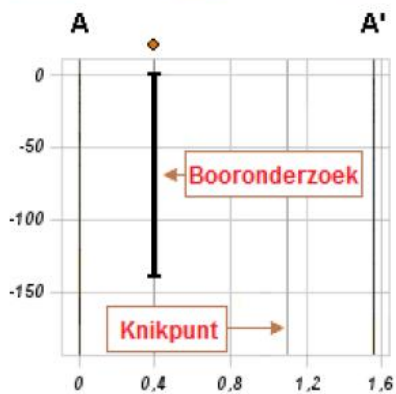
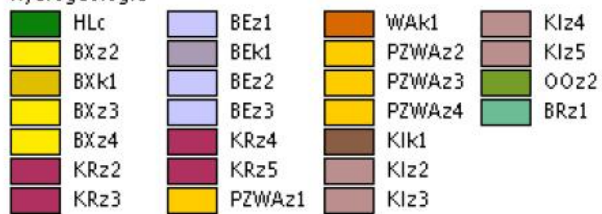
12.1.2 Geohydrologische opbouw van het gebied

In figuur 1 en 2 is aan de hand van twee raaien, van NW-ZO en van O-W, de opbouw van de ondiepe ondergrond weergegeven. In het noorden nabij de Maas komen Holocene afzettingen voor, hieronder en in de rest van de Raam aan maaiveld komen overwegend zandige afzettingen voor. Verder kunnen we in de O-W-raai enkele geologische breuken herkennen. De ondergrond bestaat overwegend uit zandige afzettingen.

Verticale Doorsnede REGIS II v2.2

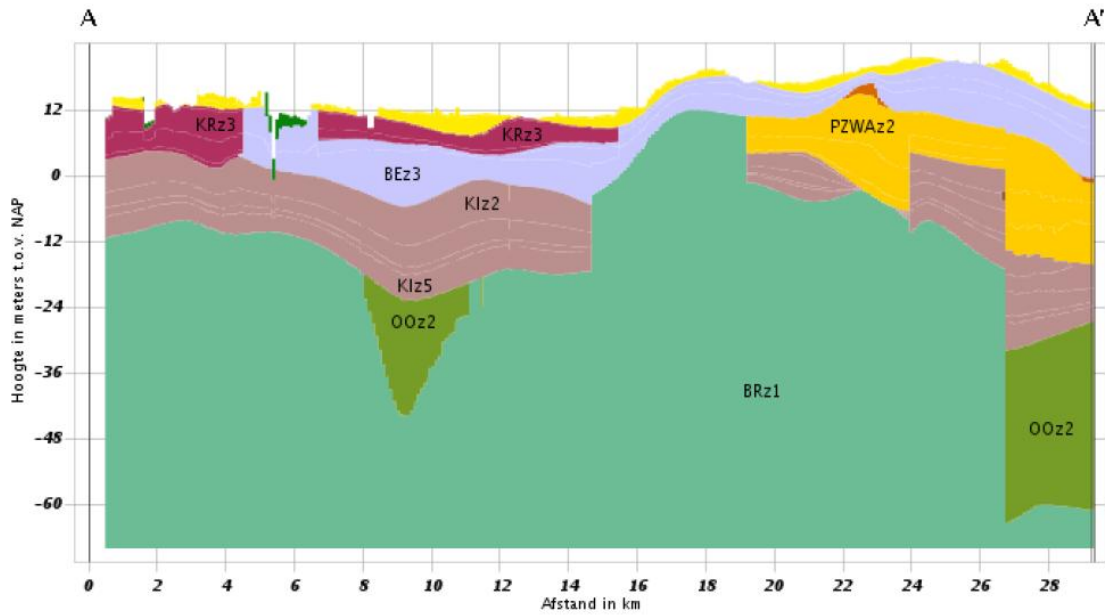


Hydrogeologie

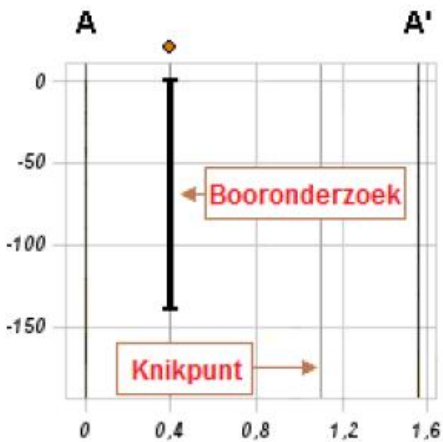


Figuur 1 Geohydrologische raai van noordwest naar zuidoost over het pilotebied

Verticale Doorsnede REGIS II v2.2



Hydrogeologie



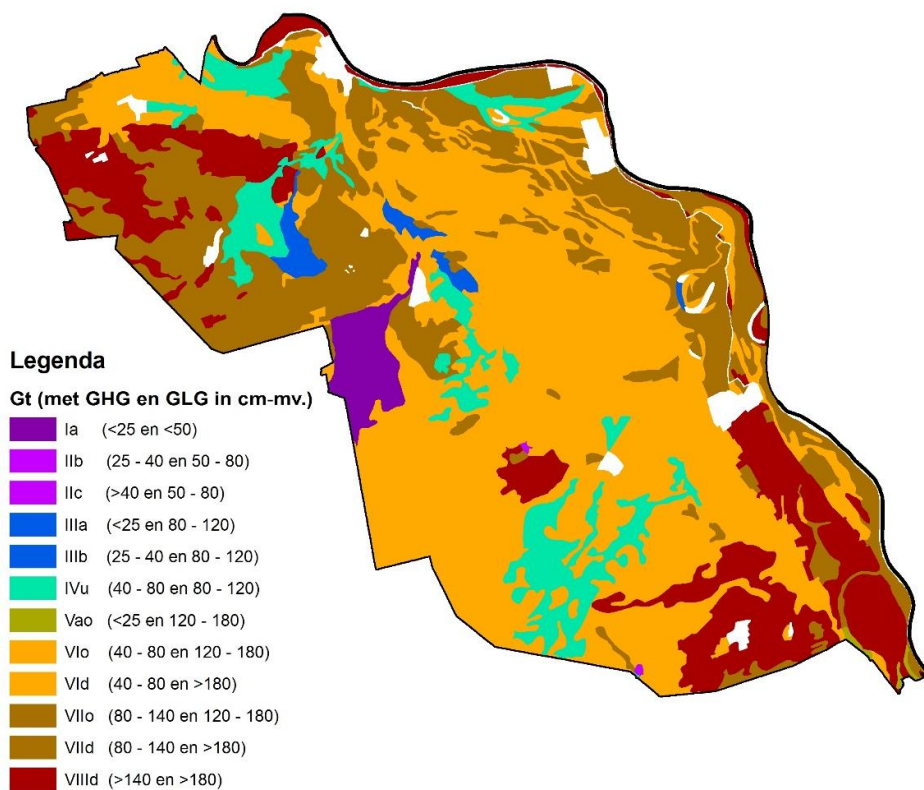
Figuur 2 Geohydrologische raai van oost naar west over het pilotgebied

12.1.3 Bodem

De bodem van de Raam bestaat voornamelijk uit humuspodzolgronden (H, 33,5%), kalkloze zandgronden (Z, 26,5 %), Enkeerdgronden (EZ, 16,6%), Oude rivierkleigronden (KR, 10,3 %) en rivierkleigronden (R, 7,2%), de overige gronden moderpodzolgronden (Y), moerige gronden (W) en veengronden (V) beslaan samen 2,6% (Error! Reference source not found.).

12.1.4 Gt

In Figuur 12.3 is de grondwatertrappenkaart van het pilotgebied weergegeven. Het pilotgebied bestaat voor slechts 3,4% uit natte gronden, dwz Gt I, II en III. Het aandeel matig droge gronden, GT IV en VI beslaat 56,4 procent waarvan 48% GT VI. Het aandeel droge gronden, GT VII en VIII, beslaat samen 40,2 %. Het pilotgebied betreft dus een relatief droog gebied.



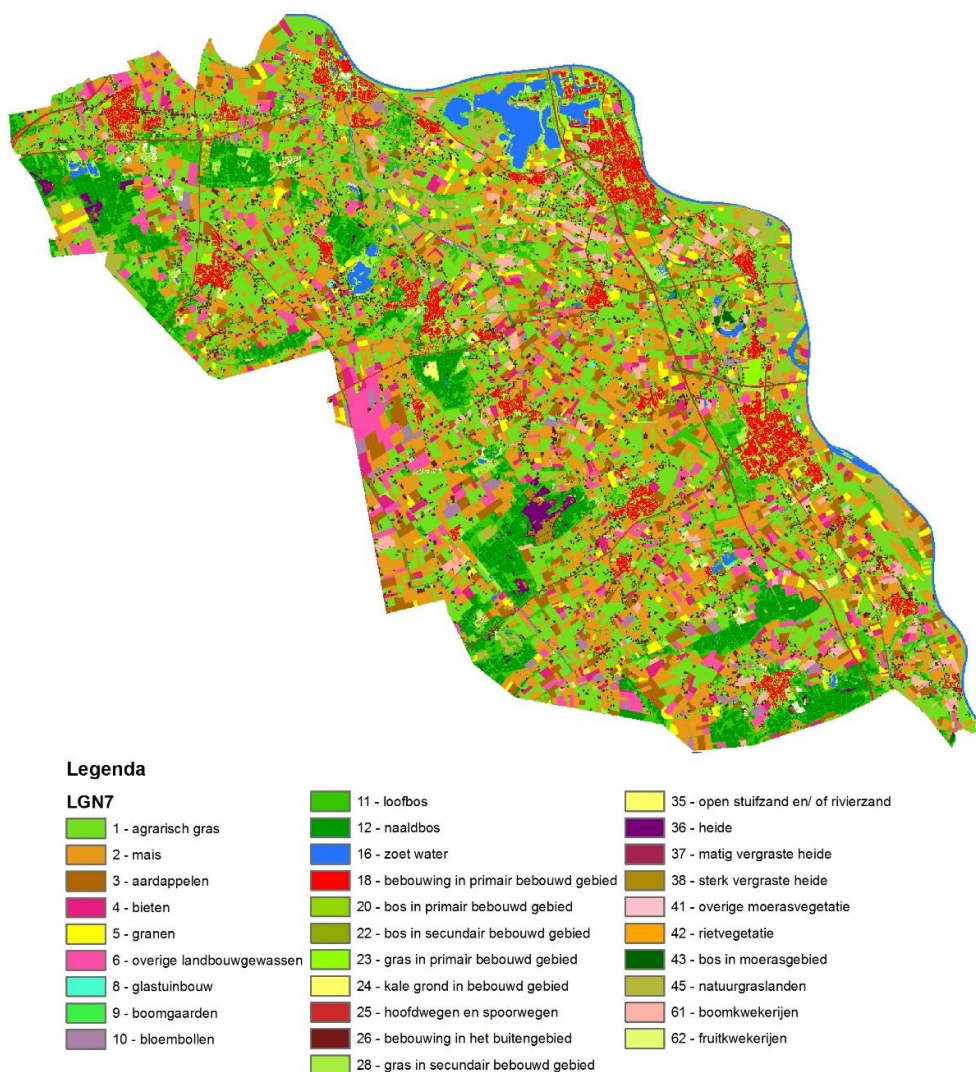
Figuur 12.3: Grondwatertrappen in het pilotgebied

12.1.5 Landgebruik

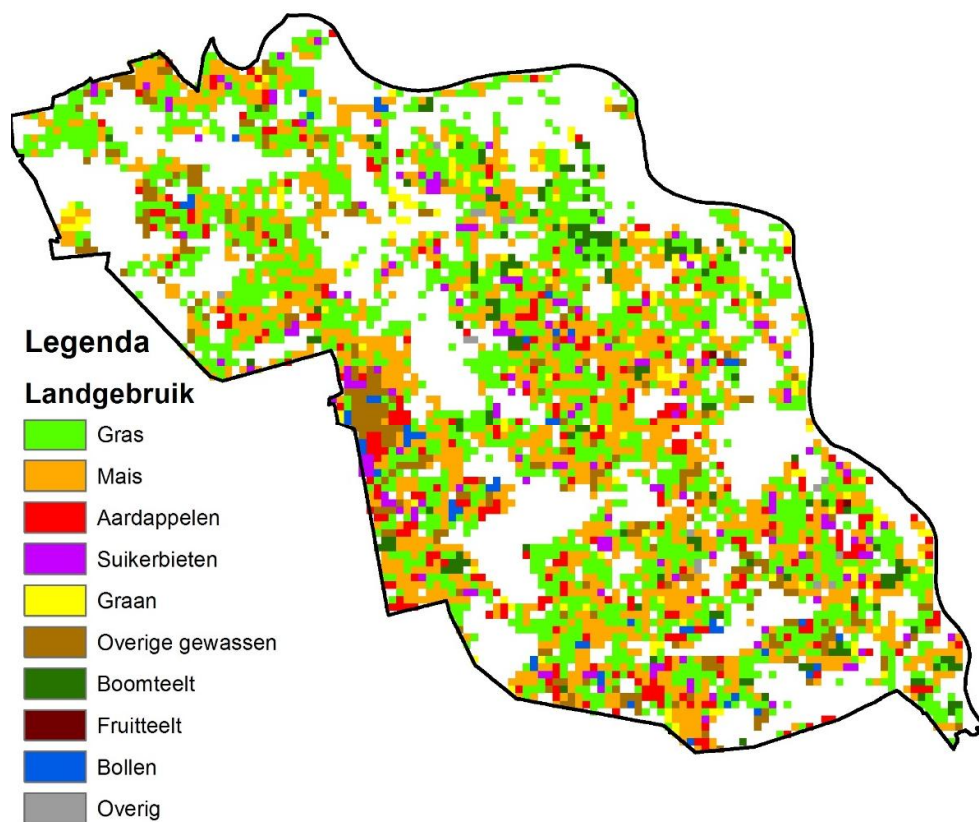
Het landgebruik volgens LGN 7 is weergegeven in Figuur 12.4. Het gebied De Raam heeft een oppervlakte van 42258 ha, hiervan wordt 62,5% landbouwkundig gebruikt. Het aandeel gras bedraagt 25,4% en 20% is mais. Verder ligt er 4,6% aardappelen, 2,5 % bieten, 2,2% granen en 2,4% boomkwekerijen, de overige landbouwkundige landgebruiksklassen beslaan elk minder dan 1%.

Bebouwing en infrastructuur (code 18 t/m 28) beslaan samen 15,2%. Bos, natuur en water beslaan samen 22,2%.

Voor deze studie is de landgebruikskaat uit het Landelijk Hydrologische Modelinstrumentarium (LHM) gebruikt (Figuur 12.5), deze kaart heeft een gridgrootte van 250 m. In deze kaart worden 10 gewassen onderscheiden.



Figuur 12.4: Landgebruik volgens LGN7

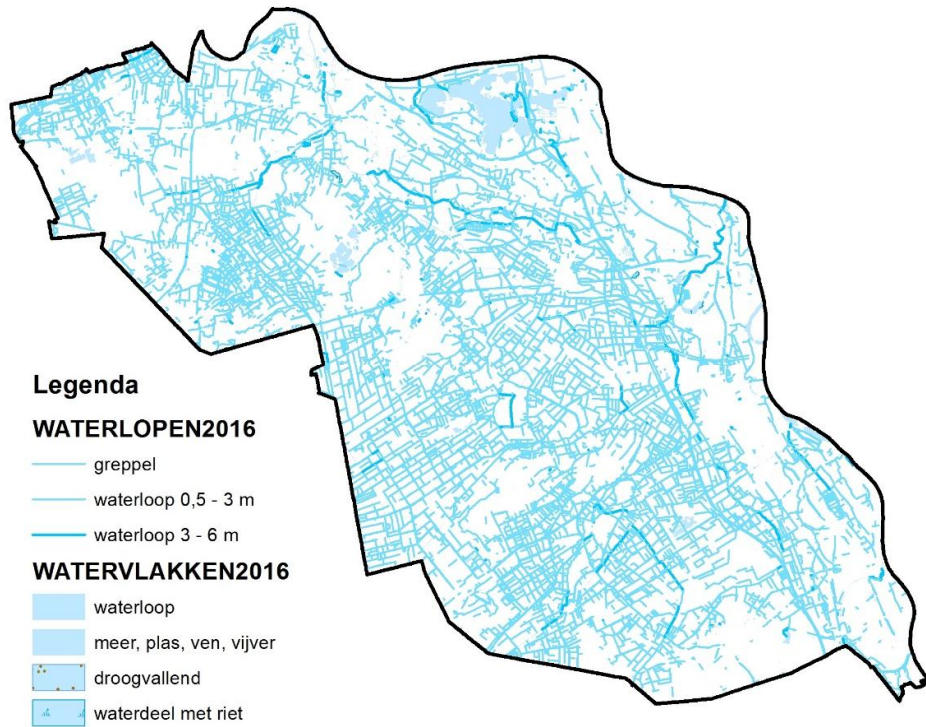


Figuur 12.5: Landgebruik volgens LHM

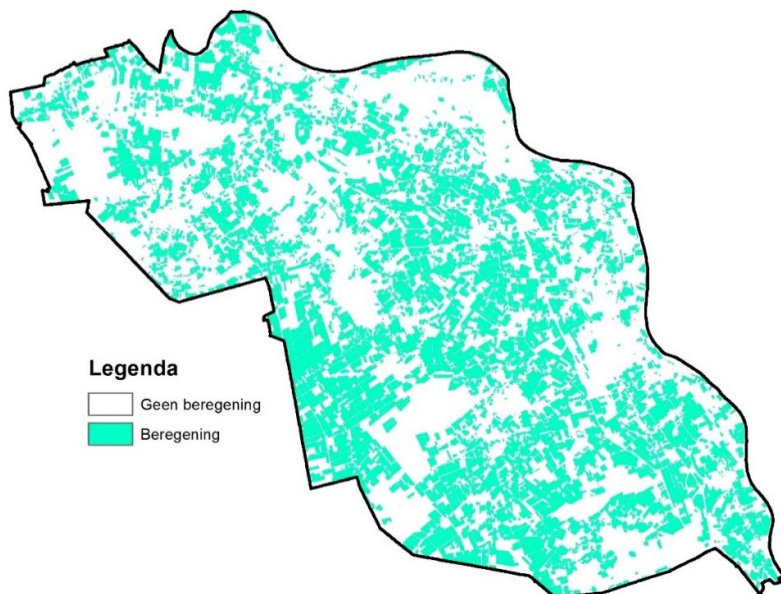
12.1.6 Waterhuishouding

In Figuur 12.6 is het oppervlaktewater volgens TOP10NL weergegeven. Berekening is in sommige gebieden mogelijk vanuit oppervlaktewater, meestal vindt berekening plaats vanuit grondwater. Massop et al., 2013 geeft een kaart met de berekening op basis van de metingen uit 2010 (Figuur 12.7). In het pilotgebied wordt een aanzienlijk deel berekend.

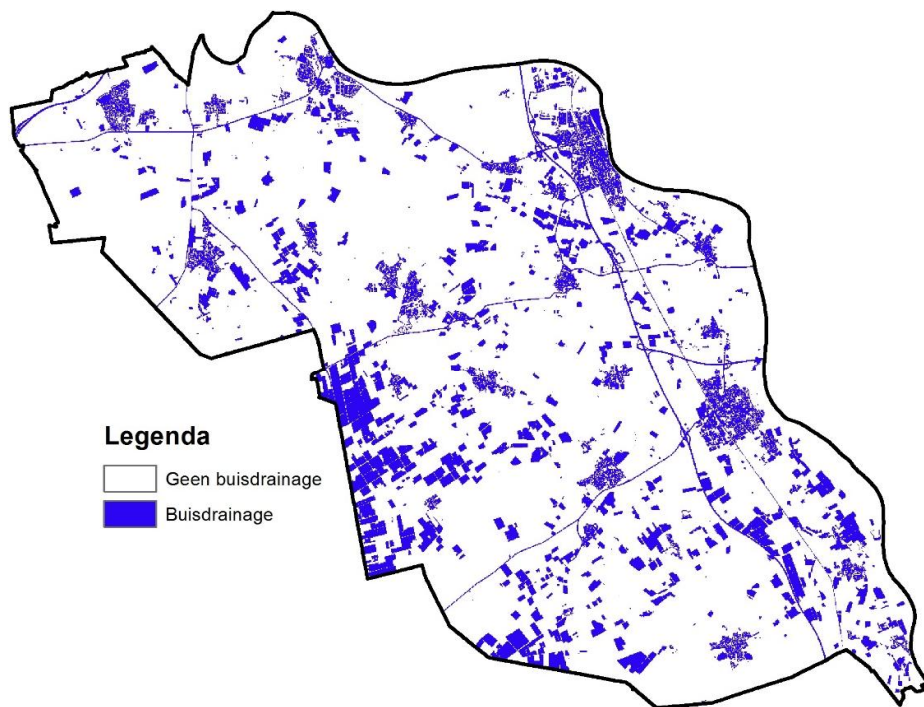
Massop en Schuiling, 2016 hebben eveneens op basis van de metingen van 2012 de buisdrainage in kaart gebracht, deze kaart is recent geupdate op basis van gebiedsinformatie van waterschap Aa en Maas. In Figuur 12.8 is de kaart weergegeven.



Figuur 12.6: Oppervlaktewater binnen het Raamgebied



Figuur 12.7: Berekening binnen het Raamgebied



Figuur 12.8:: Buisdrainage binnen het Raamgebied.

12.2 Aantal modelbedrijven per deelgebieden

| Deelgebied | Aantal modelbedrijven | Aantalgrids | Opp_ha | Gem_bedr_opp |
|------------|-----------------------|-------------|---------|--------------|
| 1 | 35 | 141 | 881.25 | 25.18 |
| 2 | 32 | 127 | 793.75 | 24.80 |
| 3 | 53 | 170 | 1062.5 | 20.05 |
| 4 | 22 | 74 | 462.5 | 21.02 |
| 5 | 15 | 53 | 331.25 | 22.08 |
| 6 | 37 | 144 | 900 | 24.32 |
| 7 | 42 | 164 | 1025 | 24.40 |
| 8 | 21 | 99 | 618.75 | 29.46 |
| 9 | 85 | 287 | 1793.75 | 21.10 |
| 10 | 40 | 122 | 762.5 | 19.06 |
| 11 | 11 | 36 | 225 | 20.45 |
| 12 | 68 | 216 | 1350 | 19.85 |
| 13 | 50 | 160 | 1000 | 20.00 |
| 14 | 18 | 62 | 387.5 | 21.53 |
| 15 | 58 | 188 | 1175 | 20.26 |
| 16 | 19 | 77 | 481.25 | 25.33 |
| 17 | 63 | 197 | 1231.25 | 19.54 |
| 18 | 15 | 53 | 331.25 | 22.08 |
| 19 | 29 | 108 | 675 | 23.28 |
| 20 | 19 | 76 | 475 | 25.00 |
| 21 | 71 | 226 | 1412.5 | 19.89 |

| | | | | |
|--------|------|------|----------|-------|
| 22 | 35 | 112 | 700 | 20.00 |
| 23 | 55 | 188 | 1175 | 21.36 |
| 24 | 37 | 129 | 806.25 | 21.79 |
| 25 | 20 | 77 | 481.25 | 24.06 |
| 26 | 29 | 142 | 887.5 | 30.60 |
| 101 | 50 | 165 | 1031.25 | 20.63 |
| 102 | 57 | 181 | 1131.25 | 19.85 |
| 201 | 4 | 14 | 87.5 | 21.88 |
| 202 | 12 | 42 | 262.5 | 21.88 |
| 301 | 6 | 33 | 206.25 | 34.38 |
| 302 | 9 | 27 | 168.75 | 18.75 |
| 303 | 4 | 11 | 68.75 | 17.19 |
| 304 | 1 | 2 | 12.5 | 12.50 |
| 305 | 8 | 26 | 162.5 | 20.31 |
| Totaal | 1130 | 3929 | 24556.25 | 21.73 |

12.3 Berekening (mcC15-16)

| Deelgebied | Regioscanner | | | Modelberekening | | |
|------------|--------------|----------------------------|-----------------------|-----------------|------------|------------|
| | Referentie | Waterverbruik MC15/MC16 | Toename MC15/.MC16 | Referentie LHM | Referentie | Berekening |
| | m3/jaar | m3/jaar | m3/jaar | m3/jaar | m3/jaar | m3/jaar |
| 1 | 307591 | 890015 | 582424 | 365445 | 117965 | 186891 |
| 2 | 136612 | 493357 | 356746 | 224311 | 95443 | 207801 |
| 3 | 251986 | 746791 | 494806 | 173383 | 99699 | 250480 |
| 4 | 171570 | 521899 | 350329 | 66354 | 139549 | 284536 |
| 5 | 65474 | 265137 | 199663 | 310240 | 35340 | 67159 |
| 6 | 251599 | 661880 | 410281 | 138676 | 74302 | 102312 |
| 7 | 317274 | 863502 | 546228 | 273542 | 157674 | 286731 |
| 8 | 64466 | 249461 | 184995 | 237865 | 12788 | 14150 |
| 9 | 369370 | 967929 | 598559 | 255698 | 29534 | 63384 |
| 10 | 139718 | 359201 | 219483 | 66354 | 12758 | 28774 |
| 11 | 37802 | 86744 | 48941 | 61302 | 4854 | 5240 |
| 12 | 317524 | 677979 | 360455 | 256244 | 87264 | 103684 |
| 13 | 163996 | 475094 | 311098 | 274892 | 17700 | 40028 |
| 14 | 40625 | 143317 | 102692 | 28594 | 2992 | 3839 |
| 15 | 270258 | 933391 | 663133 | 107033 | 90493 | 171865 |
| 16 | 59476 | 182919 | 123443 | 326390 | 5254 | 8535 |
| 17 | 267339 | 668481 | 401142 | 34115 | 110719 | 132327 |
| 18 | 77016 | 275189 | 198173 | 167431 | 29587 | 41221 |
| 19 | 220951 | 635352 | 414401 | 19844 | 93470 | 153445 |
| 20 | 121270 | 373163 | 251893 | 38437 | 63400 | 89210 |
| 21 | 407056 | 1074084 | 667027 | 143594 | 110521 | 192559 |
| 22 | 153881 | 396354 | 242473 | 377984 | 28006 | 36758 |
| 23 | 392843 | 1271973 | 879131 | 78594 | 164504 | 244527 |
| 24 | 208619 | 554909 | 346290 | 412396 | 70094 | 95491 |
| 25 | 128175 | 472672 | 344496 | 41927 | 90573 | 149516 |
| 26 | 380645 | 744352 | 363707 | 323892 | 182688 | 218465 |
| 101 | 244355 | 801116 | 556762 | 208386 | 76186 | 108967 |
| 102 | 363870 | 1159650 | 795779 | 118698 | 215783 | 390143 |
| 201 | 28226 | 156949 | 128723 | 156823 | 7059 | 33335 |
| 202 | 105376 | 234737 | 129361 | 390885 | 37697 | 73516 |
| 301 | 19204 | 98549 | 79346 | 123854 | 8941 | 11025 |
| 302 | 66381 | 136393 | 70012 | 401250 | 57342 | 67943 |
| 303 | 24042 | 36216 | 12174 | 68594 | 21836 | 22144 |
| 304 | 5242 | 12622 | 7380 | 14896 | 2578 | 2578 |
| 305 | 34073 | 202206 | 168134 | 5417 | 19884 | 33723 |

12.4 Regelbare drainage met berekening (mc25 en 26)

| Waternverbruik Deelgebied | Regioscanner | | | Modelberekening | |
|------------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Referentie | Waternverbruik MC25/MC26 | Toename MC25/MC26 | Referentie | Berekening |
| | m ³ /jaar | m ³ /jaar | m ³ /jaar | m ³ /jaar | m ³ /jaar |
| 1 | 307591 | 462580 | 213900 | 117965 | 117965 |
| 2 | 136612 | 327204 | 190592 | 95443 | 95443 |
| 3 | 251986 | 474594 | 222608 | 99699 | 99699 |
| 4 | 171570 | 421634 | 250064 | 139549 | 139549 |
| 5 | 65474 | 180455 | 114981 | 35340 | 35340 |
| 6 | 251599 | 242703 | -8896 | 74302 | 74302 |
| 7 | 317274 | 385348 | 68074 | 157674 | 157674 |
| 8 | 64466 | 74737 | 10271 | 12788 | 12788 |
| 9 | 369370 | 441466 | 72096 | 29534 | 29534 |
| 10 | 139718 | 208401 | 68684 | 12758 | 12758 |
| 11 | 37802 | 34915 | -2888 | 4854 | 4854 |
| 12 | 317524 | 317790 | 266 | 87264 | 87264 |
| 13 | 163996 | 241160 | 77164 | 17700 | 17700 |
| 14 | 40625 | 81217 | 40592 | 2992 | 2992 |
| 15 | 270258 | 601030 | 330772 | 90493 | 90493 |
| 16 | 59476 | 41626 | -17850 | 5254 | 5254 |
| 17 | 267339 | 296202 | 28863 | 110719 | 110719 |
| 18 | 77016 | 152383 | 75367 | 29587 | 29587 |
| 19 | 220951 | 305517 | 92731 | 93470 | 93470 |
| 20 | 121270 | 253439 | 132169 | 63400 | 63400 |
| 21 | 407056 | 745209 | 338152 | 110521 | 110521 |
| 22 | 153881 | 218592 | 64711 | 28006 | 28006 |
| 23 | 392843 | 947105 | 554262 | 164504 | 164504 |
| 24 | 208619 | 317104 | 108486 | 70094 | 70015 |
| 25 | 128175 | 373505 | 245329 | 90573 | 90573 |
| 26 | 380645 | 482884 | 102239 | 182688 | 182688 |
| 101 | 244355 | 160534 | 115020 | 76186 | 76186 |
| 102 | 363870 | 953138 | 589419 | 215783 | 215783 |
| 201 | 28226 | 87519 | 59293 | 7059 | 7059 |
| 202 | 105376 | 165042 | 59666 | 37697 | 37697 |
| 301 | 19204 | 35406 | 16203 | 8941 | 8941 |
| 302 | 66381 | 119430 | 53049 | 57342 | 57342 |
| 303 | 24042 | 26341 | 2298 | 21836 | 21836 |
| 304 | 5242 | 7651 | 2409 | 2578 | 2578 |
| 305 | 34073 | 169420 | 135347 | 19884 | 19884 |
| Totaal | 6213905 | 10353281 | 4405444 | 2374475 | 2374397 |

12.5 Regelbare drainage met subinfiltratie (mc13 en 14)

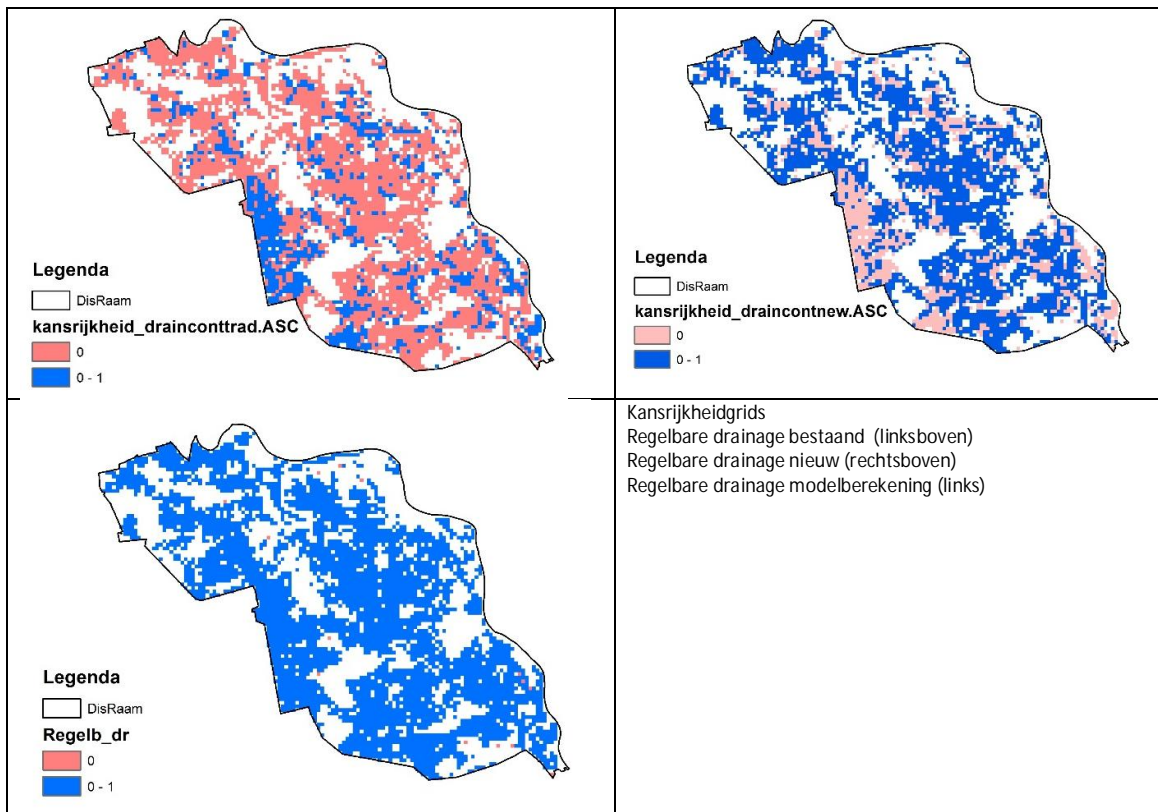
| Deelgebied | Regioscan | | | | Modelberekening | | |
|------------|------------|----------------|-----------|-----------|-----------------|------------|--------------------------------------|
| | Referentie | Waternverbruik | | Toename | | Referentie | Regelbare drainage en subinfiltratie |
| | m3/jaar | MC13/MC14 | MC15/MC16 | MC13/MC14 | MC15/MC16 | m3/jaar | m3/jaar |
| 1 | 307591 | | 0 | | -307591 | 117965 | 116433 |
| 2 | 136612 | | 0 | | -136612 | 95443 | 91996 |
| 3 | 251986 | | 0 | | -251986 | 99699 | 96358 |
| 4 | 171570 | | 0 | | -171570 | 139549 | 138326 |
| 5 | 65474 | | 0 | | -65474 | 35340 | 34268 |
| 6 | 251599 | | 0 | | -251599 | 74302 | 73770 |
| 7 | 317274 | | 0 | | -317274 | 157674 | 155929 |
| 8 | 64466 | | 0 | | -64466 | 12788 | 12570 |
| 9 | 369370 | | 0 | | -369370 | 29534 | 28472 |
| 10 | 139718 | | 0 | | -139718 | 12758 | 12373 |
| 11 | 37802 | | 0 | | -37802 | 4854 | 4704 |
| 12 | 317524 | | 0 | | -317524 | 87264 | 84749 |
| 13 | 163996 | | 0 | | -163996 | 17700 | 17395 |
| 14 | 40625 | | 0 | | -40625 | 2992 | 2836 |
| 15 | 270258 | | 0 | | -270258 | 90493 | 88839 |
| 16 | 59476 | | 0 | | -59476 | 5254 | 5254 |
| 17 | 267339 | | 0 | | -267339 | 110719 | 108721 |
| 18 | 77016 | | 0 | | -77016 | 29587 | 29049 |
| 19 | 220951 | | 0 | | -220951 | 93470 | 92699 |
| 20 | 121270 | | 0 | | -121270 | 63400 | 62715 |
| 21 | 407056 | | 0 | | -407056 | 110521 | 107741 |
| 22 | 153881 | | 0 | | -153881 | 28006 | 27636 |
| 23 | 392843 | | 0 | | -392843 | 164504 | 158861 |
| 24 | 208619 | | 0 | | -208619 | 70094 | 67636 |
| 25 | 128175 | | 0 | | -128175 | 90573 | 88647 |
| 26 | 380645 | | 0 | | -380645 | 182688 | 180536 |
| 101 | 244355 | | 0 | | -244355 | 76186 | 75658 |
| 102 | 363870 | | 0 | | -363870 | 215783 | 214576 |
| 201 | 28226 | | 0 | | -28226 | 7059 | 7059 |
| 202 | 105376 | | 0 | | -105376 | 37697 | 37229 |
| 301 | 19204 | | 0 | | -19204 | 8941 | 8654 |
| 302 | 66381 | | 0 | | -66381 | 57342 | 57185 |
| 303 | 24042 | | 0 | | -24042 | 21836 | 21836 |
| 304 | 5242 | | 0 | | -5242 | 2578 | 2578 |
| 305 | 34073 | | 0 | | -34073 | 19884 | 19884 |
| Totaal | 6213905 | | 0 | | -6213905 | 2374475 | 2333173 |

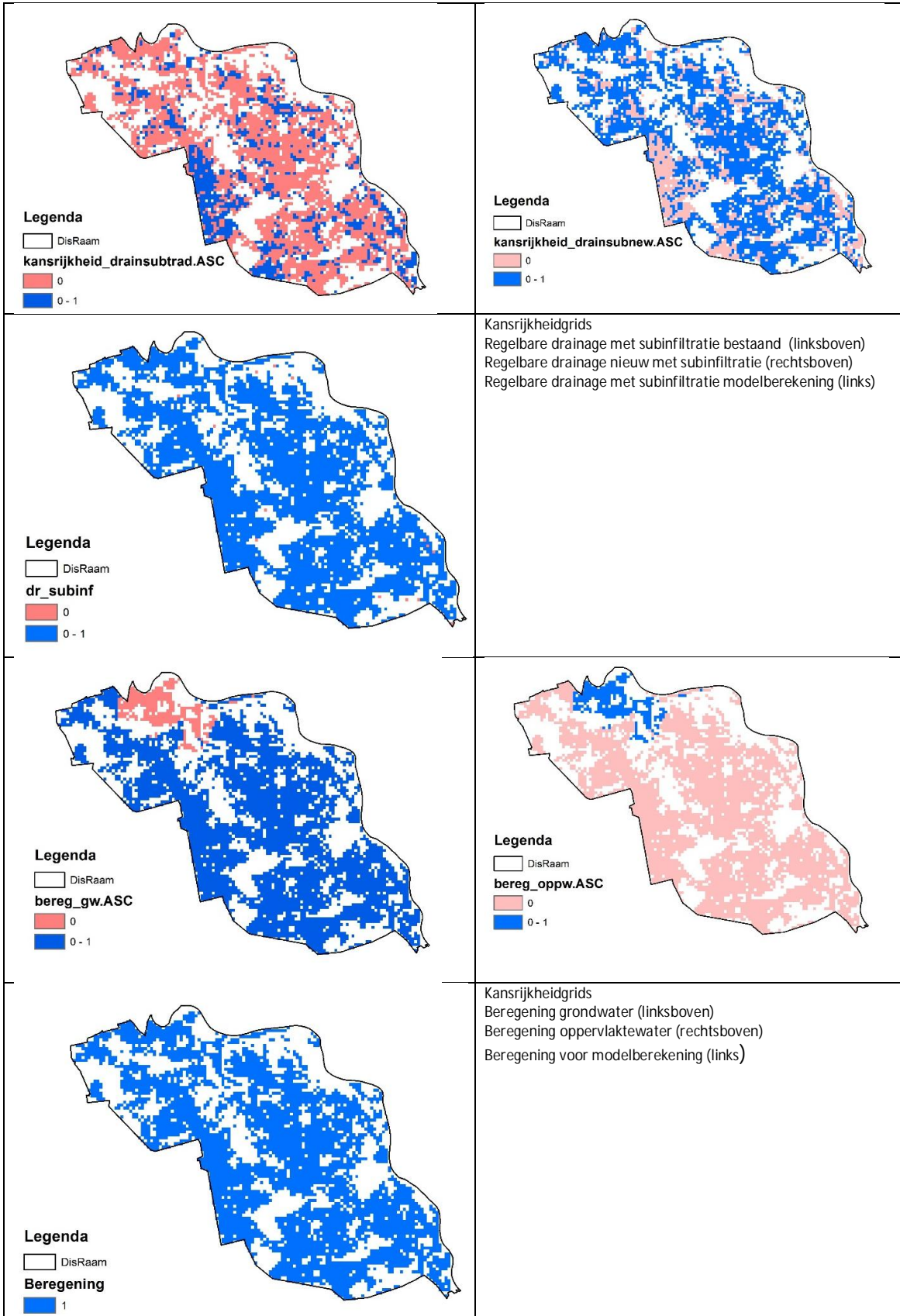
12.6 Druppelirrigatie (mc23 en 24)

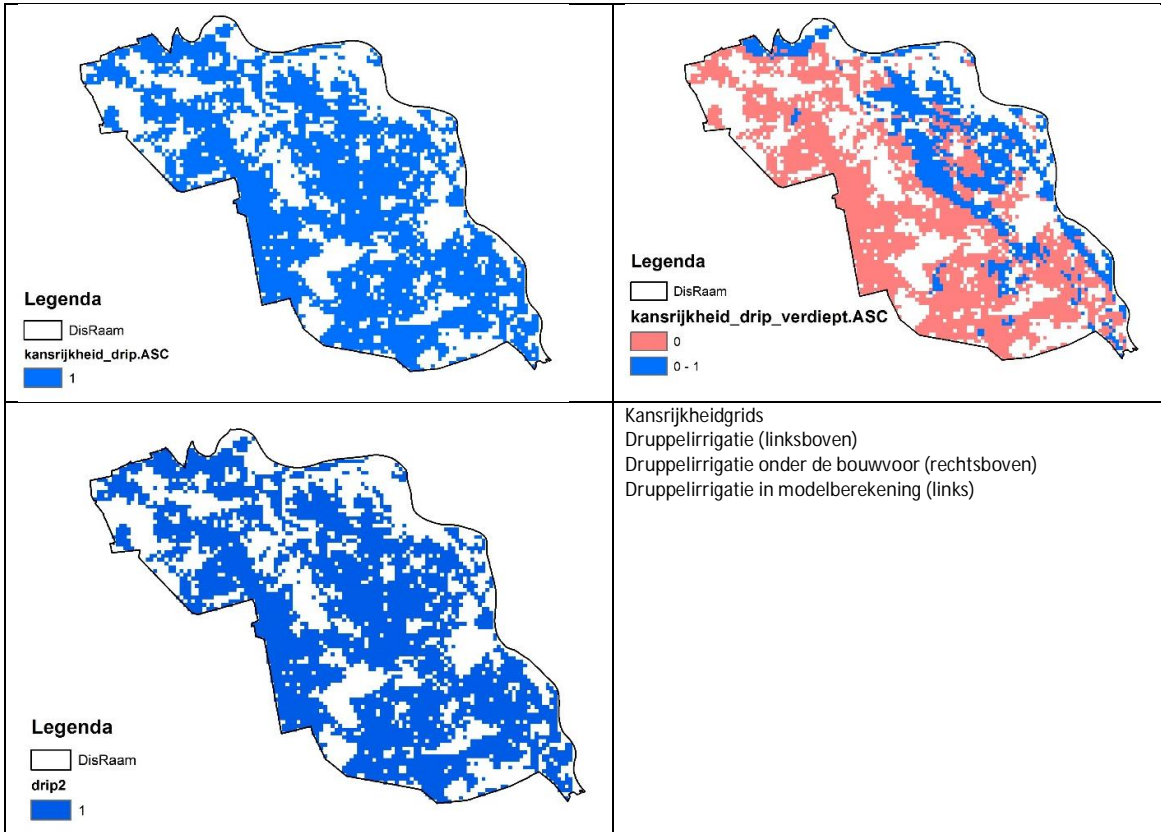
| Deelgebied | Regioscan | | |
|------------|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | Referentie m3/jaar | Waterverbruik MC23/MC24 m3/jaar | Toename MC23/MC24 m3MC24m3/jaar |
| 1 | 307591 | 276648 | -30943 |
| 2 | 136612 | 143626 | 7014 |
| 3 | 251986 | 207442 | -44544 |
| 4 | 171570 | 144972 | -26598 |
| 5 | 65474 | 78448 | 12974 |
| 6 | 251599 | 265553 | 13954 |
| 7 | 317274 | 357931 | 40657 |
| 8 | 64466 | 94529 | 30063 |
| 9 | 369370 | 372187 | 2817 |
| 10 | 139718 | 115266 | -24452 |
| 11 | 37802 | 31303 | -6499 |
| 12 | 317524 | 192177 | -125347 |
| 13 | 163996 | 165957 | 1961 |
| 14 | 40625 | 49893 | 9268 |
| 15 | 270258 | 280518 | 10260 |
| 16 | 59476 | 50811 | -8665 |
| 17 | 267339 | 185689 | -81649 |
| 18 | 77016 | 76441 | -575 |
| 19 | 220951 | 264730 | 43779 |
| 20 | 121270 | 155485 | 34214 |
| 21 | 407056 | 338341 | -68715 |
| 22 | 153881 | 149606 | -4274 |
| 23 | 392843 | 428306 | 35463 |
| 24 | 208619 | 197762 | -10857 |
| 25 | 128175 | 139801 | 11625 |
| 26 | 380645 | 278578 | -102067 |
| 101 | 244355 | 266753 | 22398 |
| 102 | 363870 | 323530 | -40340 |
| 201 | 28226 | 43597 | 15371 |
| 202 | 105376 | 97807 | -7569 |
| 301 | 19204 | 41062 | 21859 |
| 302 | 66381 | 43333 | -23048 |
| 303 | 24042 | 12563 | -11479 |
| 304 | 5242 | 5259 | 17 |
| 305 | 34073 | 75146 | 41074 |
| Totaal | 6213905 | 5951052 | -262853 |

12.7 Kansrijkheidgrids

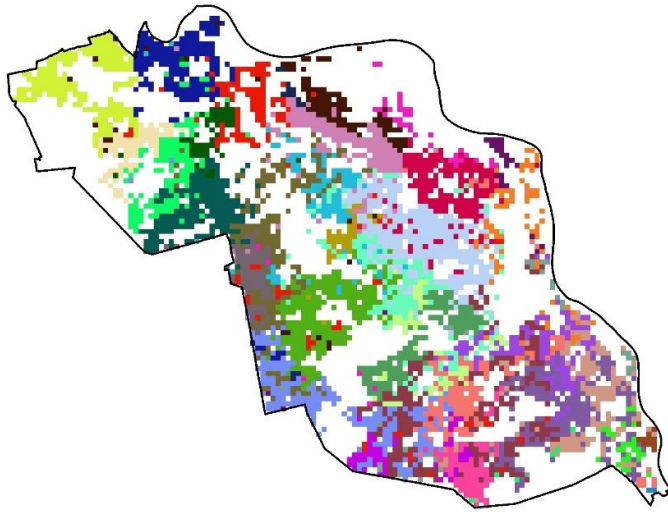
| MC | Description | LongDescription | Measures | MeasureCombinationType | Kansrijkheidgrid |
|----|--|--|--|------------------------|--------------------------------|
| 11 | Regelbare drainage nieuw | Regelbare drainage - nieuw aangelegd | Regelbare drainage nieuw | Opslag&toediening | kansrijkheid_draincontnew.IDF |
| 12 | Regelbare drainage bestaand | Regelbare drainage waar al drainage aanwezig | Regelbare drainage bestaand | Opslag&toediening | kansrijkheid_draincontrad.IDF |
| 13 | Regelbare drainage subinfiltratie nieuw | Regelbare drainage subinfiltratie nieuw | Regelbare drainage subinfiltratie nieuw | Opslag&toediening | kansrijkheid_drainsubnew.IDF |
| 14 | Regelbare drainage subinfiltratie bestaand | Regelbare drainage met subinfiltratie bij bestaande drainage | Regelbare drainage subinfiltratie bestaand | Opslag&toediening | kansrijkheid_drainsubtrad.IDF |
| 15 | Reguliere beregning grondwater | Reguliere beregning grondwater | Reguliere beregning grondwater | Reguliere beregning | bereg_gw.IDF |
| 16 | Reguliere beregning oppervlaktewater | Reguliere beregning oppervlaktewater | Reguliere beregning oppervlaktewater | Reguliere beregning | bereg_oppw.IDF |
| 23 | Druppelirrigatie oppervlakte | Druppelirrigatie aan de oppervlakte | Druppelirrigatie oppervlakte | Toediening | kansrijkheid_drip.IDF |
| 24 | Druppelirrigatie verdiept | Druppelirrigatie onder de ploegzool aangebracht | Druppelirrigatie onder ploegniveau | Toediening | kansrijkheid_drip_verdiept.IDF |







12.8 Deelgebieden



Legenda

