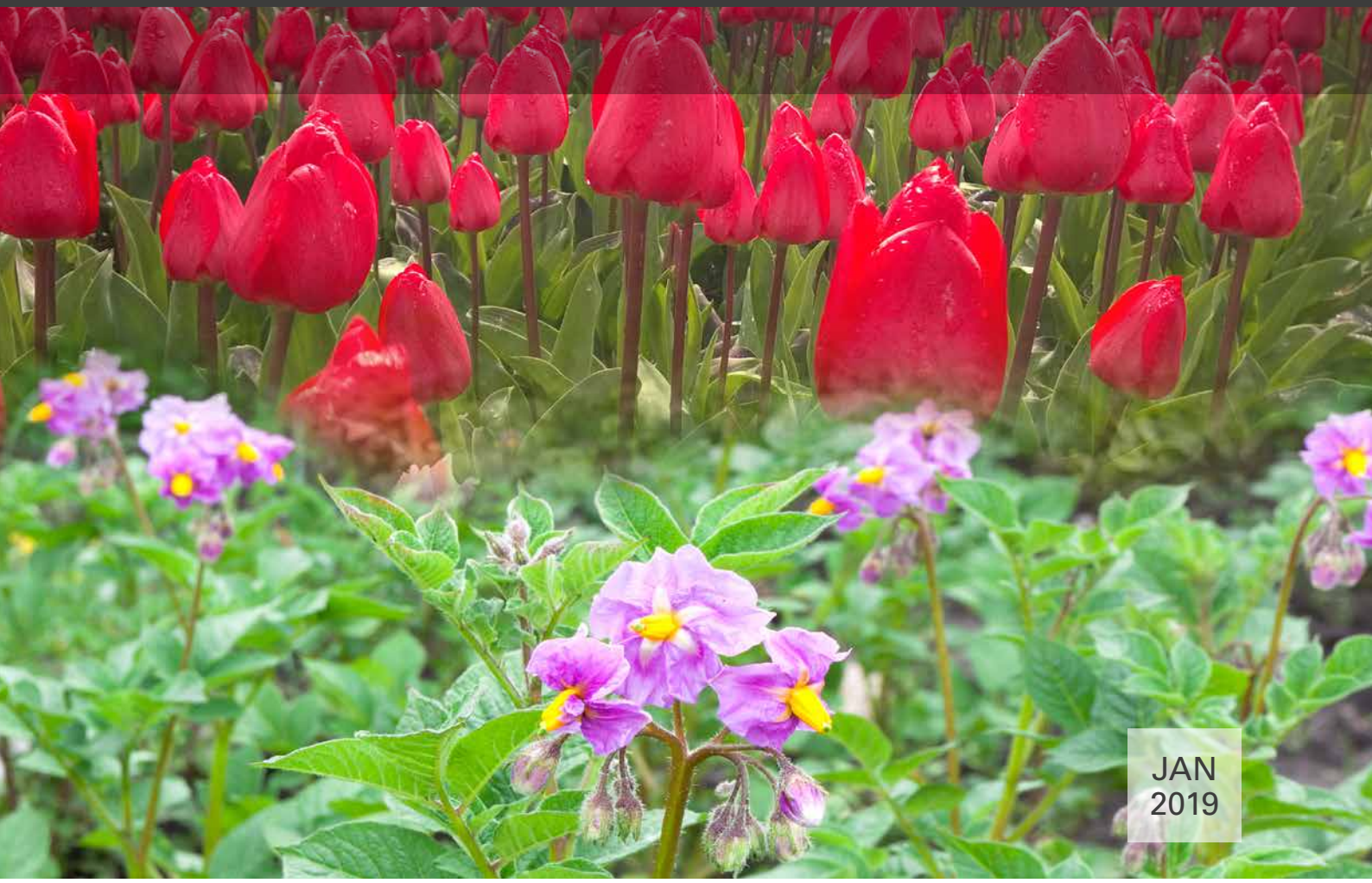
SPAARWATER

Rendabel en duurzaam agrarisch watergebruik en waterbeheer in de verziltende Waddenregio

Hoofdrapport 2016-2018



JAN
2019

SPAARWATER

INHOUD

1

2

Samenvatting 6

Waarom Spaarwater? 13

1.1 Belang zoetwater voor landbouw 13

1.2 Zoetwater & beleid 14

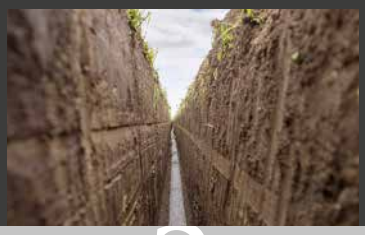
1.3 Wat is Spaarwater? 14

1.4 Leeswijzer 15

Verzilting en wateraanvoer 17

2.1 Externe zoetwateraanvoer 17

2.2 Interne verzilting 18



3

Anti-verziltingsdrainage ... 24

3.1 Verzilting en zoetwaterlens ... 24

3.2 Versterken van zoetwater-lenzen met drainage ... 25

3.3 Effecten van anti-verziltingsdrainage ... 26

3.4 Anti-verziltingsdrainage in het projectgebied ... 30

3.5 Anti-verziltingsdrainage in praktijk ... 31

4

Eigen watervoorziening ... 34

4.1 Afhankelijk van externe zoetwateraanvoer ... 34

4.2 Zelfvoorzienend met eigen watervoorziening ... 35

4.3 Effecten van een eigen watervoorziening ... 38

4.4 Eigen watervoorziening in de Waddenregio ... 41

4.5 Doorontwikkeling en schaalvoordeel ... 42

4.6 Vergunningverlening ... 43

5

Zuinig met zoetwater ... 45

5.1 Inleiding ... 45

5.2 Zuinig omgaan met zoetwater ... 45

5.3 Effecten van zuinig met zoetwater ... 46

5.4 Zuinig met zoetwater in de Waddenregio ... 52

5.5 Zuinig met zoetwater in praktijk ... 52

INHOUD

6 7 8

Spaarwater in de polder ... 56

6.1 Opschalen: van perceel naar polder ... 56

6.2 Zoetwatervoorziening ... 57

6.4 Alternatieve waterbeheersmaatregelen ... 59

6.5 Spaarwaterbeheer ... 61

Economie en beleid ... 64

7.1 Inleiding ... 64

7.2 Kosten en baten eigen watervoorziening op bedrijfsniveau ... 65

7.3 Resultaten kosten-baten eigen watervoorziening op bedrijfsniveau ... 68

7.4 Kosten baten anti-verziltingsdrainage op bedrijfsniveau ... 70

7.5 Kosten en baten zuinig met zoetwater op bedrijfsniveau ... 72

7.6 Kosten en baten voor de waterbeheerder ... 73

De polder van 2100 ... 77

Referenties 80

COLOFON

Hoofdrapport 2016-2018 Spaarwater

Dit hoofdrapport vat de resultaten samen van de volgende technische achtergrondrapportages:

- Versterken zoetwaterlens: Antiverziltingsdrainage
- Eigen watervoorziening: Ondergrondse opslag perceelseigen water
- Zuinig met zoetwater: Druppel- en subirrigatie
- Spaarwater in de polder: Effecten op polderniveau
- Economische haalbaarheid: Kosten- batenanalyse

Citeren als:
Acacia Water, 2019. Spaarwater. Rendabel en duurzaam agrarisch watergebruik en waterbeheer in de verziltende waddenregio.

Contactpersoon voor meer informatie:
Jouke Velstra

Vormgeving en opmaak:
Pencilpoint.
CREATIEF IN VORM & INHOUD

SAMENVATTING

Zoetwater voor de landbouw is in de Waddenregio beschikbaar dankzij zoetwaterlenzen in percelen en, met uitzondering van de Waddeneilanden, externe zoetwateraanvoer. Door veranderingen in de externe aanvoer en toenemende interne verzilting in percelen en sloten staat de beschikbaarheid van zoet water in de Waddenregio onder druk, ook in de toekomst.

Het project Spaarwater richt zich sinds 2013 op het veiligstellen van de zoetwaterbronnen door het aanbod van zoetwater te vergroten en de zoetwatervraag te verkleinen. Dat gebeurt met Spaarwatermaatregelen: anti-verziltingsdrainage, eigen watervoorziening en zuinig met zoetwater. De effecten, toepasbaarheid en kansrijkheid van deze maatregelen en in hoeverre zij bijdragen aan de doelen van de Kader Richtlijn Water (KRW) zijn onderzocht in het Spaarwaterproject op vier pilotlocaties (Breezand, Herbaijum, Hornhuizen en Borgsweer). De economische en waterhuishoudkundige effecten op regionale schaal zijn onderzocht in drie poldergebieden (Oostpolder, Oude Bildtpollen en Noorderleegpolder en Negenboerenpolder).

Met het oog op toekomstige veranderingen in wateraanvoer en toenemende interne verzilting, is het klimaatbestendig maken van de Waddenregio een grote opgave voor het waterschap, de provincie en de agrariër. De innovaties van Spaarwater leveren een belangrijke bijdrage aan de zekerstelling van zoetwaterbronnen en het verkleinen van de risico's op verzilting. Een bijkomend positief effect is verlaging van de emissie van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen naar de sloot. De Spaarwatermaatregelen dragen daarmee bij aan de KRW-doelen. De belangrijkste volgende stap is het verder opschalen, doorontwikkelen van ondergrondse

opslag en druppelirrigatie en het realiseren van demonstratie locaties van de verschillende Spaarwater-maatregelen, zoals voor antiverziltingsdrainage. Toepassing op grotere schaal versterkt de effecten en verlaagd de kosten, waardoor maatregelen economische rendabel zijn of kunnen worden.
Agrariër en waterbeheerder halen beide voordelen uit het implementeren van Spaarwater. Het voorkómen van droogteschade en zoutschade, extra gewasopbrengsten en de verminderde kans op gewasziektes zijn voor de agrariër de belangrijkste effecten. Voor de waterbeheerder ontstaat de mogelijkheid om het waterbeheer slimmer in te richten en de waterkwaliteit te verbeteren.

Verziltingsrisico en zoetwateraanvoer

Uit onderzoek binnen Spaarwater blijkt dat er al gebieden zijn waar sprake is van verzilting in percelen. De verwachting is dat het verziltingsrisico in de toekomst toeneemt als gevolg van klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling. Deze gebieden zijn voor de hele Waddenregio in beeld gebracht met verziltingsrisicokaarten voor sloot en perceel. De kaart geeft voor de huidige situatie én voor 2050 het verziltingsrisico. Waarbij geldt dat hoe dunner de zoetwaterlens, hoe ondieper de overgang zoet-zout in de ondergrond en hoe groter de kans op interne verzilting. De manier van aanleggen van drainage is echter ook van invloed op de zoetwaterlens en kan verzilting doen toenemen, bijvoorbeeld door tussendraineren.

Het vergroten van de zelfvoorzienendheid van een agrariër is van belang omdat de zoetwatervoorziening in de toekomst verder onder druk komt te staan. Bodemdaling, zeespiegelstijging en klimaatverandering zorgen voor een hogere kweldruk. Daarom is in de toekomst meer externe aanvoer van water nodig voor het behoud van dezelfde waterkwaliteit in de sloot. In de Oostpolder, in de kop van Noord Holland bijvoorbeeld, blijkt uit berekeningen dat bij een geringe kweltoename van 1mm/d naar 1.5mm/d in de zomerperiode ruim 50% meer inlaatwater voor doorspoelen nodig is om de huidige streefwaarde voor chloride te handhaven.

> Sloten en het slootpeil zijn beperkt van invloed op de zoetwaterlens. Drainage is van grote invloed op de dikte van de zoetwaterlens.

Anti-verziltingsdrainage

Binnen Spaarwater is antiverziltingsdrainage ontwikkeld. Onderzocht zijn drie typen anti-verziltingsdrainage (zie Figuur 10); drainage met een verhoogd ontwateringsniveau (type A), verdiept aangelegde drainage met een regulier ontwateringsniveau (type B) en combinatie van A en B, verdiepte aanleg met verhoogd ontwateringsniveau (type C). Ze zijn succesvol in het bestrijden van verzilting door zoetwaterlenzen in het perceel te versterken. Het aanleg- en ontwateringsniveau en de afstand tussen drainagebuizen wordt bij deze methodiek afgestemd op de hydrologische omstandigheden van het perceel. Fysische kenmerken zoals de bodemopbouw, doorlatendheid, kweldruk, drainafstand en de mate van drooglegging zijn bepalend voor de geschiktheid en effectiviteit van het type anti-verziltingsdrainage. De techniek blijkt toepasbaar en kansrijk in de meeste gebieden waar nu of in de toekomst sprake is van verzilting (zie kansenkaart Figuur 17).

De drie typen anti-verziltingsdrainage van Spaarwater (A, B en C) leiden tot een toename van de zoetwatervoorraad door vergroting van de zoetwaterlens en creatie van een zoetwaterbuffer boven de drains. Deze typen anti-verziltingsdrainage leiden tevens tot een vermindering van de zoutbelasting en nutriëntenuitstroom naar de sloot. Op zowel klei- als zandpercelen is bij juiste toepassing van anti-verziltingsdrainage de ontwatering in het perceel gehandhaafd. Bij zandpercelen, zoals in de pilot Hornhuizen, blijft de ontwatering gehandhaafd, zelfs wanneer gedurende het hele jaar een verhoogd ontwateringniveau wordt gehanteerd.

Bij een vierde type drainage, type D, wordt de drainage verdiept aangelegd waarbij het ontwateringsniveau ook lager komt te liggen. De zout kwel wordt dan afgevangen, waardoor verzilting tot aan de wortels wordt voorkomen. De gewassen zijn dan volledig afhankelijk van het water in de onverzadigde zone. Deze techniek is binnen Spaarwater niet verder onderzocht, omdat het de dikte van de zoetwaterlens en daarmee de zoetwatervoorraad verkleint en de zoutbelasting naar de sloot kan toenemen.

Een eenvoudige en daarmee minst ingrijpende vorm van anti-verziltingsdrainage is type A. Deze kan worden aangelegd door bij bestaande drainage een verhoogd ontwate-

ringsniveau te realiseren. Uiteraard kan dit ook met nieuwe drainage worden gerealiseerd. Het toepassen van deze type anti-verziltingsdrainage vergroot de zoetwatervoorraad in vrijwel alle gebieden waar er sprake is van verzilting. Verdiepte aanleg van drains gecombineerd met een verhoogd ontwateringsniveau (type C) vergroot niet alleen de zoetwaterlens tussen de drains maar voorkomt ook verzilting ter plaatse van de drains. Er ontstaat dan een grotere zoetwaterbuffer over het hele perceel dan bij type A.

Anti-verziltingsdrainage draagt op twee manieren bij aan het verminderen van de uitstroom van nutriënten. Ten eerste door peilopzet en vasthouden van regenwater waardoor de afvoerhoeveelheden kleiner zijn. Bij een gelijkblijvende concentratie neemt dan de nutriëntenvracht uitgedrukt kg af. In de zomermaanden valt het op dat er bij gebruik van anti-verziltingsdrainage vrijwel geen drainagewater wordt afgevoerd en het zoete regenwater in het perceel wordt vastgehouden. Dit leidt tot een verlaging van de totale vracht van zout en nutriënten naar de sloot in de zomer.

Een verdere afname van de nutrientenbelasting wordt bereikt bij verdiepte aanleg van drainage. Analyses van de waterkwaliteit van drainagewater laten zien dat bij verdiepte aanleg en verhoogd ontwateringsniveau op een zandperceel een reductie van chloride en anorganische stikstof tot 55% mogelijk is. Door een verhoogd ontwateringsniveau is een afname van anorganische fosfor van bijna 40% mogelijk. Ten tweede blijkt dat met anti-verziltingsdrainage wordt voorkomen dat er in de zomer drainagewater wordt afgevoerd, doordat zoet regenwater in het perceel wordt vastgehouden. Dit leidt tot een verdere verlaging van de totale vracht van zout en nutriënten naar de sloot. Anti-verziltingsdrainage levert hiermee een belangrijke bijdrage aan KRW-doelstellingen en kan daarom gezien worden als een KRW-maatregel.
Op polderschaal is berekend dat implementatie van anti-verziltingsdrainage in 50% van de Oude Bildtpollen en Noorderleegpolder, gelegen in Friesland, leidt tot een afname van het stikstofgehalte in het oppervlaktewater van 15% (2.2 tot 1.9 mg N/l) in de normperiode van belang voor de KRW (april tot en met september). Het effect van anti-verziltingsdrainage is dus genuanceerder ten opzichte van de winterperiode, waar een afname tot 36% mogelijk is (4.6 naar 2.9 mg N/l). Doordat in de zomer in de polder geen uitstroom vanuit percelen plaatsvindt, is de nutriëntenbelasting in deze periode te relateren aan directe belasting door kwel of instromende nutriënten uit andere polders.

> Antiverziltingsdrainage vergroot de zoetwaterlens en zoetwatervoorraad in een perceel en is kansrijk in het grootste deel van de Waddenregio

Eigen watervoorziening met ondergrondse opslag

Door een eigen watervoorziening in de vorm van ondergrondse opslag van zoetwater kan een agrariër volledig zelfvoorzienend worden. Het zoete water wordt middels drainage in het perceel opgevangen, vervolgens opgeslagen in de diepe ondergrond en beschikbaar gemaakt voor gebruik gedurende het groeiseizoen (zie Figuur 19). Een eigen watervoorziening bestaat uit een enkelvoudig of meervoudig systeem, dat water onttrekt uit respectievelijk dezelfde of afzonderlijke putten.

Het succes van ondergrondse opslag hangt samen met de mogelijkheid tot (A) het opvangen van voldoende zoetwater, (B) de mogelijkheid om het water op te slaan in de diepe ondergrond en (C) het water terug te winnen uit de ondergrond. Bovendien is het van belang om (D) de mate van waterbehoefte te bepalen, en of het rendement van de wateropslag hierop aansluit. De fractie van het opgeslagen water dat weer als zoetwater teruggewonnen kan worden uit de ondergrond heet het terugwinrendement.

Afhankelijk van de waterbehoefte kan ook bij een lager terugwinrendement in voldoende zoetwater worden voorzien. In nagenoeg het gehele projectgebied waar sprake is van verziltingsrisico is een terugwinrendement van meer dan 25% haalbaar en in een groot deel is een verwacht hoog rendement van zelfs meer dan 50% haalbaar (zie Figuur 28). Dit maakt de techniek kansrijk in het overgrote deel van het projectgebied (zie kansenkaart Figuur 28). Het terugwinrendement hangt

nauw samen met de concentratie opgeloste stoffen in het oorspronkelijke grondwater (TDS), de verticale doorlatendheid van het watervoerend pakket (Kz) en het jaarlijks geïnfiltreerd volume water (Q). Er is hiervoor een relatie afgeleidt om dit te bepalen.

Een ondergrondse opslag leidt tot minder uitstroom van zout, nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen via drainage naar het oppervlaktewater. In de pilot van het bollengebied Breezand is vastgesteld dat er een reductie van stikstof, chloride en fosfor van 80% mogelijk is. In Borgsweer is op klei een afname van 25-35% mogelijk van stikstof, fosfor en chloride. Ondergrondse opslag in 50% van de Oostpolder beperkt tevens de piekafvoer van drainwater uit percelen na neerslag en leidt tot een inlaatreductie van 11%, zonder negatieve gevolgen voor de waterkwaliteit.

Infiltratie en onttrekking van drainagewater in de ondergrond leidt bij een meervoudig systeem (infiltratie en onttrekking vindt gescheiden plaats) tot afbraak en vastlegging van op het perceel gebruikte gewasbeschermingsmiddelen (GBM's) door een bodempassage. Onderzoek naar gedrag en waterkwaliteitsveranderingen ten aanzien van GBM's, nutriënten en plant pathogene bacteriën laten zien dat risico's niet tot beperkt zijn, of zelfs afnemen bij het toepassen van ondergrondse opslag (zie paragraaf 4.3.2, 4.3.3 en 4.3.4). Voor plant pathogene bacterien zoals Bruinrot, is het besmettingsrisico verder geminimaliseerd doordat er geen contact is of gebruik wordt gemaakt van oppervlaktewater.

Ondergrondse opslag levert een belangrijke bijdrage aan de KRW-doelen om emissies naar grondwater en oppervlaktewater van stoffen zoals nutriënten en GBM's te verlagen

Een meervoudig systeem voor ondergrondse opslag, een innovatie binnen Spaarwater, kan een positieve bijdrage leveren aan het bestrijden van gewasziekten (bruinrot en Erwinia) in het irrigatiewater. Naast de belangrijke inzichten van Spaarwater, blijft onderzoek nodig naar bijvoorbeeld de lange termijneffecten van ondergrondse opslag.
In het door Spaarwater geïnitieerde AGRIMAR-promotieonderzoek (TU Delft, Wageningen Plant Research, Universiteit Utrecht, Acacia Water en Delphy) wordt verder onderzoek gedaan naar de waterkwaliteitsveranderingen tijdens ondergrondse opslag van water. Het doel van dit onderzoek is om de waterkwaliteitsveranderingen ten aanzien van pesticiden, nutriënten en plant pathogene bacteriën te identificeren, te begrijpen en uiteindelijk de kansen en risico's hiervan te bepalen. De afronding van het onderzoek zal naar verwachting eind 2021 zijn.

Er bestaat geen volledige aansluiting op bestaande wetgeving voor vergunningverlening voor ondergrondse opslag. Om de hiaten in de bestaande wetgeving en vergunningaanvraag te overbruggen is het aan te raden een risicobenadering op te (laten) nemen in de aanvraag (Figuur 30).

Zuinig met zoetwater

Watereffectieve irrigatiesystemen zoals druppelirrigatie en sub-irrigatie verkleinen de zoetwatervraag van een agrariër, doordat het waterverbruik wordt beperkt. Druppelirrigatie dient water en meststoffen gedoseerd toe aan de plant via slangen met druppelaars bovengronds of ondergronds (zie Figuur 31). Bij sub-irrigatie, ook wel drainage-irrigatie genoemd, krijgt het gewas water via bestaande drainage bij peilopzet. Het wel of niet kunnen toepassen van deze systemen (zie kansenkaarten Figuur 39, Figuur 40 en Figuur 41) en de efficiëntie van de systemen hangt af van het bodemtype, het landgebruik, de gemiddelde laagste grondwaterstand, en het ijzer- en zoutgehalte van irrigatiewater.

Watereffectiviteit is een maat voor de hoeveelheid water aangevoerd door regen en irrigatie die ten goede komt aan gewasgroei. De watereffectiviteit van traditionele irrigatiesystemen zoals waterkanon en sprinkler is onder Nederlandse omstandigheden laag, in de orde grootte 10 tot 55%, doordat veel diep percolatie, verwaaiing,

> Ondergrondse opslag kan volledig in de waterbehoefte voorzien en is zeer kansrijk voor bestrijding van gewasziekten. Het is kan toegepast worden in het grootste deel van de Waddenregio

bodemverdamping en gewasinterceptie plaatsvindt. Binnen Spaarwater is een watereffectiviteit gerealiseerd van 78% bij ondergronds druppelen (zware zavel, Borgsweer 2017) en van 46% bij sub-irrigatie (fijn zand, Breezand 2016). De lagere waarde van sub-irrigatie in 2016 komt doordat er regelmatig neerslag is geweest. Wanneer deze uitkomsten worden vertaald naar een bodem waarop alle irrigatiesystemen mogelijk zijn, bijvoorbeeld lichte zavel, kan men aannemen dat met sub-irrigatie een watereffectiviteit van 85% en met ondergronds druppelen van 90% haalbaar is. Voor waterkanon of sprinkler zou dit, ter vergelijking, ongeveer 50% zijn.

Precisiebemesting vermindert naast het waterverbruik bij druppelirrigatie ook de hoeveelheid benodigde meststoffen. De bemesting wordt in opgeloste vorm gedoceerd meegegeven met een watergift. Druppelirrigatie pakt daarmee de nutriëntenbelasting naar de sloot bij de bron aan. Door de toevoer van meststoffen af te stemmen op de nutriëntenconcentraties in de bodem en het groeistadium van het gewas blijkt de uitspoeling van nitraat via het bodemvocht met ondergronds druppelen op een kleiperceel 40% lager dan bij een systeem zonder ondergronds druppelen. Bij ondergronds druppelen kan 50% minder stikstof (totaal N) en 40% minder fosfor (totaal P) worden opgebracht zonder nadelige gevolgen voor de opbrengst. Dit betekent voor de agrariër dat hij kan besparen op meststoffen en gerichter en slimmer kan bemesten; de meststoffen komen daadwerkelijk ten goede van het gewas.
In de pilot Breezand is uit metingen gebleken dat er beduidend minder nitraat in het bodemvocht onder de wortelzone terecht komt door deze technieken in vergelijking met conventioneel bemesten. Met het minder uitspoelen van meststoffen naar de sloot wordt bijgedragen aan de doelstelling van overheden (en KRW) om de waterkwaliteit in sloten te verbeteren.

De meerwaarde van sub- en druppelirrigatie ligt, naast een lager zoetwaterverbruik, bij het overbruggen van droge periodes en het verlagen van de ziektedruk door een kortere bladnatperiode. Deze meerwaarde is locatie- en tijdsafhankelijk. Tijdens zes jaar Spaarwater zijn verbeteringen aan gewassen behaald door toepassing en doorontwikkeling van sub- en druppelirrigatie. Zo leidde ondergrondse druppelirrigatie in de droge zomer van 2018 in Borgsweer tot een meeropbrengst van 22% bij pootaardappelen. De toepassing in Nederland is echter nog nieuw en toepassing is afhankelijk van bodemtype en gewas. Zo is ondergronds aanleggen van druppelslangen binnen Spaarwater in Nederland voor het eerst gedaan. Het heeft potentieel veel voordelen ten opzichte van bovengronds aangelegde slangen. De ontwikkeling van de techniek is beschikbaar maar de toepasssing vraagt nog veel praktijkgericht onderzoek. Een belangrijke bijdrage daarin is gezet binnen Spaarwater.

Spaarwater in de polder

Het huidige waterbeheer is ingericht op de aanvoer van zoetwater voor (1) peilhandhaving, (2) doorspoelen om het zoutgehalte te verlagen en (2) verbeteren van waterkwaliteit in relatie tot KRW doelstellingen (4) uiteraard op de afvoer van overtollig regenwater.
Toename van kweldruk door bodemdaling, zeespiegelstijging en veranderingen in het klimaat zorgen ervoor dat in de toekomst meer inlaatwater nodig is voor het behoud van dezelfde waterkwaliteit. Binnen het watersysteem zijn alternatieve waterbeheersmaatregelen mogelijk waarmee benodigde hoeveelheid inlaatwater sterk kan worden gereduceerd.
Peilopzet in de sloten verlaagt de directe zoutbelasting naar de sloot. De maatregel kan niet zonder meer worden toegepast. Het leidt onder andere tot een beperking van de bergingscapaciteit. Er bestaat bovendien een risico op verzilting in percelen wanneer slootwater via ondergelopen drainagebuizen het perceel indringt. Tevens stijgt het risico op indringing van gewasziekten vanuit het slootwater.
Toepassen van Spaarwatermaatregelen op regionale schaal heeft positieve effecten voor het waterbeheer in een polder. Ondergrondse opslag beperkt de piekafvoer van drainwater uit percelen na neerslag. Door een eigenwatervoorziening is er minder inlaatwater nodig om dezelfde streefwaarde voor het zoutgehalte te realiseren. Anti-

> Een geringe toename van de kwel leidt tot een grote toename van de watervraag voor doorspoelen. Slimmer doorspoelen kan de watervraag aanzienlijk verlagen

verziltingsdrainage leidt tot een daling van het nutriëntengehalte in het oppervlaktewater. Het leidt tevens tot een lagere zoutbelasting. Er is minder inlaatwater nodig om dezelfde streefwaarde voor het zoutgehalte dan wel nutriëntengehalte te realiseren. Door een grotere buffercapaciteit in het perceel leidt ook antiverziltingsdrainage tot een lagere piekafvoer.

Economische haalbaarheid

Een belangrijke stap in de Spaarwaterontwikkeling vormen de economische haalbaarheid en regionale opschalingsmogelijkheden. Agrariër en waterbeheerder halen beide voordelen uit het implementeren van Spaarwater. Het voorkómen van droogteschade en zoutschade, het realiseren van hogere gewasopbrengsten en de verminderde kans op gewasziektes zijn voor de agrariër de belangrijkste effecten. Voor de waterbeheerder ontstaat de mogelijkheid om het waterbeheer slimmer in te richten en de waterkwaliteit te verbeteren. Deze voordelen (baten) zijn verkend en per afzonderlijke (spaarwater)maatregel naast de kosten gezet. Het resultaat zijn twee kosten-batenanalyses, één op bedrijfsniveau en één op het regionaal niveau van het waterbeheer.

Spaarwatermaatregelen richt zich op individuele agrariërs die op lokale schaal ondernemen, waardoor het essentieel is om de opbrengsten op bedrijfsniveau te bepalen. Daadwerkelijk gemeten opbrengsten, regionale karakteristieken voor de Waddenregio zoals neerslagpatronen, bodemprofielen, beschikbaarheid van irrigatiewater en de agrarische inputs zijn gebruikt om de opbrengsten te bepalen.

Hoewel de data geanonimiseerd gebruikt is, leveren de daadwerkelijk gemeten bedrijfsresultaten een goed onderbouwde opbrengst van irrigatiewater en dus van ondergrondse opslag als maatregel. Ook het effect van klimaatverandering op droogteschade is meegewogen. Zo ontstaat een duidelijk beeld van de lange termijn winstverwachting en investeringsprognose. De kosten van eigen watervoorziening zijn afhankelijk van de bodemgesteldheid en de aanwezigheid van passende drainage. Het op grote schaal implementeren van de Spaarwatermaatregelen brengt naar verwachting economische schaalvoordelen en marktwerking kostenvoordelen met zich mee.

> Met een nieuwe methode is inlaatwater financieel te waarderen en kan voor een polder of polders een (maatschappelijke) kosten en baten analyse worden gemaakt voor zoetwaterbeschikbaarheid

De Spaarwatermaatregel anti-verziltingsdrainage beoogt verzilting te bestrijden en zo gewasschade als gevolg van optrekkend zout te vermijden. Met modelsimulaties van chloridegehalten in de wortelzone is de zoutschade geschat. We kunnen de conclusie trekken dat de lange termijn winstverwachting positief is; de baten dekken de extra kosten.

De baten voor druppelirrigatie dragen bij aan het vermijden van droogteschade en leveren qua efficiënt watergebruik een grote bijdrage. Op dit moment wegen de kosten echter onvoldoende op tegen de baten. Dat neemt niet weg dat er veel potentieel is voor efficienter watergebruik en efficiëntere bemesting en daardoor lagere uitspoeling van nutriënten naar de sloot. Druppelirrigatie bevindt zich qua toepassing nog in het beginstadium en de ontwikkeling van de baten dient zich met praktijkonderzoek verder te ontwikkelen.

Spaarwateroplossingen maken agrariërs minder afhankelijk van het oppervlaktewater voor irrigatie. Een verandering in de watervraag waar het waterschap in zijn doorspoelbeleid tijdens grote droogte op kan inspelen. De winst op het waterbeheer is één van de indirecte effecten van Spaarwater. Om te bepalen hoe groot het effect is, is informatie over ‘de waarde van inlaatwater’ nodig. Omdat water niet direct op de markt wordt verhandeld is er geen monetaire waarde van inlaatwater. De waarde is daarom bepaald met een nieuwe methode op basis van schaduwprijzen en hydrologische modelering. Dit is een nieuwe ontwikkeling binnen het Nederlandse waterbeheer. Met deze methode is de basis gelegd voor het waarderen van oppervlaktewater en de bijdrage ervan aan het waterverdelingsvraagstuk.

Aanbevelingen

Van pilot naar demonstratie op bedrijfsschaal. Op verschillende locaties behouden of aanleggen van Spaarwatersystemen. Deze locaties dienen als voorbeeld en kunnen worden bezocht om kennis te delen en te laten zien dat maatregelen werken.

Technisch doorontwikkelen van eigen zoetwatervoorziening met ondergrondse opslag en gebruik van drainagewater of alternatieve als bronnen van water. Door verdere schaalvergroting en vereenvoudiging van orde 50-100 ha systemen die leiden tot een kostenreductie. Maar ook door de verder ontwikkeling van de aanvullende functionaliteit zoals verminderen van ziektekiemen als Bruinrot en Erwinia, verhogen van de baten.

Ondergronds aanleggen van druppelslangen (onder de bouwvoor) is binnen Spaarwater in Nederland voor het eerst gedaan. Voordelen zijn evident, lagere kosten op termijn en geen benodigde arbeid bij start en einde van het teeltseizoen. Maar ook effciëntere wijze van water- en in potentie mestgiften. De techniek is beschikbaar maar de toepassing vraagt nog veel praktijkgericht onderzoek om sturingsregels te ontwikkelen voor de verschillende bodemtypen en gewassen. De sturing van water en meststoffen vergt een nieuwe benadering die afwijkt van de reguliere methoden.

Antiverziltingsdrainage is effectief om verzilting te bestrijden in percelen. De toepassing ervan is evenwel maatwerk en afhankelijk van de kenmerken ter plaatse van een perceel. Binnen Spaarwater is het op twee locaties getest en doorvertaald op basis van modelberekeningen. Het is zinvol om dit type drainage op andere locaties en ondere andere condities te realiseren en te monitoren voor de langer termijn effecten op vergroten zoetwaterbuffer/lens, zout- en nutriëntenbelasting, ontwatering in natte perioden. Deze leiden dan tot betere ontwerprichtlijnen en kunnen tevens dienen als demonstratielocaties.

Pilots van Spaarwatermaatregelen op regionale schaal. Spaarwater heeft aangetoond dat maatregelen op bedrijfsniveau (door de agrariër) in samenhang met maatregelen in waterbeheer (door overheid) moeten worden beschouwd. Tot op heden zijn effecten van Spaarwatermaatregelen op regionale schaal alleen theoretisch bepaald. De werkelijke effecten dienen te worden onderzocht. Het betreft ontwikkelen, beproeven en monitoren van effectiviteit en effecten op regionale schaal, waarbij Spaarwatermaatregelen gecombineerd of afzonderlijk worden toegepast met maatregelen in waterbeheer. Het gaat daarbij om zowel socio-economische, technische effecten (waterkwaliteit en waterkwantiteit) als externe effecten (zoals op KRW) moeten in beeld worden gebracht.

Vergroten bewustwording bij agrariërs van (toenemende) verziltingsrisico's en watertekorten alsmede de mogelijkheden voor oplossingen. Dit is ingezet binnen Spaarwater maar het is van belang dit ook in de komende jaren door te zetten. De verandering van verzilting en droogte door klimaatverandering en bodemdaling vinden geleidelijk plaats over een langere periode. De keuze op korte termijn is dan niet altijd evident. Daarom de aanbeveling om op voorlichting in te zetten in combinatie met stimulering op het nemen van maatregelen die nu al iets opleveren.

Stimuleringsregeling. Nog niet alle Spaarwatermaatregelen zijn nu al rendabel waardoor stimulering in deze ontwikkelingsfase essentieel is. Verkorten van de terugverdientijd door het verlagen van de kosten en het verhogen van de baten is een eerste stap. Doorontwikkeling van de maatregelen en de bijhorende marktvoordelen dragen hieraan bij. Ook regelgeving, financiële prikkels, subsidies en goedkope leningen kunnen helpen.

Door gebruik van de schaduwprijsmethode 'waarde van inlaatwater' kan op polder- en gebiedsniveau onderbouwd worden wat de maatschappelijke waarde van de maatregelen is en in welke polder de baten het meeste op zullen wegen tegen de kosten. Deze methode is een sterk middel in het besluitvormingsproces. Inzet van de schaduwprijsmethode en het verkorten van de terugverdientijd moet in samenwerking met de agrariërs en overheden worden uitgewerkt. Aanbevolen wordt de methode verder te ontwikkelen op basis van 'ontwikkelen door doen' en voor een gebied en/of polders toe te passen. De volgende stap in de methodeontwikkeling is de uitbreiding met het monitariseren van de externe effecten, zoals effect op nutriënten en op KRW, in samenhang met de effecten van interne verzilting en zoetwater.

1

WAAROM SPAARWATER?

1.1 Belang zoetwater voor landbouw

Landbouw is de economische motor van de Waddenregio. Met circa 12.000 hectare is de Kop van Noord-Holland (inclusief Texel) het grootste aaneengesloten productiegebied van bloembollen ter wereld (AWF, 2018). In de provincies Noord-Holland, Friesland en Groningen tezamen wordt 50.000 hectare aardappelen geteeld, een derde van het totale areaal in Nederland, met een totale bruto-opbrengst van bijna 1,8 miljoen ton (CBS, 2016). De bodem in het gebied is zeer geschikt voor de vollegrondsteelt. De telers staan, nationaal en internationaal, bekend om de hoge kwaliteit van de producten die zij leveren. Om deze kwaliteit te handhaven - en zelfs verder te verbeteren - is een combinatie van goede ontwatering en beschikbaarheid van zoetwater essentieel.

De deltascenario's laten zien dat in de toekomst vaker watertekorten optreden als gevolg van klimaatverandering, verzilting en sociaaleconomische ontwikkelingen. Door klimaatverandering wordt het weer extremer: de winters worden natter en zachter en de zomers warmer en droger (KNMI, 2014). Dit kan ertoe leiden dat 's zomers minder zoetwater beschikbaar is, wat kan leiden tot een watertekort. Verder stijgt de zeespiegel en daalt de bodem waardoor meer zout water West- en Noord-Nederland binnendringt; de verzilting op percelen en in sloten

neemt toe. Bij watertekort en toenemende verzilting kunnen land- en tuinbouw significante schade oplopen (Deltaprogramma, 2010). Recente bevindingen wijzen zelfs op een toename van effecten van klimaatverandering (IPCC, 2018), waarbij zeespiegelstijging grote gevolgen heeft voor verzilting en externe watervraag (Haasnoot et al, 2018).

1.2 Zoetwater & beleid

Naast klimaatverandering hebben de fysische ontstaansgeschiedenis van een gebied, de sociaaleconomische omgeving en beleidsvoering invloed op de waterbeschikbaarheid. Het Deltaprogramma Zoetwater speelt in op deze uitdagingen, waarbij de focus in dit gebied gericht is op de verdeling van het zoete water uit het IJsselmeer en het vergroten van de onafhankelijkheid van de agrariër. De zomer van 2018 heeft het belang laten zien van een integrale aanpak tegen verzilting en voor een goede verdeling van de zoetwatervoorraden.

De waterschappen zijn als beheerder verantwoordelijk voor de verdeling van het beschikbare water en de beheersing van het doorspoelsysteem. Zij staan voor een grote uitdaging om strategisch te handelen binnen het speelveld van een afnemende beschikbaarheid en groeiende vraag naar water. Vergroten van de huidige aanvoer is geen duurzame oplossing. Het watertekort, de klimaatverandering en verzilting vereisen een gerichte aanpak van het regionale zoetwater verdelingsvraagstuk. De waterschappen en provincies trekken daarin gezamenlijk op. Risico's als gevolg van zoetwatertekort en verzilting worden gepresenteerd om vervolgens regionale afspraken te maken over verantwoordelijkheden en oplossingen. Oplossingen beginnen bij bewustwording en doorvoer in het eigen beleid van de overheden. Een voorbeeld hiervan is de invulling van het Waterprogramma 2016-2021 van Hoogheemraadschap Hollands-Noorderkwartier (HHNK). In zijn Deltavisie schrijft HHNK (Schreijer, 2012): "Zoetwater wordt kostbaar en minder vanzelfsprekend. We zorgen voor een duurzame en eerlijke verdeling op een basaal niveau met de huidige infrastructuur." Overheden en gebruikers staan dus voor de opgave om het zoetwatervraagstuk gezamenlijk op te pakken.

1.3 Wat is Spaarwater?

In 2013 is het project Spaarwater gestart. Spaarwater heeft als doel bestaande zoetwaterbronnen veilig te stellen, aanbod van zoetwater te vergroten en de zoetwatervraag te verkleinen. Om de economisch belangrijke landbouwsector te versterken en klimaatbestendig te maken richt Spaarwater zich op het zekerstellen van de zoetwaterbeschikbaarheid en op het bestrijden van verzilting in sloot en perceel.

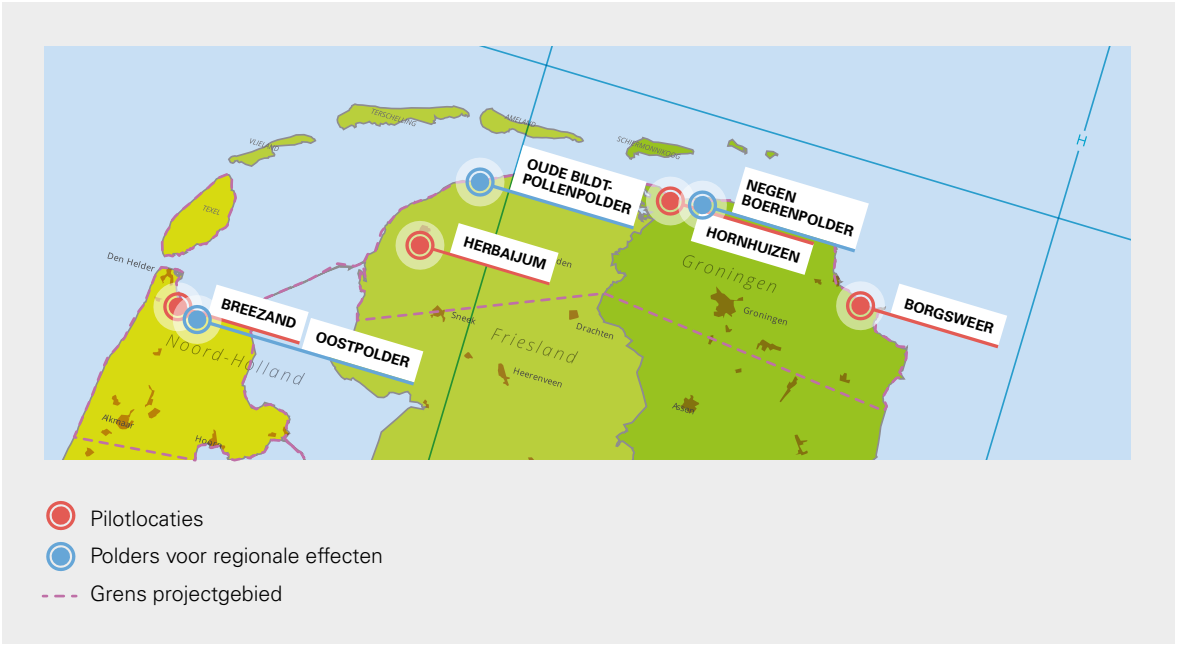
Het vergroten van de zelfvoorzienendheid en daarmee versterking van de bedrijfsbasis door minder afhankelijkheid van externe aanvoer van zoet water vormt een subdoel. Een ander subdoel vormt het bijdragen aan de doelen van de Kader Richtlijn Water (KRW), waaronder het verlagen van de emissie van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen, en het beperken van fluctuaties in het zoutgehalte in het oppervlaktewater.

Centraal binnen Spaarwater staat het ontwikkelen en beproeven van maatregelen (Spaarwatermaatregelen) voor het bestrijden van verzilting en het zekerstellen van voldoende zoetwater. Spaarwater omvat zowel onderzoek naar de fysische aspecten, onder andere door pilots in het veld, als naar economische aspecten, door een kosten-baten analyse op zowel bedrijfs- als maatschappelijk niveau. Het onderzoek biedt gedetailleerde informatie over de voor- en nadelen van de Spaarwatermaatregelen. Dit dient als ondersteuning bij het nemen van concrete stappen voor zowel de agrariër als de beleidsmedewerker en bestuurder van provincie en waterschappen. Dit rapport geeft een overzicht van de resultaten van zes jaar Spaarwater. Voor detailinformatie kunt u de onderliggende technische rapportages raadplegen.

1.3.1 Wat zijn de Spaarwatermaatregelen?

De Spaarwatermaatregelen omvatten anti-verziltingsdrainage, eigen watervoorziening en zuinig met zoetwater:

- *Anti-verziltingsdrainage* beoogt verzilting op het perceel te bestrijden, terwijl de ontwatering van het perceel gehandhaafd blijft en de zoutbelasting van het perceel naar de sloot niet toeneemt.
- *Eigen watervoorziening* heeft als doel de zoetwaterbeschikbaarheid voor de agrariër te vergroten door zoet drainagewater uit het perceel op te vangen, op te slaan in de diepe ondergrond en beschikbaar te maken voor gebruik gedurende het groeiseizoen.
- *Zuinig met zoetwater* richt zich op het beperken van het waterverbruik door gebruik van twee typen zuinige irrigatietechnieken: sub-irrigatie (het toedienen van water via bestaande drainage) en twee typen druppelirrigatie te weten druppelleidingen jaarlijks aangelegd aan het oppervlak óf onder de bouwvoor en daarmee semipermanent.



Figuur 1. Projectgebied (gestippelde lijn), ligging van de pilotlocaties binnen Spaarwater (rode punten) en de 3 poldergebieden (blauwe punten) waar de huishoudkundige effecten op regionale schaal zijn onderzocht.

1.3.2 Waar zijn de Spaarwater-maatregelen toegepast?

Het projectgebied van Spaarwater omvat de Waddenregio, inclusief Texel, maar exclusief overige Waddeneilanden (zie Figuur 1).
De Spaarwatermaatregelen zijn getest op vier pilotlocaties die representatief zijn voor de Waddenregio (Figuur 1). De voornaamste kenmerken van de locaties zijn opgenomen in Tabel 1.

De waterhuishoudkundige effecten en economische haalbaarheid bij toepassing van Spaarwatermaatregelen op regionale schaal zijn onderzocht voor drie poldergebieden, in elk van de noordelijke provincies één, namelijk:

- de Oostpolder in Noord-Holland in het beheergebied van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier met een oppervlakte van circa 1.700 hectare;
- de Oude Bildtpollenpolder (bestaande uit Oude en Nieuwe Bildtpollen- en Noorderleegpolder) in Friesland in het beheergebied van Wetterskip Fryslân met een oppervlakte van circa 755 hectare;
- de Negenboerenpolder in Groningen in het beheergebied van het Waterschap Noorderzijlvest met een oppervlakte van circa 875 hectare.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 1 gaat in op de vraag waarom Spaarwater is opgestart en welke maatregelen waar zijn onderzocht. In hoofdstuk 2 wordt een toelichting gegeven op zoetwaterlenzen, het huidige aanvoerbeleid en de huidige en toekomstige verziltingsrisico's.

Pilotlocatie	Provincie & Waterschap	Bodemtype	Gewas	Spaarwater-maatregelen
Breezand (2,3 ha)	Noord-Holland, Hoogheem-raadschap Hollands Noorderkwartier	Zandgrond	Bollenteelt (o.a. hyacint, tulp en zantedeschia)	Eigen Watervoorziening & Zuinig met Zoetwater
Borgsweer (1,4 ha)	Groningen, Waterschap Noorderzijlvest	Kleigrond (zware zavel)	Rotatieteelt (o.a. pootaardappelen)	Eigen Watervoorziening & Zuinig met Zoetwater
Hornhuizen (7,2 ha)	Groningen, Waterschap Noorderzijlvest	Zandgrond	Rotatieteelt (o.a. pootaardappelen)	Anti-verziltingsdrainage
Herbaijum (4,9 ha)	Friesland, Wetterskip Fryslân	Kleigrond	Grasland	Anti-verziltingsdrainage

Tabel 1. Voornaamste kenmerken van de pilotlocaties binnen Spaarwater.

De drie daarop volgende hoofdstukken (3,4 en 5) gaan in op de drie Spaarwatermaatregelen te weten: anti-verziltingsdrainage, eigen watervoorziening en zuinig met zoetwater. In hoofdstuk 6 wordt het huidige waterbeheer en effecten van peilopzet hierop beschreven.
Hoofdstuk 7 gaat in op de economische analyse en haalbaarheid van de Spaarwatermaatregelen en doorvertaling naar beleid. Het laatste hoofdstuk geeft een doorkijk naar de toekomst: 'hoe zal het er in 2100 uitzien, wanneer we op grotere schaal Spaarwatermaatregelen hebben toegepast?'.

Conclusies inleiding

- Voor de landbouw is goede ontwatering en beschikbaarheid van zoetwater essentieel.
- Door klimaatverandering, verzilting en sociaaleconomische ontwikkelingen heeft de waterbeheerder minder zoetwater beschikbaar terwijl de vraag naar zoetwater groeit: er ontstaat een verhoogd risico op watertekorten en gewasschade.
- Het doel van Spaarwater is het zekerstellen van zoetwaterbeschikbaarheid en bestrijden van verzilting in sloot en perceel.
- Drie Spaarwatermaatregelen zijn onderzocht op effecten en technische en economische haalbaarheid: anti-verziltingsdrainage, eigen watervoorziening en zuinig met zoetwater.
- Spaarwatermaatregelen zijn getest op vier pilotlocaties (Breezand, Herbaijum, Hornhuizen en Borgsweer).
- De waterhuishoudkundige effecten bij toepassing van Spaarwatermaatregelen op regionale schaal zijn onderzocht voor drie poldergebieden, in elk van de noordelijke provincies één, Oostpolder (NH), Oude en Nieuwe Bildtpollen- en Noorderleegpolder (Fr) en Negenboerenpolder (Gr)
- De economische haalbaarheid van Spaarwatermaatregelen is onderzocht door de kosten en baten van de afzonderlijke maatregelen te analyseren en te belichten vanuit verschillende schaalniveaus en perspectieven. Voor agrariër op bedrijfsniveau en voor waterbeheerder op regionaal niveau.

2

VERZILTING EN WATER-AANVOER

Zoetwater voor de landbouw is in de Waddenregio beschikbaar dankzij de aanwezigheid van zoetwaterlenzen in percelen en, met uitzondering van de Waddeneilanden, van externe zoetwateraanvoer. Veranderingen in de externe aanvoer en toenemende interne verzilting in percelen en sloten maakt dat de waterbeschikbaarheid in de Waddenregio ook in de toekomst onder druk zal staan.

2.1 Externe zoet-wateraanvoer

Het Deltaprogramma Zoetwater richt zich op de verdeling van het zoete water vanuit het IJsselmeer. Bovendien beoogt het Deltaprogramma de landbouw onafhankelijker te maken van zoetwater door zelfvoorzienendheid van de agrariër te vergroten. Vanuit het IJsselmeer wordt zoetwater verdeeld over een groot deel van Noord-Nederland, met uitzondering van de Waddeneilanden, om verschillende functies te dienen

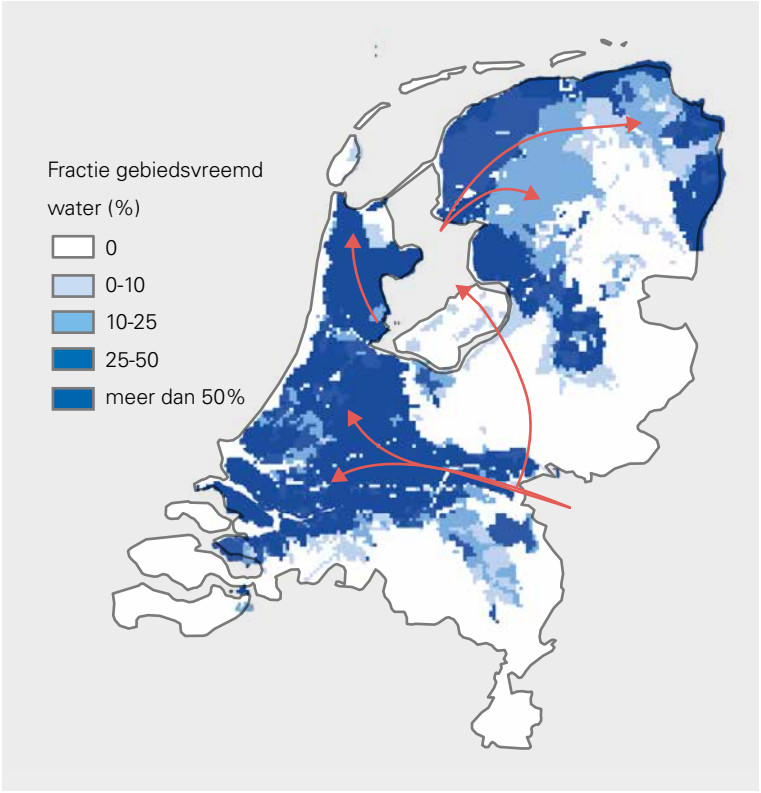
(Figuur 2). Zoetwater bereikt de regionale systemen zoals de Friese Boezem en het Noordelijk Zandgebied door een netwerk van watergangen, waarbij gemalen zorgen voor distributie van het IJsselmeerwater. De landbouw in het projectgebied met uitzondering van Texel is sterk afhankelijk van het aangevoerde zoete water voor doorspoeling en beregening.

Door zeespiegelstijging, verzilting en het toepassen van nieuwe teelten groeit de zoetwatervraag in de regio in de toekomst, terwijl de zoetwateraanvoer van grote rivieren naar het IJsselmeer afneemt. Zo wordt de Rijnafvoer steeds grilliger. Het riviersysteem verandert geleidelijk van een smeltwaterrivier in een regenwaterrivier. Dit zorgt voor een grotere variatie in de zoetwateraanvoer naar rivier de IJssel en het IJsselmeergebied. De verwachting is dat de zoetwaterbuffer van het IJsselmeer door veranderde vraag en veranderd aanbod in de toekomst vaker aangesproken zal moeten worden.

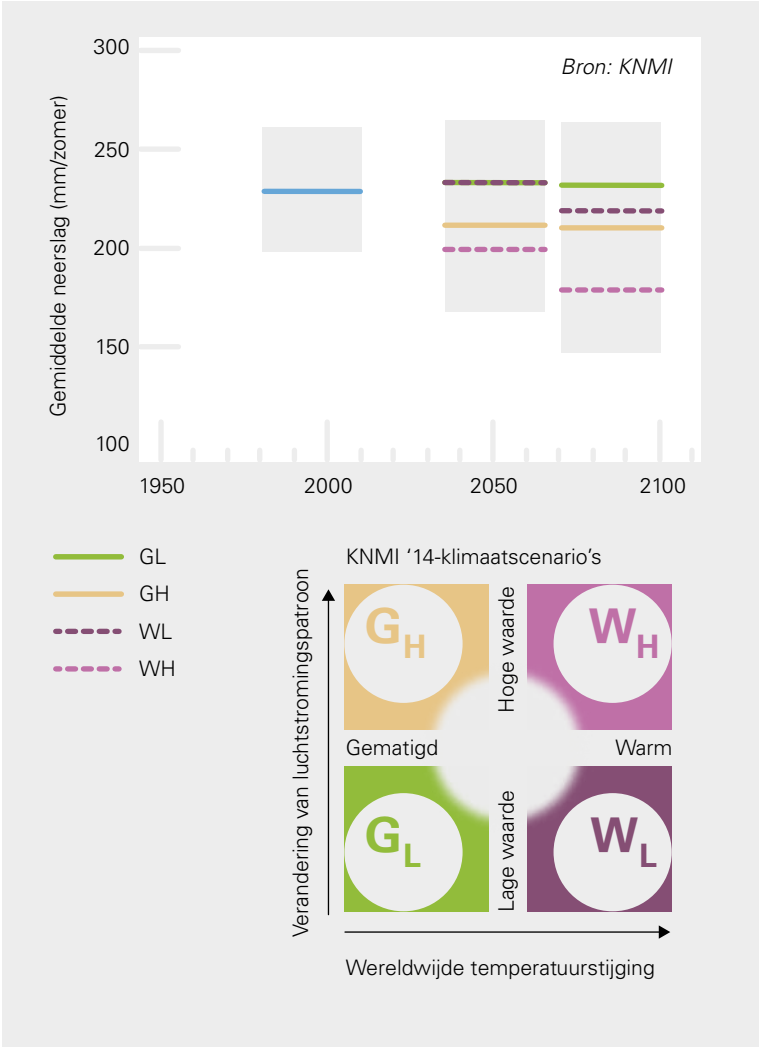
Texel heeft geen mogelijkheden om gebruik te maken van externe aanvoer vanuit een zoetwaterbron zoals het IJsselmeer. Het eiland is omgeven door zout water en is voor de zoetwateraanvoer volledig afhankelijk van neerslagwater.

2.2 Interne verzilting

In de Waddenregio is de overgang zoet-zout in het grondwater ondiep aanwezig, vaak rond drainageniveau of net daaronder. Landbouw is mogelijk door dunne zoete regenwaterlenzen die 'drijven' op zout grondwater (tekstkader). Door klimaatverandering is de verwachting dat de zomers warmer en droger worden (KNMI, 2014) (zie Figuur 3). Dit kan ertoe leiden dat



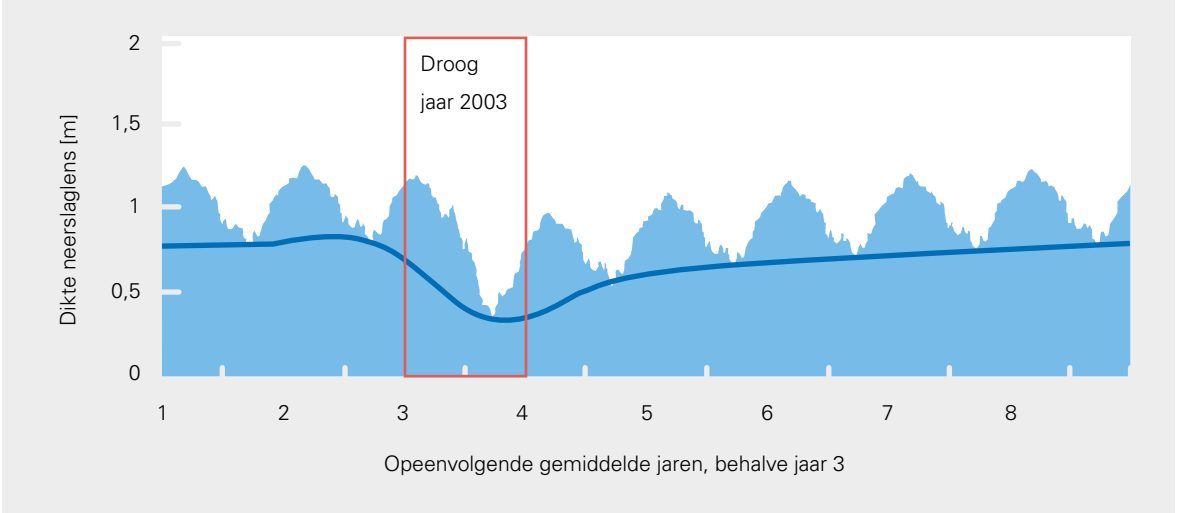
Figuur 2: Zoetwateraanvoerlocaties en bestemmingen en de fractie gebiedsvreemd water in de maand juli in een extreem droog jaar zoals 1976 (RIZA, 2005).



Figuur 3: Langjarig gemiddelde zomerneerslag (JJA) voor De Bilt in het verleden (blauw) en voor de 4 KNMI'14 scenario's (GL-groen, GH geel, WL-gestreept paars, WH-gestreept rose) met natuurlijke variabiliteit tussen 30-jaar perioden (grijs) (KNMI, 2014). Te zien is dat de neerslag in de zomer afneemt volgens meerdere klimaatscenario's van 2050 (GH, WH) en 2100 (GH, WH en WL).

's zomers minder zoetwater beschikbaar is, wat kan leiden tot een watertekort.

Uit verschillende studies (e.g. Acacia Water et al, 2011) en op basis van een groot aantal uitgevoerde modelberekeningen binnen Spaarwater blijkt dat er een risico bestaat dat deze zoete regenwaterlens in drogere zomers in een aanzienlijk deel van het landbouwgebied tijdelijk of permanent verdwijnt. Hierdoor komt brak water door capillaire opstijging in de wortelzone, met mogelijk gewasschade tot gevolg. Bovendien neemt ook de zoutbelasting vanuit de ondergrond (kwel) naar de sloot toe.
Er komen nu ook al gebieden voor waar verzilting in percelen optreedt (Acacia Water, 2011 & 2013). Dit wordt niet altijd herkend, omdat vaak gedacht wordt dat de gewasschade het gevolg is van watertekort en niet door verzilting. Het verschil is niet of vrijwel niet te zien aan het gewas.
In de huidige situatie neemt de dikte van de zoetwaterlens in een droge zomer enkele decimeters af. Dit is een normale variatie die veelal in de winter met een neerslagoverschot hersteld. De afname in



Figuur 4. Ontwikkeling zoetwaterlens bij bodemprofiel O1 (fijn zand) en een kwelflux van 0.1 mm/dag. De jaren hebben een gemiddeld neerslagpatroon, behalve jaar 3 (droog jaar 2003). Te zien is dat na een droog jaar het jaren duurt voordat de dikte van de zoetwaterlens weer tot dezelfde dikte is toegenomen als vóór het droge jaar.

Typen zoetwaterlenzen en verziltingsrisico

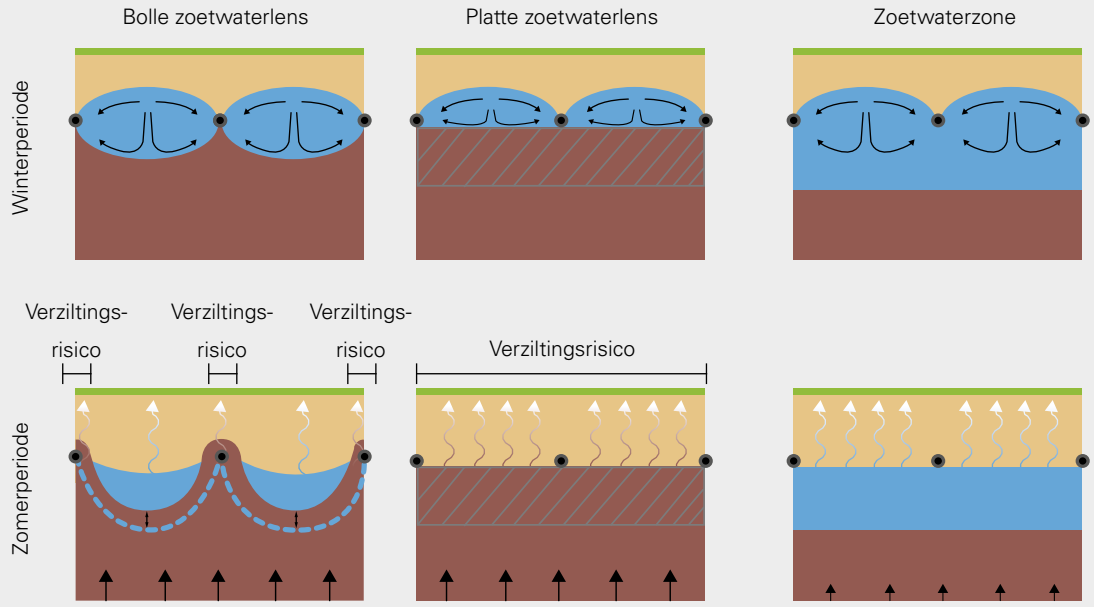
Sloten en drainage zijn onder het natuurlijke grondwaterniveau aangelegd om een gebied te ontwateren. Dat beïnvloedt de grondwaterstroming. Ter plaatse van de sloot of drain treedt een versterkte verticale opwaartse stroming op, waardoor zout kwelwater wordt aangetrokken en afgevoerd. Tussen de drainagebuizen in kan door het neerslagoverschot een zoetwaterlens ontstaan. Een deel van dit zoete water wordt ook weer afgevoerd door de drainage. Door neerslag en verdamping varieert de grondwaterstand en -stroming en daarmee de dikte van de zoetwaterlens. Dit kan in de zomerperiode bij droogte leiden tot een verziltingsrisico (Figuur 5). De grondwaterstand kan uitzakken tot onder het drainageniveau. De zoetwaterlens kan verdwijnen waardoor het risico op verzilting in het gehele perceel toeneemt.

Het gedrag van een zoetwaterlens hangt af van bodemtype, eventuele gelaagdheid en kwelflux uit de diepere ondergronden en kan van daaruit opgedeeld worden in drie typen zoetwaterlens (Figuur 5):

Bolle lens: in een homogeen pakket ontstaat tussen de drains een neerslaglens die (in perioden met een structureel neerslagoverschot) aan de onderzijde een bolle vorm heeft. De dikte neemt toe bij grotere drainageafstanden, lagere doorlatendheid en een lagere kweldruk.

Platte lens: de werking is vergelijkbaar met de bolle lens, maar door de aanwezigheid van een slecht doorlatende laag wordt de vorming van de lens aan de onderzijde beperkt en krijgt de lens een afgevlakte vorm. In praktijk is er slechts een dun laagje zoetwater aanwezig of afwezig.

Zoetwaterzone: in gebieden met waar er geen tot een zeer beperkt kwelflux kan zoetwater tot onder de drainage doordringen. Het kan zijn dat deze zone in het verleden is ontstaan voordat er spake was van buisdrainage. Als het grensvlak zoet-zout diep genoeg ligt trekken de drains het zoute water niet aan en is de zoetwaterlaag aaneengesloten. Bij een toename van de kweldruk kan dit type verandering in een bolle of platte zoetwaterlens.

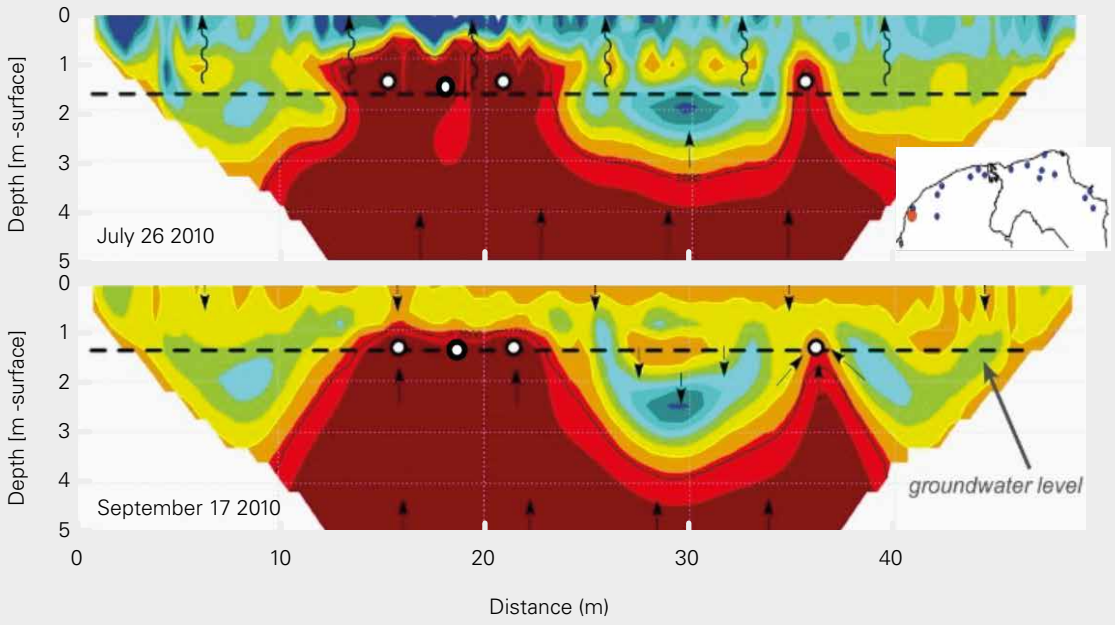


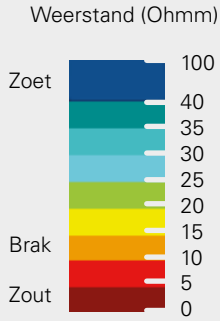
Figuur 5. Typen zoetwaterlenzen en de variatie tussen zomer- en winterperiode.

dikte van de neerslaglens is naar verwachting in de toekomstige situatie sterker. Uit modelberekeningen (SEAWAT en SVOffice) blijkt dat het een aantal jaren duurt voordat de zoetwaterlens weer hersteld is (Figuur 4). Het effect van een droog jaar is vergelijkbaar bij de verschillende bodemtypen. Daaruit volgt dat in bodems met een dunne zoetwaterlens een droog jaar gemakkelijk leidt tot verzilting en er een verhoogd risico is in de daarop volgende jaren.

2.2.1 Verzilting en de invloed van drainage

Drainage kan de zoetwatervoorraad in de ondergrond sterk beïnvloeden, zoals blijkt uit een op metingen (ERT) gebaseerde doorsnede van het pilotperceel in Herbaijum (Fr)





Figuur 6: Zoet (blauw) -zout (rood) verdeling van grondwater in een perceel op basis van een ERT meting. De ligging van drainage is weergegeven als witte cirkels.

(Figuur 6). De zoetwaterlens is het dunst ter plaatse van de drainagebuizen, waar snelle afvoer van regenwater plaatsvindt en zout kwelwater (rood) wordt aangetrokken. De zoetwaterlens is het dikst tussen de drains in (blauw in Figuur 6). Waar drains dicht op elkaar liggen kan zich geen zoetwaterlens ontwikkelen en is het geheel zout. Dit leidde in de zomer van 2010 tot een optrekkend zoutfront tot in de wortelzone.

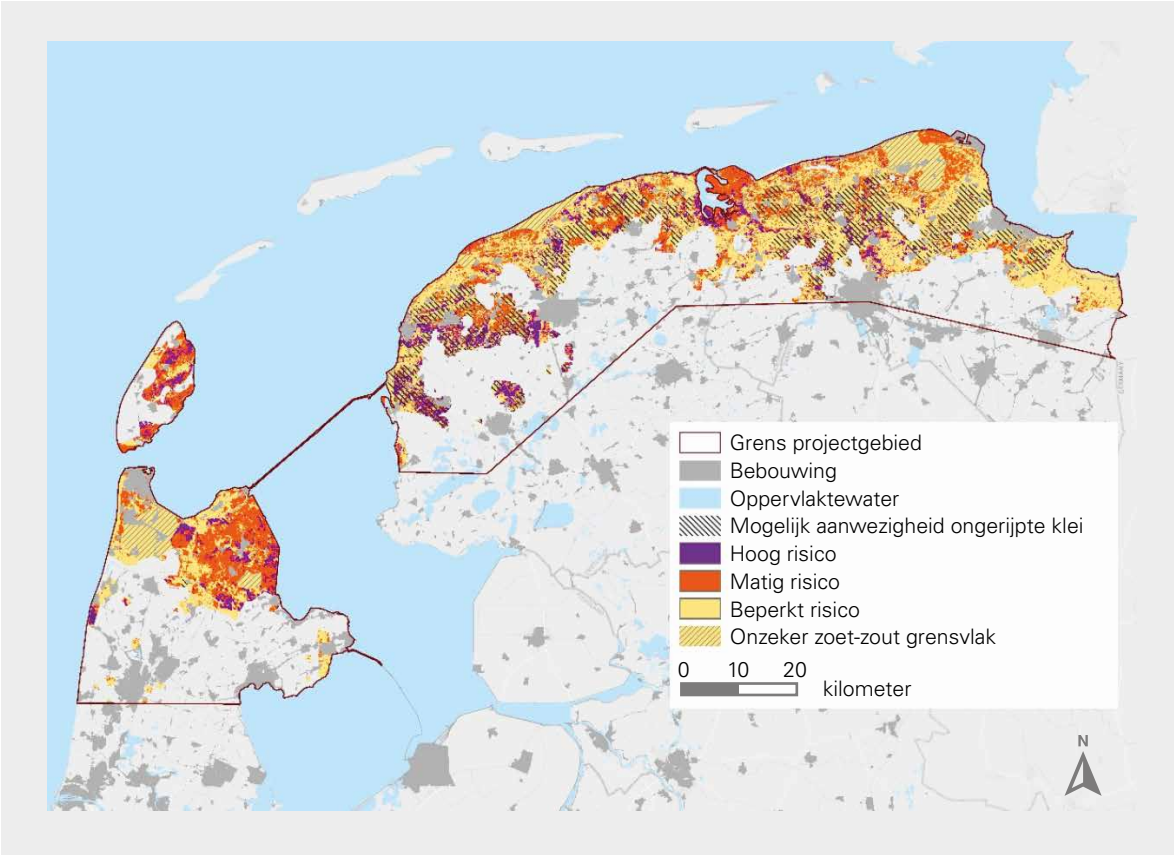
2.2.2 Verziltingsrisico in het projectgebied

Hoe dunner de zoetwaterlens, des te ondieper de overgang zoet-zout en des te groter de kans op verziltting (zie tekstkader). Vanuit dit gegeven is als onderdeel binnen Spaarwater het verziltingsrisico voor de Waddenregio in kaart gebracht door met een groot aantal modelsimulaties (SVOffice) de dikte van de zoetwaterlens in percelen te bepalen (Figuur 7). De dikte hangt nauw samen met en is berekend voor de kweldruk, bodemeigenschappen en overige perceelskenmerken, zoals drainage en landgebruik. De kaart geeft het verziltingsrisico weer voor gedraineerde percelen bij een drainafstand van 10 meter en draindiepte van 1m. Bij een hoog verziltingsrisico bevindt het zoet-zout grensvlak (jaargemiddelde van de zoetwaterlens) zich boven het drainageniveau op een diepte tussen de 0-1 m beneden maaiveld. Bij een matig en beperkt risico ligt dit grensvlak respectievelijk tussen de 1-2 m en binnen 5 meter beneden maaiveld. Uitleg over de methodiek en uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de verziltingsrisicokaart zijn terug te vinden in de technische achtergrondrapportage van antiverziltingsdrainage.

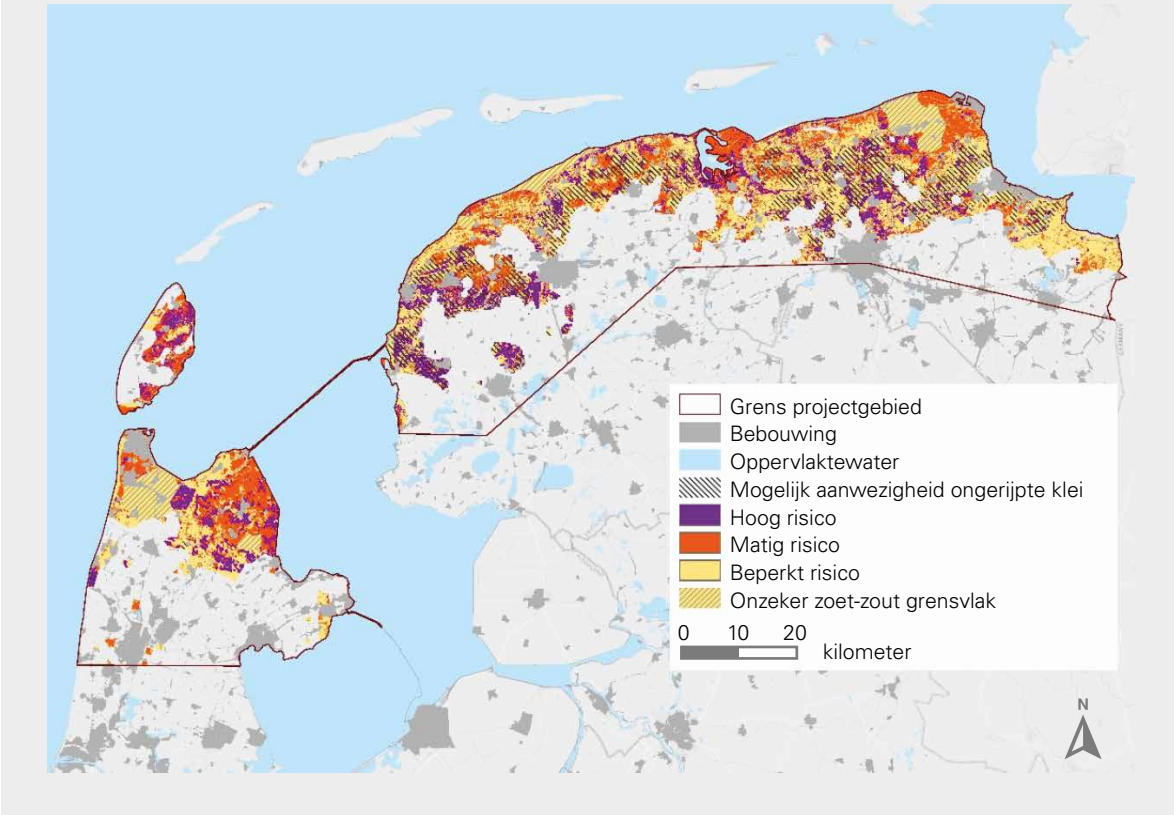
Het huidige verziltingsrisico is het grootst in gebieden met een hoge kweldruk, en wanneer op drainniveau een slecht doorlatende laag voorkomt met daaronder een goed doorlatend pakket. Een hoge kweldruk is terug te vinden in laag gelegen polders of percelen. Daar waar ongerijpte klei voorkomt of gebieden met zand op klei (o.a. gebied onder Den Helder) bestaat de kans dat er geen zoetwaterlens aanwezig is.

2.2.3 Verziltingsrisico in de toekomst

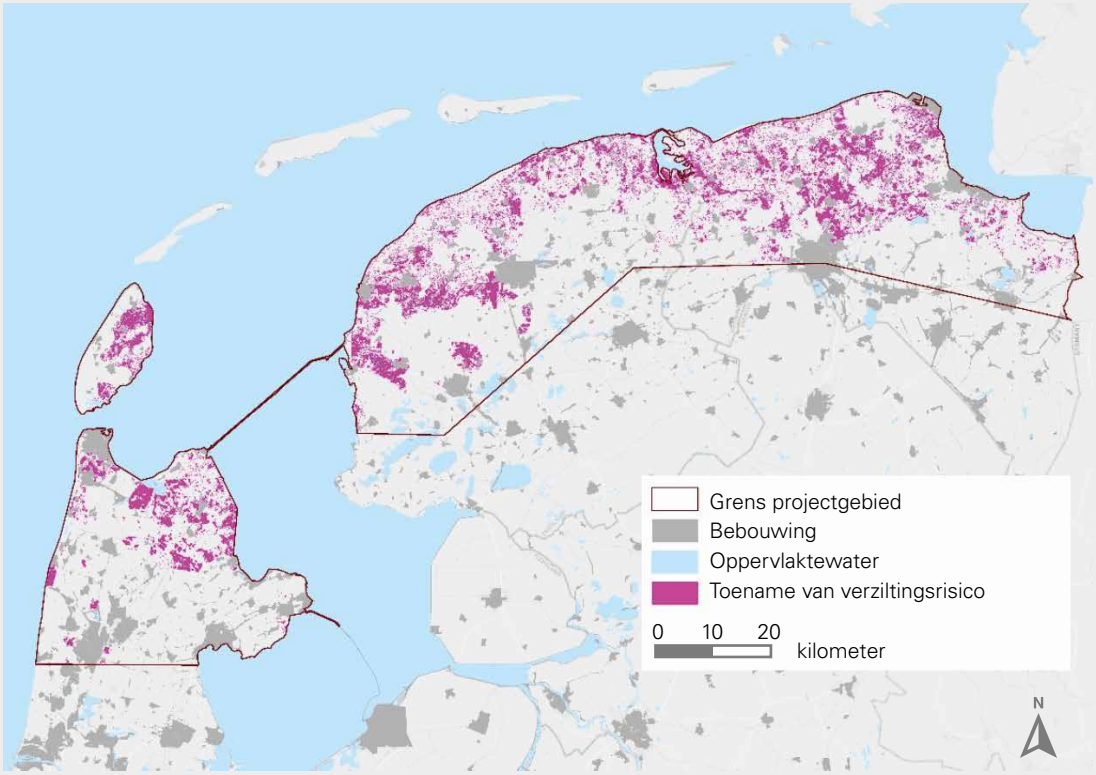
De verzilting neemt naar verwachting toe als gevolg van klimaatverandering, bodemdaling en zeespiegelstijging. Door klimaatverandering is de verwachting dat het neerslagpatroon verandert, met nattere winters en drogere zomers tot gevolg. De veranderende omstandigheden leiden tot een toename van de kweldruk. Hierdoor neemt de dikte van de zoetwaterlenzen steeds verder af waardoor verzilting steeds vaker en over een groter gebied op zal treden. Binnen Spaarwater is de verwachte afname van de dikte van zoetwaterlenzen verwerkt in een verziltingsrisicokaart voor het jaar 2050 (Figuur 8).



Figuur 7. Verziltingsrisico in het projectgebied voor de huidige situatie gebaseerd op de dikte van de zoetwaterlens. De kaart is geschikt voor gebruik op regionaal niveau; het risico kan in werkelijkheid lokaal afwijken.



Figuur 8. Verziltingsrisico voor de toekomstige situatie (2050) gebaseerd op de dikte van de zoetwaterlens. De kaart is geschikt voor gebruik op regionaal niveau; het risico kan in werkelijkheid lokaal afwijken.

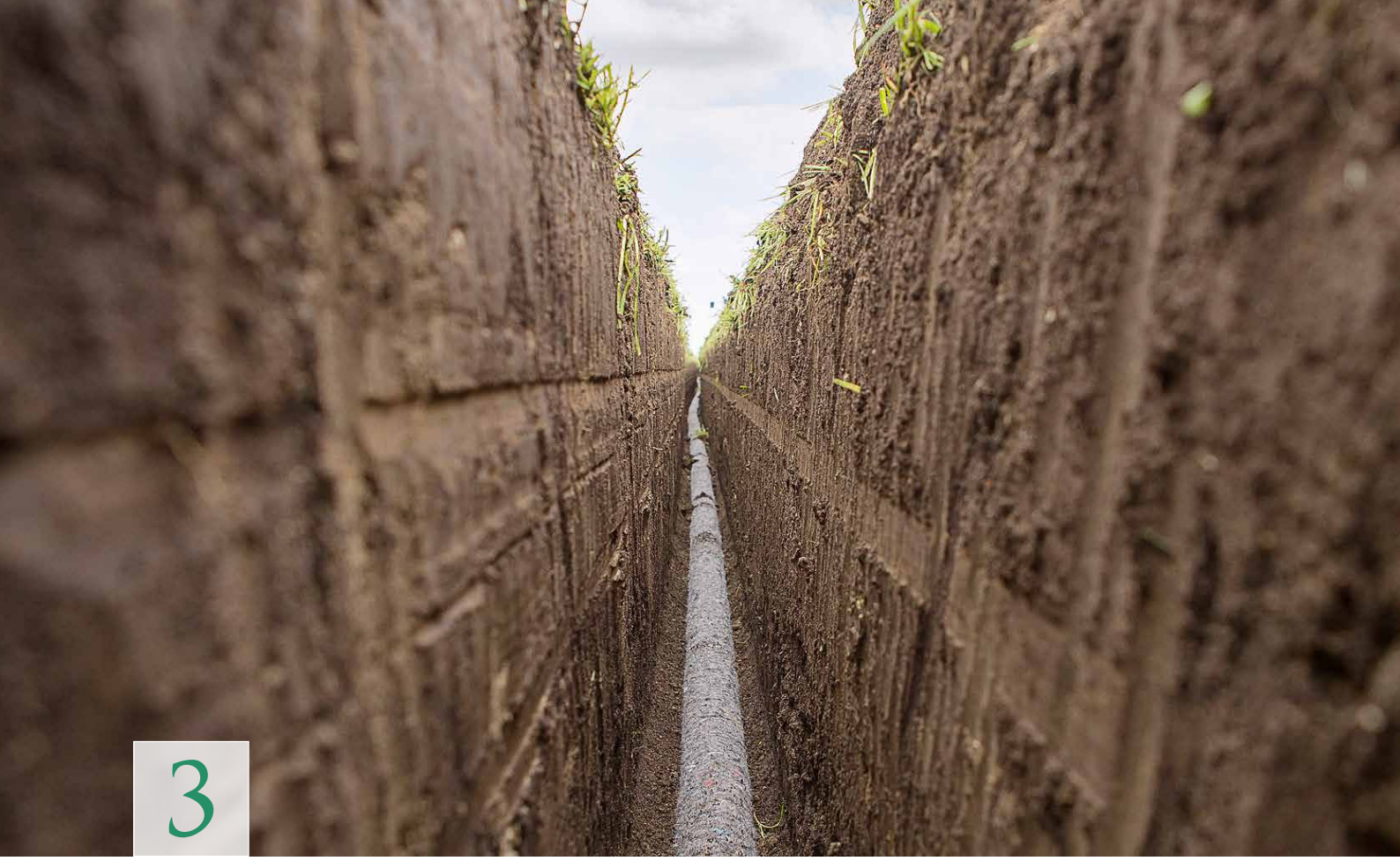


Figuur 9. Toename van het verziltingsrisico in het projectgebied in 2050. De kaart is geschikt voor gebruik op regionaal niveau; het risico kan in werkelijkheid lokaal afwijken.

Klimaatverandering, bodemdaling en zeespiegelstijging leiden tot een afname van de zoetwaterlens van gemiddeld 30 cm, blijkt uit modelsimulaties. De gebieden waar het verziltingsrisico al bestaat, worden hierdoor groter in omvang (Figuur 9). Dit effect is het sterkst in gebieden met een hoge kwelintensiteit.

Conclusies verzilting en wateraanvoer

- Landbouw in de Waddenregio is mogelijk dankzij de aanwezigheid van zoetwaterlenzen die worden aangevuld door neerslag en, met uitzondering van de Waddeneilanden, externe zoetwateraanvoer.
- Veranderingen in de externe aanvoer naar het IJsselmeer en toenemende interne verzilting in percelen en sloten maken dat de zoetwaterbeschikbaarheid in toenemende mate onder druk komt te staan.
- Het Deltaprogramma Zoetwater richt zich naast de verdeling van zoetwater uit het IJsselmeer op het stimuleren van zoetwater zelfvoorzienendheid in de landbouw.
- Sloten hebben beperkt invloed op de dikte van de zoetwaterlens in een perceel.
- Drainage bepaalt in sterke mate het voorkomen en dikte van een zoetwaterlens, naast de kweldruk, bodemtype en bodemopbouw.
- Hoe dunner de zoetwaterlens, des te ondieper de zoet-zout overgang en des te groter de kans op verzilting.
- Het gangbare tussendraineren, waarbij de drainageafstand wordt gehalveerd, leidt tot een afname van de dikte van de zoetwaterlens.
- Er zijn nu diverse gebieden waar sprake is van verzilting in percelen. Het verziltingsrisico neemt toe, als gevolg van klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling.
- De verzilitingsrisicokaarten zijn opgebouwd uit diverse kaartlagen en getoetst aan veldmetingen. De kaart kan verder worden verbeterd en geactualiseerd door de gebruikte modellen te actualiseren met nieuwe (veld)data omtrent geohydrologie, zoet-zout, neerslaglenzen, klimaat, bodemdaling, etc.
- De verziltingsrisicokaart kan worden verfijnd door specifieke gebiedsinformatie omtrent drainageafstanden en diepte in percelen te gebruiken. Er is nu gebruik gemaakt van één afstand en één diepte. Dit kan er toe leiden dat de kaart een onderschatting van het verziltingsrisico geeft bij een andere diepte of intensievere drainage.



3

ANTI-VERZILTINGS-DRAINAGE

3.1 Verzilting en zoetwaterlens

Een dunne laag zoetwater in de ondergrond (een zoetwaterlens) die op zout grondwater drijft maakt landbouw in de Waddenregio mogelijk. In een gedraineerd perceel is deze laag het dunst ter plaatse van de drainagebuizen, waar snelle afvoer van regenwater plaatsvindt, en het dikst midden tussen de drainagebuizen in. Drainage kan daarmee de zoetwatervoorraad in de ondergrond sterk beïnvloeden (zie Figuur 6).

Door bodemdaling en zeespiegelstijging neemt de (zoute) kweldruk steeds verder toe waardoor de dikte van de zoetwaterlenzen steeds verder afneemt. De verandering van de neerslagdynamiek als gevolg van klimaatverandering draagt verder bij aan de kwetsbaarheid van zoetwaterlenzen. De verwachting is dat verzilting vaker en over een groter gebied op zal treden (zie Figuur 8). De akkerbouw zal in de toekomst dan ook vaker te maken krijgen zoutschade.

Binnen Spaarwater is aangetoond dat met anti-verziltingsdrainage verzilting kan worden tegengegaan door het versterken van de zoetwaterlens.

3.2 Versterken van zoetwaterlenzen met drainage

3.2.1 Het concept van anti-verziltingsdrainage

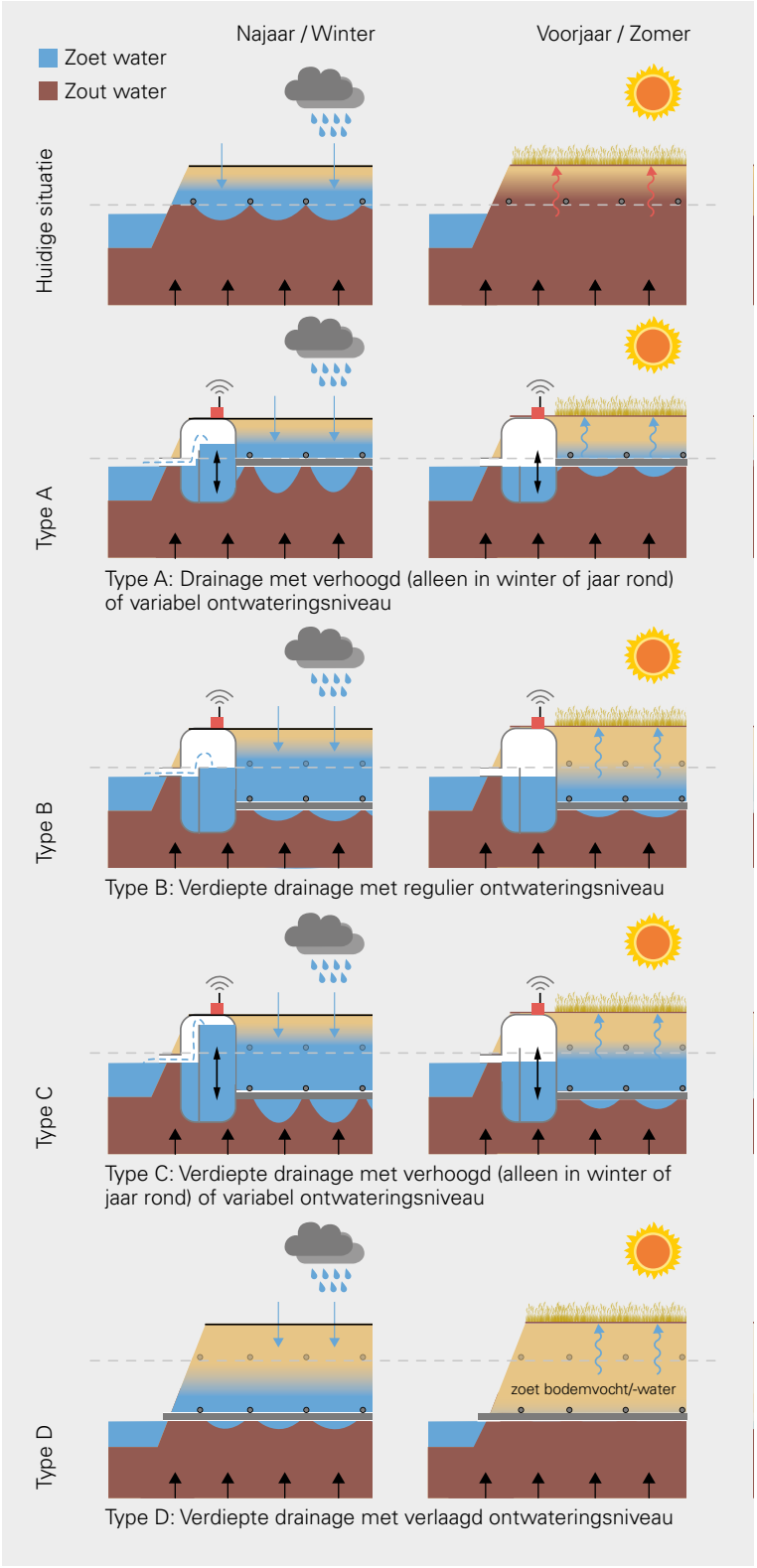
Anti-verziltingsdrainage houdt de zoetwatervoorraad in de ondergrond zo groot mogelijk, terwijl de ontwatering van het perceel gehandhaafd blijft en de zoutbelasting naar de sloot niet toeneemt. Het aanleg- en ontwateringsniveau en de afstand tussen drainagebuizen wordt bij deze methodiek beter afgestemd op de grondwatersituatie van het perceel in relatie tot grondsoort en gewas (Figuur 10). Een bijkomend voordeel is dat anti-verziltingsdrainage kan leiden tot een vermindering van de nutriëntenuitstroom naar de sloot.

Bij anti-verziltingsdrainage blijft de bergingscapaciteit van het oppervlaktewatersysteem behouden, in tegenstelling tot het toepassen van peilopzet in de sloten (zie 6.4.2). De agrariër kan zelf de waterhuishouding van het perceel reguleren.

3.2.2 Typen anti-verziltingsdrainage

Voor anti-verziltingsdrainage bestaan vier typen drainagetechnieken (Figuur 10). Welke techniek het meest kansrijk is hangt af van locatiespecifieke kenmerken waaronder bodemopbouw, kweldruk en mate van drooglegging (zie 3.4). De volgende anti-verziltingsdrainage zijn te onderscheiden:

Drainage met een verhoogd ontwateringsniveau (type A), verdiept aangelegde drainage met een regulier ontwateringsniveau (type B) en



Figuur 10: Weergave type traditionele drainage en anti-verziltingsdrainage type A (zoals in Herbaijum), type B, type C (zoals in Hornhuizen) en type D

combinatie van A en B, verdiepte aanleg met verhoogd ontwateringsniveau (type C).

- *Type A, verhoogd ontwateringsniveau* richt zich op het verlagen van de zoute kweldruk uit de ondergrond door in het bestaande drainagesysteem een (instelbaar) verhoogd ontwateringsniveau te hanteren (structureel of alleen buiten groeiseizoen). De zoetwatervoorraad wordt vergroot en door de hogere grondwaterstan-

den neemt de (zoute) kweldruk af. Dit heeft een gunstig effect op de dikte van de zoetwaterlenzen. Dit type kan ook worden gebruikt door bestaande drainage aan te passen.

- *Type B, verdiept aangelegde drainage met een regulier ontwateringsniveau* richt zich op het dieper afvangen van de zoute kwel door nieuwe drainage verdiept aan te leggen met eventueel een kleinere drainageafstand. Het ontwateringsniveau wijzigt niet ten opzichte van conventionele drainage. Door de diepere ligging van de drains kan zoetwater doordringen tot grotere diepte, óók ter plaatse van de drain zelf. De afstand tussen de grondwaterspiegel en de drains wordt vergroot.
- *Type C, verdiepte aanleg met verhoogd ontwateringsniveau* richt zich op het vergroten van het waterbergend vermogen van het perceel. De drainage wordt dieper aangelegd dan bij conventionele drainage, maar het ontwateringsniveau wordt (structureel of alleen buiten groeiseizoen) juist verhoogd ten opzichte van conventionele drainage. Hierdoor wordt de afstand tussen de grondwaterspiegel en de drain verder vergroot én vermindert de (zoute) kweldruk uit de ondergrond. Er ontstaat een zoetwaterbuffer waardoor ook bij drain zelf geen zout optrekt.
- *Type D, verdiepte aanleg met een verlaagd ontwateringsniveau* wordt de verdiepte drainage ingezet om zoutwater in de ondergrond af te vangen waardoor verzilting tot aan de wortels wordt voorkomen. De gewassen kunnen gebruik maken van zoet hangwater. Type D is binnen Spaarwater niet verder onderzocht, omdat deze techniek de dikte van de zoetwaterlens en daarmee de zoetwatervoorraad verkleint en er kans bestaat op verhoging van de zoutbelasting naar de sloten.

Binnen Spaarwater zijn de systemen A en C onderzocht op respectievelijk een kleiondergrond (Herbaijum, Friesland) en een zandondergrond (Hornhuizen, Groningen).

3.3 Effecten van anti-verziltings-drainage

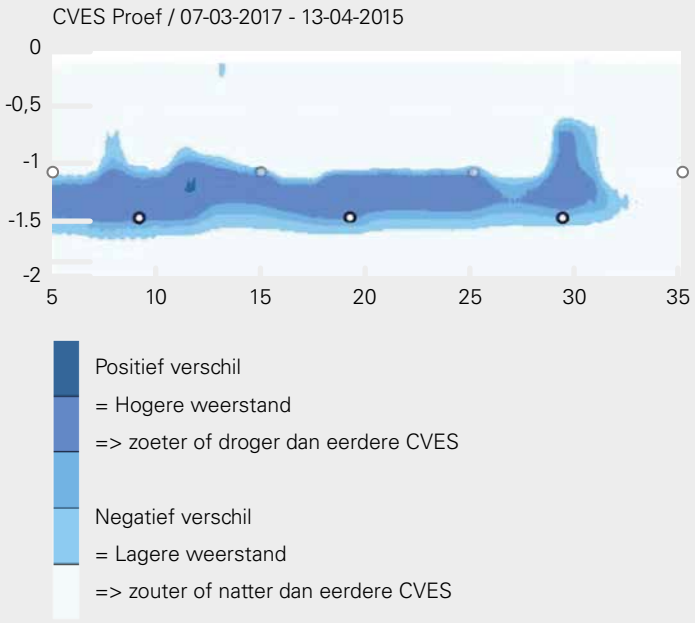
3.3.1 Verziltingsbestrijding

Anti-verziltingsdrainage vergroot de zoetwatervoorraad in een perceel. Binnen enkele jaren leidt een verhoogd ontwateringsniveau tot een meetbare toename van de dikte van de zoetwaterlenzen, zowel op een klei- als zandperceel (zie tekstkader). Uit de pilots blijkt dat de aangroei van zoetwaterlenzen sneller plaatsvindt dan eerder gedacht (zie tekstkader), met name op het zandperceel (Tolk en Velstra, 2016). Zowel bij type A (verhoogd ontwateringsniveau bij bestaande drainage) als bij type C (verdiepte aanleg met verhoogd ontwateringsniveau) zijn goede resultaten bereikt.

Bij type A neemt de dikte van de zoetwaterlens toe, met de grootste toename in het midden tussen de

Verziltingsbestrijding in Hornhuizen

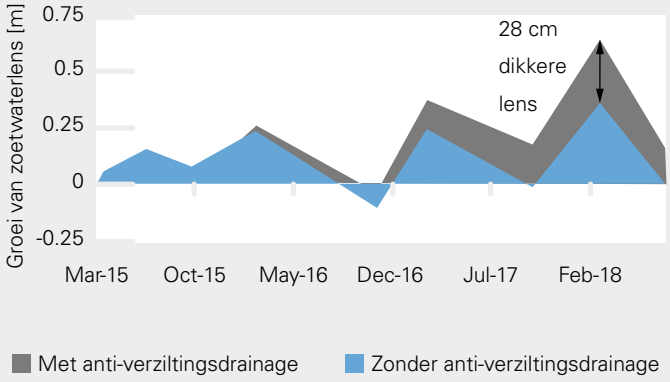
Op het zandige perceel (Hornhuizen) is van nature sprake van dunne, platte zoetwaterlenzen. Bij aanvang van de proef leek eigenlijk geen sprak van zoet grondwater maar was dit brak tot zout (ongeveer de helft zeewater). Dit komt door de hoge doorlatendheid, de zoute kweldruk en de aanwezigheid van een slechter doorlatende laag onder de drains. Op dit perceel is aan het eind van de natte winterperiode maart 2017 een duidelijke toename van de zoetwatervoorraad gerealiseerd (Figuur 11) ten opzichte van april 2015. Opvallend is de gelijkmatige verzoeting van de ondergrond, ook ter plaatse van de drains. Door het vormen van de zoetwaterbuffer is de kans op verzilting hier sterk afgenomen.



Figuur 11: Weergave van verzoeting (vergroting van zoetwatervoorraad) na vier jaar. De blauwe kleur is een indicatie van verzoeting. De drains zijn weergegeven als zwarte cirkels en de oorspronkelijke aanlegdiepte van de drains zijn weergegeven in lichtgrijs.

Verziltingsbestrijding in Herbaijum

Op het kleiperceel (Herbaijum) is sprake van zeer geprononceerde zoet-waterlenzen tot ca. 2,0 à 2,5 m onder de drainage (Figuur 12). Figuur 12 toont de toename van diepte van het zoet-zoutgrensvlak over de periode van vier jaar. Bij toepassing van anti-verziltingsdrainage blijkt dat op het kleiperceel de dikte van de zoetwaterlens toeneemt. De dikte van de zoet-waterlens varieert gedurende het jaar, met een maximale dikte aan het eind van de winter.



Figuur 12: Groei van de zoetwaterlens bij toepassing van anti-verziltingsdrainage (grijs) en zonder anti-verziltingsdrainage (blauw) op het kleiperceel te Herbaijum.

drains. Type C versterkt niet alleen de zoetwaterlens tussen de drains maar ook ter plaatse van de drains. Met andere woorden: de dikte van de gehele zoetwaterbuffer neemt toe (zie Figuur 11).

Het effect van anti-verziltingsdrainage type A op de zoetwatervoorraad in percelen is voor het gehele projectgebied in kaart gebracht met behulp van een reeks simulaties met het model SVOffice. SVOffice simuleert in 2D op zeer hoog detailniveau (cm) volledig geintegreerd verzadigde en onverzadigde zone rekeninghoudend met dichtheidsverschillen door zout.

Vijf representatieve bodemtypes in het verziltingsrisicogebied zijn gemodelleerd (Tabel 2). De selectie aan bodems is gemaakt op basis voorkomen in het kustzone van de Waddenregio in combinatie met het te verwachten verschil in effect tussen bodemtypes onderling. De bodemtypes komen veel voor in het projectgebied, waarvan bodemtype T3 het meest.

Bodemtype	T1	T3	T5	T13	T15
0-50 cm	Zand	Klei	Klei	Klei	Veen
50-100	Zand	Klei	Klei	Klei	Veen
100-150	Zand	Klei	Zand	Klei	Veen
150-200	Zand	Klei	Zand	Klei	Klei
200-250	Zand	Klei	Zand	Klei	Klei
250-300	Zand	Klei	Zand	Zand	Klei
300-350	Zand	Klei	Zand	Zand	Klei
350-400	Zand	Zand	Zand	Klei	Klei
400-450	Zand	Zand	Zand	Zand	Klei
450-500	Zand	Klei	Klei	Zand	Klei

Tabel 2: Overzicht van opbouw van vijf gesimuleerde bodemtypes

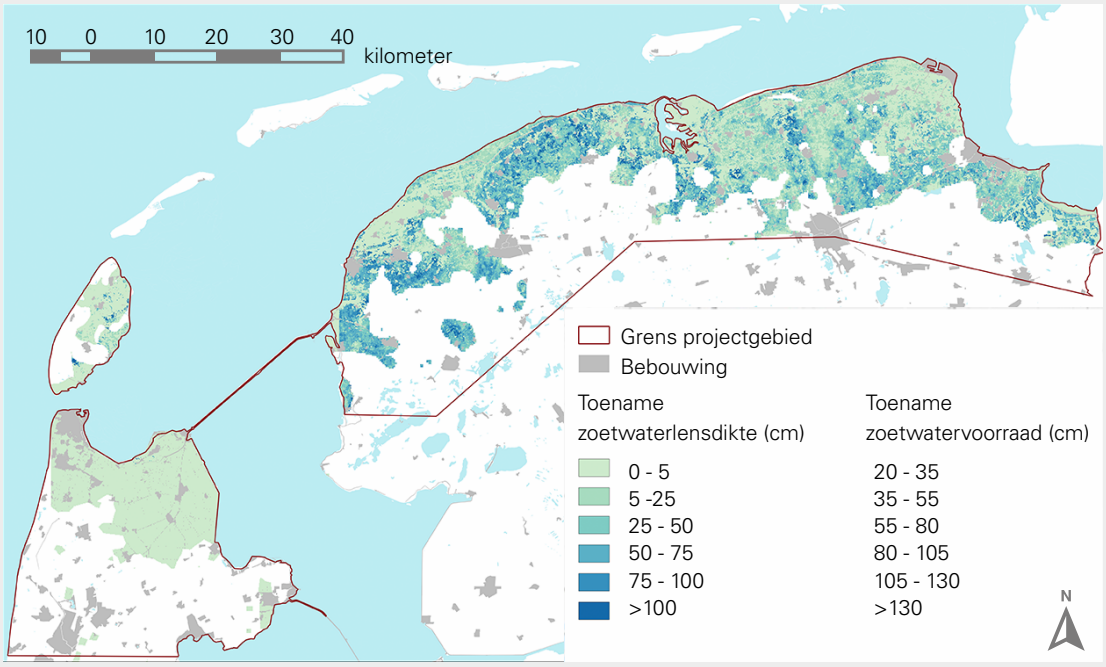
De berekeningen gaan uit van een gedraineerd perceel met een drainafstand van 10 meter en een draindiepte van 1m. Het zoet-zout grensvlak is gebaseerd op een zoutgehalte van 1000 mg/l (Acacia Water, 2013).

Uit de simulaties blijkt dat de dikte van de zoetwaterlens toeneemt als anti-verziltingsdrainage wordt toegepast. Het effect op de totale zoetwatervoorraad is groter dan het effect op de zoetwaterlensdikte alleen vanwege de additionele zoetwaterbuffer dat tussen de diepte van de drainagebuizen en het verhoogd peilniveau ontstaat.
De grootte van het effect op zoetwaterlensdikte en zoetwatervoorraad wordt vooral bepaald door het bodemtype en in mindere mate de kwelflux. De relatie tussen kwelflux en effect van anti-verziltingsdrainage is complex en verschilt onderling tussen bodemtypes.

Figuur 13 toont aan dat de zoetwaterlensdikte in het perceel tot 100 cm groter is als anti-verziltingsdrainage met een peil van 30 cm toegepast wordt. Het effect op de totale zoetwatervoorraad in het perceel is ongeveer 30 cm groter dan het effect op zoetwaterlensdikte. Anti-verziltingsdrainage is over het algemeen effectiever op kleibodems dan op zandbodems.

3.3.2 Zoutbelasting

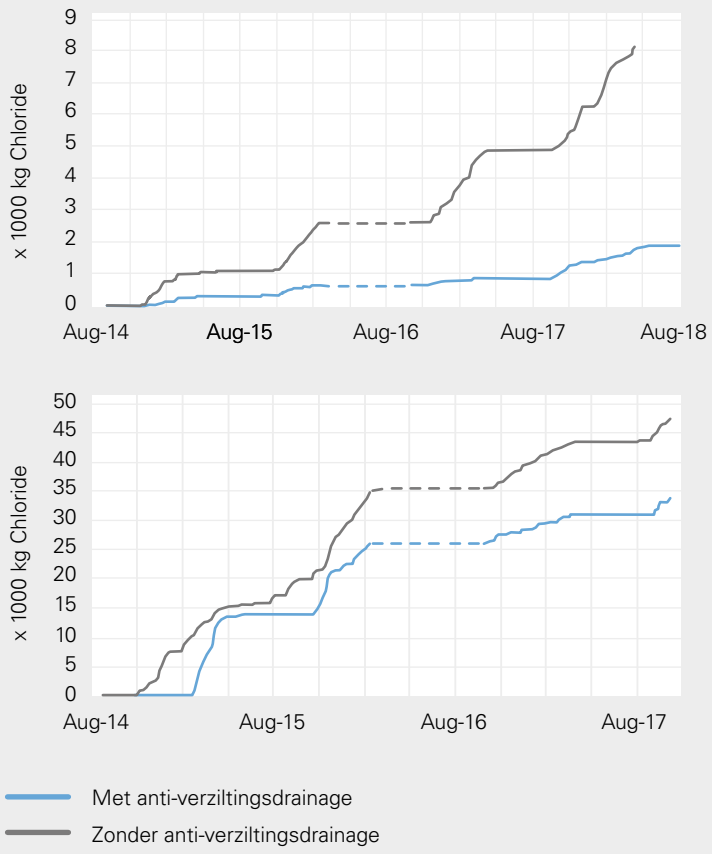
Het verzoeten van het perceel bij toepassing van anti-verziltingsdrainage heeft aantoonbaar tot gevolg dat de zoutbelasting uit de drains naar de sloten afneemt in het voor-



Figuur 13: De toename in de dikte van de zoetwaterlens (cm) en in de zoetwatervoorraad (cm) bij toepassing van anti-verziltings-drainage met een peilopzet van 30 cm ten opzichte van de situatie zonder anti-verziltingsdrainage. De toename in zoetwatervoorraad houdt rekening met de additionele zoetwaterberging dat onstaat tussen de diepte van de drainagebuizen en het verhoogd peil-niveau. De kaart is geschikt voor gebruik op regionaal niveau; het resultaat kan in werkelijkheid lokaal afwijken.

Zoutbelasting bij anti-verziltingsdrainage

Een analyse van wekelijkse watermonsters en afvoer-metingen toont aan dat bij toepassing van anti-verzil-tingsdrainage de gemiddel-de chlorideconcentratie van het drainagewater is vanuit het kleiperceel (Herbaijum) 30% lager is en de zoutbe-lasting uitgedrukt in kg chlo-ride tot wel 80% is afgeno-men. Op het zandperceel (Hornhuizen) is de gemid-delde zoutgehalte van het drainwater niet veranderd, maar vindt minder afvoer plaats waardoor de zout-vracht met 35% is afgeno-men. Figuur 14 laat zien dat de zoutbelasting bij toepas-sing van anti-verziltingsdrai-nage in de tijd afneemt ten opzichte van conventionele drainage.



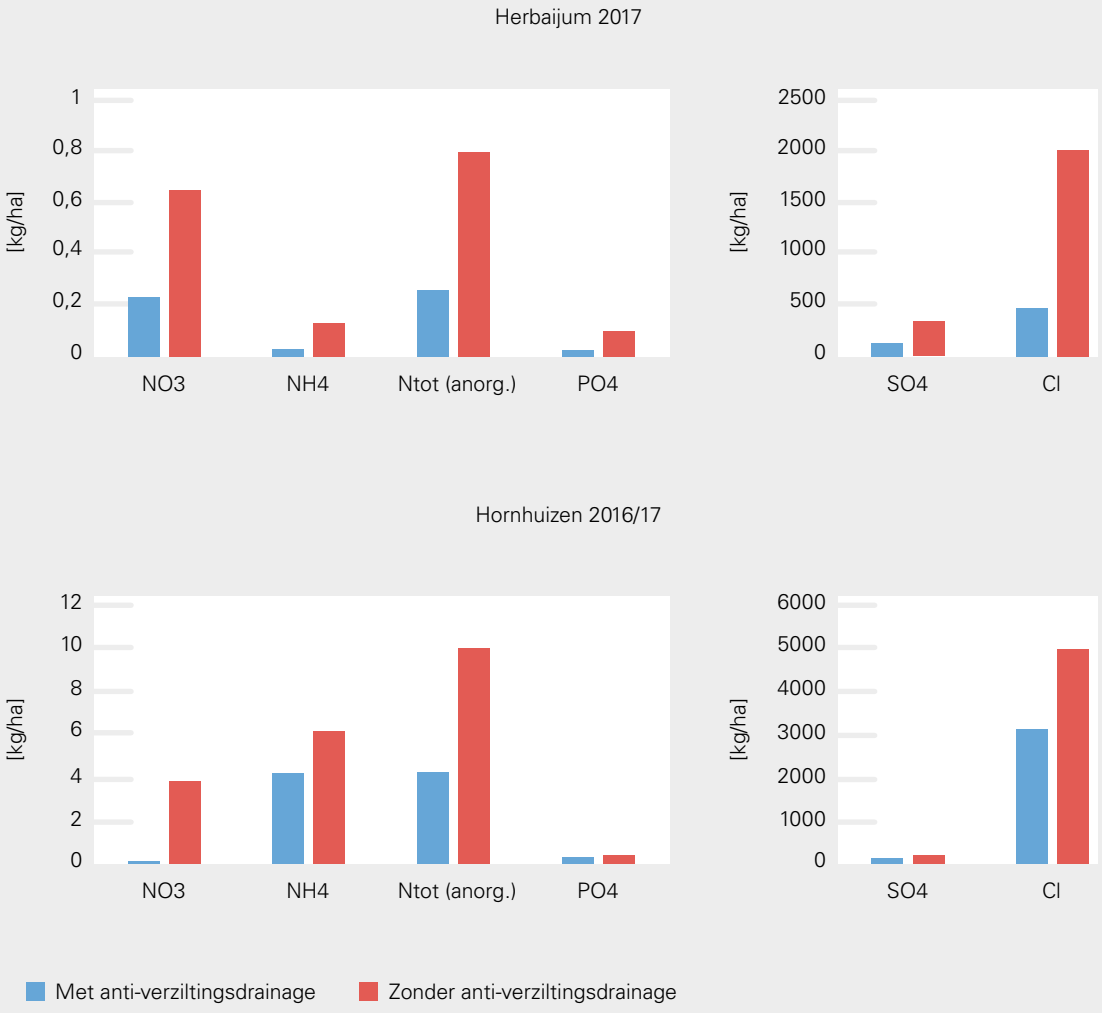
Figuur 14: Lagere zoutbelasting naar de sloot bij toepassing van anti-verziltingsdrainage type A in Herbijaum (boven) en type C in Hornhuizen (onder)).

Uitstroom van nutriënten bij anti-verziltingsdrainage

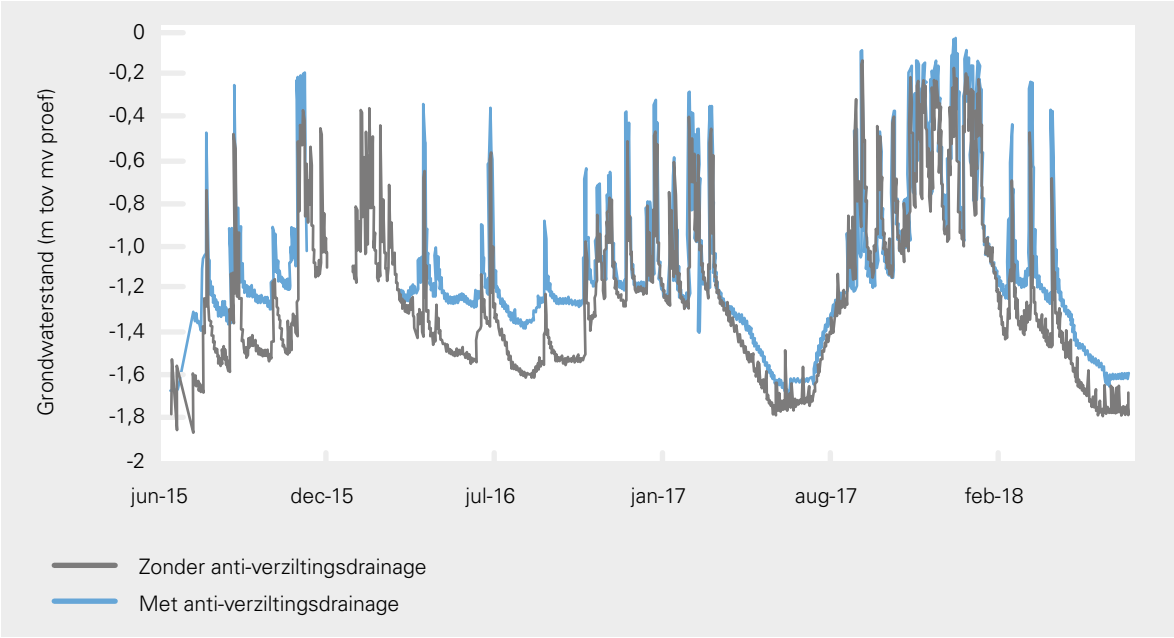
Toepassen van anti-verziltingsdrainage met een verhoogd ontwateringsniveau zorgt ervoor dat in de zomermaanden waardevol zoet regenwater veelal volledig wordt vastgehouden en er vrijwel geen drainagewater wordt afgevoerd. Dit zorgt er ook voor dat de totale vracht van nutriënten naar de sloot veel lager is. Dit blijkt uit een vergelijking van continumetingen van de hoeveelheid drainafvoer gecombineerd met wekelijkse waterkwaliteitsbemonstering van de drainafvoer tussen het proefvak mét en het proefvak zonder toepassing van anti-verziltingsdrainage.

Op het kleiperceel van Herbaijum (grasland) is vastgesteld dat in vergelijking met de opgebrachte hoeveelheid mest de uitstroom van nitraat laag is vanuit zowel het proefvak als het referentievak. Ook blijkt dat anti-verziltingsdrainage (type A) in het proefvak met een lagere afvoer van drainagewater leidt tot een verlaging van totale vrachten van nutriënten. De vracht van anorganische stikstof is met 67% verlaagd en er is 70% minder fosfor afgevoerd. Ook de chloride en sulfaatvrachten zijn met respectievelijk 76% en 63% verminderd door anti-verziltingsdrainage.

Een vergelijkbaar beeld treedt op in het zandperceel van Hornhuizen met anti-verziltingsdrainage (verdiept aangelegde drainage en verhoogd ontwateringsniveau, type C). Door de combinatie van lagere concentraties in het drainagewater in de winter en beperkte of afwezige afvoer in de zomer en door toepassing van een verhoogd ontwateringsniveau zijn de nitraatvrachten vanuit de drains naar de sloot 90% lager dan die vanuit het referentievak waar geen anti-verziltingsdrainage wordt toegepast. De totale vracht van anorganische stikstof is grofweg gehalveerd. De invloed van anti-verziltingsdrainage op fosfaat is in Hornhuizen niet eenduidig.



Figuur 15: Overzicht van de vrachten aan nutriënten en chloride in drainageafvoer over deels 2016 en 2017. Deze periode is geschikt om metingen met elkaar te kunnen vergelijken gezien de continuïteit aan metigen.



Figuur 16. Grondwaterstanden op een zandperceel (Hornhuizen) bij toepassing van anti-verziltingsdrainage (blauw) en zonder anti-verziltingsdrainage (grijs).

jaar, najaar en winter (zie tekstkader). In de zomer is er geen afvoer. De neerslag die in de zomer valt stroomt niet af, maar wordt vastgehouden in het perceel.

3.3.3 Uitstroom van nutriënten

Anti-verziltingsdrainage (typen A, B en C) reduceert de uitstroom van nutriënten naar het oppervlaktewater (zie tekstkader). Anti-verziltingsdrainage levert hiermee ook een waardevolle bijdrage aan de Kader Richtlijn Water doelstellingen. Doordat bij type A (verhoogd ontwateringsniveau bij bestaande drainage) minder water van het perceel naar de sloten stroomt neemt bij gelijkblijvend nitraatgehalte toch de totale vracht aan nutriënten (in kilogrammen) naar de sloot af. Voor type B en C (verdiepte aanleg drainage) geldt dat door het vergroten van de transportafstand tussen het maaiveld en de drainage de verblijftijd van het grondwater toeneemt. Dit maakt reductie van nitraat en vastlegging van fosfaat mogelijk.

3.3.4 Ontwatering perceel

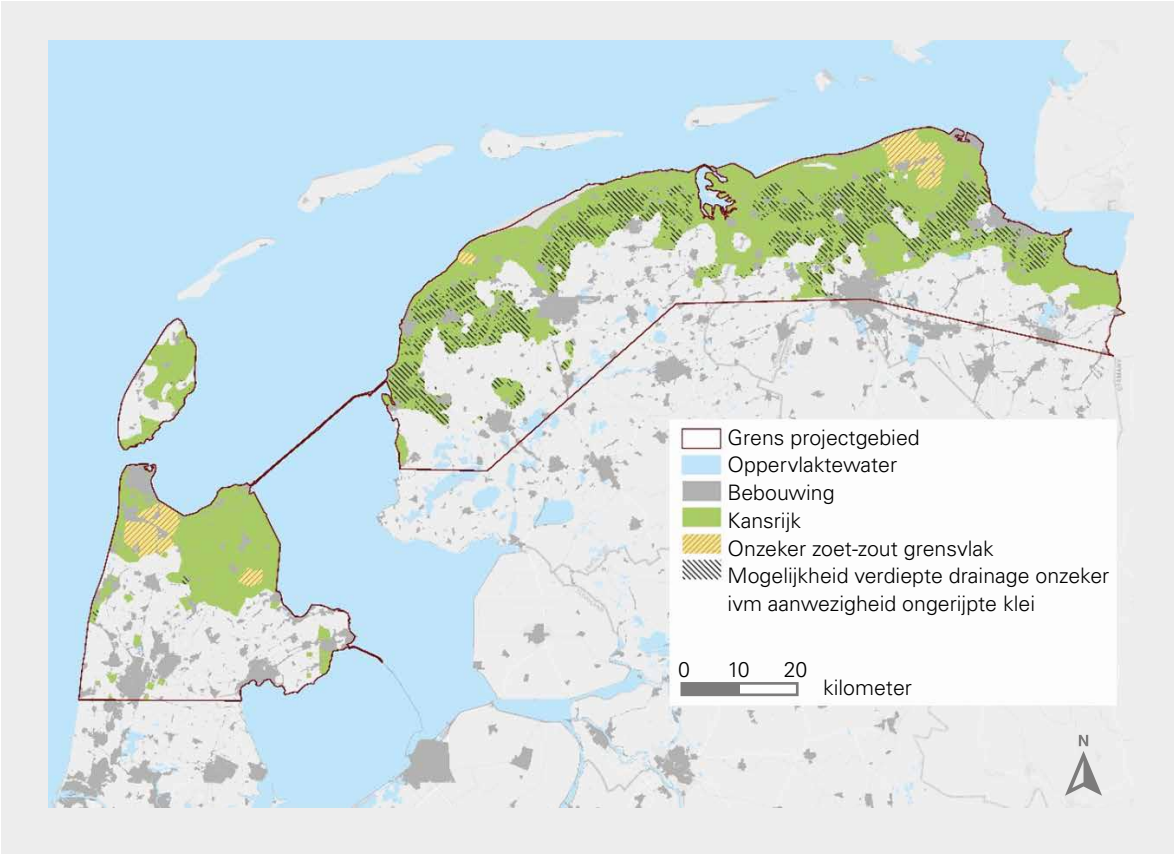
Optredende grondwaterstanden in een perceel bepalen onder andere de vochtomstandigheden voor het gewas maar zijn tevens bepalend voor de begaanbaarheid, of draagkracht, van het perceel. Anti-verziltingsdrainage handhaaft de ontwaterende werking binnen een perceel op zowel klei- als zandondergrond. Ook blijkt dat het gehanteerde (verhoogde) ontwateringsniveau (40cm) weinig verandert aan de hoogst optredende grondwaterstanden (bij regenbuien). Ook op het kleiperceel zijn de gemiddelde grondwaterstanden tussen een perceel met en zonder anti-verziltingsdrainage nagenoeg vergelijkbaar. De mate van ontwatering van het perceel hangt vooral af van de doorlatendheid van de bodem; hoe lager de doorlatendheid hoe minder actief de grondwaterstand gestuurd kan worden. De praktijk blijkt dat aanpassing (verhoging/verlaging) van het ontwateringsniveau vier tot zes keer plaatsvindt.

Om de gevolgen te onderzoeken van een (extreem) hoger ontwateringsniveau is op het zandperceel te Hornhuizen in 2017 gedurende het hele jaar een maximaal ontwateringsniveau van 40cm hoger dan op het referentievak gehanteerd. Ook bij dit niveau bleven de omstandigheden op het perceel goed. In Figuur 16 is te zien dat bij een dergelijke verhoging een gemiddelde verhoging van het grondwater van 16cm optreedt. De verhoging heeft een beperkt effect op de pieken in de grondwaterstanden na een bui. De uit de metingen afgeleide waarde voor de GHG is dan ook slechts 3 cm hoger ten opzichte van het gemiddelde. De GLG daarentegen was 18 cm hoger, wat aangeeft dat er zoet water wordt gebufferd.

Zelfs bij het (extreem) verhogen van het ontwateringsniveau bij anti-verziltingsdrainage op het zandperceel zijn geen merkbare verschillen in de begaanbaarheid van het land of verschillen in vochtomstandigheden voor het gewas geconstateerd tussen het perceel met en het perceel zonder anti-verziltingsdrainage.

3.4 Anti-verziltingsdrainage in het projectgebied

De toepasbaarheid en effectiviteit van een systeem hangt af van de fysische kenmerken zoals de



Figuur 17. Toepasbaarheid van anti-verziltingsdrainage (type A, B en C) in het projectgebied. Indien ongerijpte klei voorkomt is het onzeker of verdiept aanleggen van drainage (type B en C) mogelijk is. Deze kaart is alleen geschikt voor toepassing op regionale schaal; lokaal kan de uitkomst in realiteit anders uitpakken.

bodemopbouw, doorlatendheid, kweldruk, drainafstand en de mate van drooglegging. Anti-verziltingsdrainage is kansrijk in grote delen van de waddenregio, zie Figuur 17. Hierbij ligt de focus op gebieden met een zoet-zout grensvlak binnen vijf meter beneden maaiveld (ondiep). In enkele gebieden is sprake van ongerijpte klei onder het drainageniveau. Hier vormt zich een platte zoetwaterlens (paragraaf 2.2.1). Het toepassen van anti-verziltingsdrainage kan daardoor resulteren in een beperkter effect op de toename van de neerslaglens.
De totale zoetwatervoorraad neemt wel toe doordat een zoetwaterlaag tussen de diepte van de drainagebuizen en het verhoogd peilniveau onstaat.

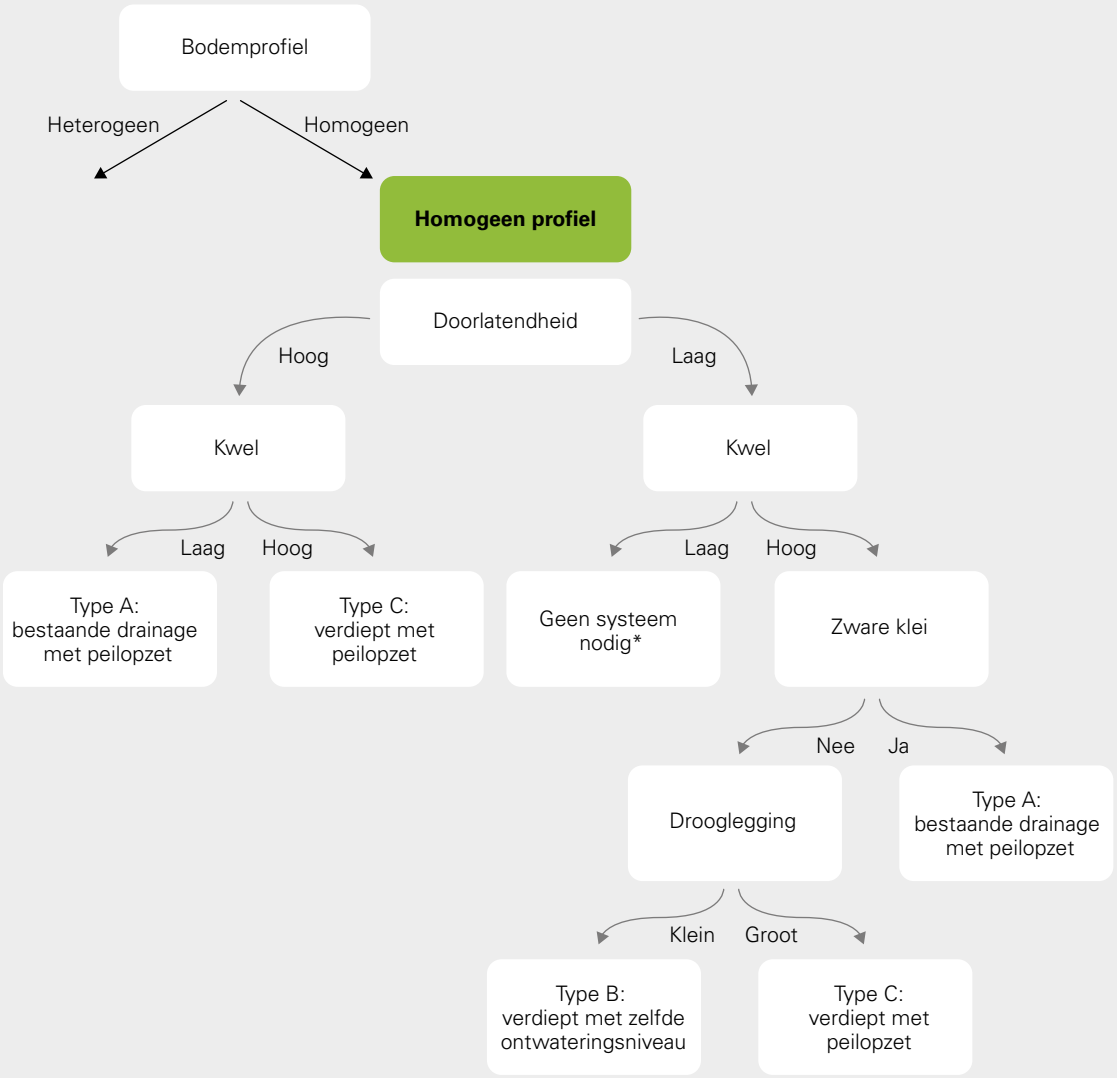
Welke type anti-verziltingsdrainage meest kansrijk is, verschilt per locatie. Voor drie representatieve bodemprofielen zijn beslisdiagrammen opgesteld, waarmee bepaald kan worden welk type anti-verziltingsdrainage het meest kansrijk is op een locatie in het projectgebied. Ter illustratie is in figuur 18 één van de beslisdiagrammen weergegeven, waarbij is uitgegaan van een homogeen bodemprofiel (één grondsoort in de bovenste meters van de bodem). Overige beslisdiagrammen zijn te vinden in de technische achtergrondrapportage.

3.5 Anti-verziltingsdrainage in praktijk

3.5.1 Aanpassen of vernieuwen van drainage

Een logisch moment om anti-verziltingsdrainage toe te passen is op het moment dat de bestaande drainage aan vervanging toe is. Met behulp van het beslisdiagram (zie 3.4) kan een perceeleigenaar verkennen of wijziging van drainageafstand of -diepte noodzakelijk is en of het toepassen van anti-verziltingsdrainage nodig en mogelijk is. Het wordt aangeraden hiervoor advies te laten uitbrengen in combinatie met metingen in en om het perceel om te komen tot een perceelsspecifiek ontwerp.

Bij behoud van bestaande drainage kan door het aanleggen en koppelen van een verzamelleiding en het installeren van een verzamelput met een eenvoudige ingreep bestaande drainage omgebouwd worden tot anti-verziltingsdrainage type A (Figuur 10). Dit is de aanpak die ook op de pilotlocatie in Herbaijum met succes is gevolgd. Het aanbrengen van een doorspoelvoorziening verge-



Doorlatendheid:

- Laag (zware zavel en zware klei)
- Hoog (grof en fijn zand, lemig zand, lichte zavel)

Kwe:l

- Hoog (>1 mm/d)
- Laag (<0.25 mm/d)

Drooglegging:

- Groot (dieper dan ca 2m – mv)
- Klein (ondieper dan ca. 0,5m – mv)

*indien er toch zout grondwater voorkomt (zoals in oost-Groningen) volstaat type A (bestaande drainage met peilopzet)

Figuur 18. Voorbeeld van beslisdiagram voor bepaling van het meest kansrijke type anti-verziltingsdrainage bij een homogeen bodemprofiel. Lokaal onderzoek en ontwerp moet uiteindelijk uitsluitsel geven.

makkelijkt het onderhoud van het systeem.

3.5.2 Operationeel beheer

Bij anti-verziltingsdrainage is het van belang het operationeel beheer (regeling van het ontwateringsniveau) af te stemmen op de grondwatersituatie in relatie tot grondsoort en gewas. Dit geldt vooral voor de varianten met een verhoogd ontwateringsniveau (type A en C). Een juiste sturing van het ontwateringsniveau kan ervoor zorgen dat er voldoende ruimte in de bodem overblijft om (grote) buien te kunnen bufferen en water vast te houden wanneer nodig. Dat wil zeggen 'sparen als het

kan en ontwateren als het moet'. De reactiesnelheid van de ondergrond bepaalt in welke mate gestuurd moet worden. In kleigronden reageert de bodem trager. Zo is op de pilotlocatie te Herbaijum zoetwater vastgehouden door in de natte winterperiode het peil te verhogen. Draagkracht van de ondergrond en goede groeiomstandigheden zijn behouden door het peil in het voorjaar te verlagen zodat het perceel goed kon uitdrogen.

In zandgronden reageert de bodem sneller. Ook hier kunnen te natte omstandigheden voorkomen worden door te anticiperen op grote buien en het peil tijdelijk te verlagen. Op de pilotlocatie te Hornhuizen kon het zandige perceel gedurende de gehele onderzoeksperiode goed ontwaterd worden bij een verhoogd peil.

Het operationeel beheer van het instelbaar ontwateringsniveau kan eenvoudig en handmatig in de put plaatsvinden of op afstand met behulp van een smartphone. Dit dynamische beheer van het ontwateringsniveau is toegepast op beide proefpercelen te Hornhuizen en Herbaijum, waarbij de periode met peilopzet in het zandperceel langer is dan in het kleiperceel. Uit paragraaf 3.3.4 blijkt dat deze peilopzet plaats kan vinden zonder negatieve effecten voor de ontwatering.

Conclusies Anti-verziltingsdrainage

- Drie typen anti-verziltingsdrainagetechnieken (A, B en C) zijn succesvol in het bestrijden van verzilting door zoetwaterlenzen in het perceel te versterken en de zoetwatervoorraad te vergroten.
- Binnen enkele jaren leidt een verhoogd ontwateringsniveau bij toepassing van anti-verziltingsdrainage tot een meetbare toename van de dikte van de zoetwaterlenzen, zowel op een klei- als zandperceel, zonder negatieve effecten op de ontwatering.
- Het verzoeten van het perceel bij toepassing van anti-verziltingsdrainage heeft aantoonbaar tot gevolg dat de zoutbelasting uit de drains naar de sloten afneemt.
- Anti-verziltingsdrainage (typen A, B en C) reduceert de uitstroom van nutriënten naar het oppervlaktewater en levert hiermee een belangrijke bijdrage aan de Kader Richtlijn Water doelstellingen.
- Fysische kenmerken zoals de bodemopbouw, doorlatendheid, kweldruk, drainafstand en de mate van drooglegging zijn bepalend voor welk type anti-verziltingsdrainage het meest geschikt is voor de effectiviteit van anti-verziltingsdrainage.
- De techniek is toepasbaar en kansrijk in de meeste gebieden waar nu of in de toekomst sprake is van verzilting.

4

EIGEN WATER-VOORZIENING

4.1 Afhankelijk van externe zoet-wateraanvoer

Beregening van landbouwgrond in de waddenregio gebeurt voornamelijk met water uit de sloot. Het diepe grondwater is hiervoor te zout. De landbouw in het gebied is daarmee afhankelijk van externe aanvoer van zoetwater uit het IJsselmeer. De verwachting is dat door klimaatverandering de vraag naar zoetwater toeneemt en de zekerheid en beschikbaarheid van zoetwater afneemt. Hier komt bij dat in delen van de Waddenregio beregening van pootaardappelen vanuit het oppervlaktewater niet is toegestaan om infecties (Bruinrot) aan het gewas te voorkomen. Bollentelers maken veel gebruik van slootwater voor beregening. Voor een aantal teelten wordt dit echter vermeden om besmetting met ziektekiemen te voorkomen (o.a. hyacinten) en soms is beregening niet mogelijk omdat de waterkwaliteit ontoereikend is.
Ondergrondse zoetwateropslag op het perceel als eigen zoetwatervoorziening is als één van de maatregelen binnen Spaarwater onderzocht. Het vergroot de zelfvoorzienendheid, waarmee de bedrijfsbasis wordt versterkt. Bovendien kan ondergrondse zoetwateropslag bij (extreme) buien de pieken in waterafvoer naar sloten afvangen.

4.2 Zelfvoorzienend met eigen water-voorziening

4.2.1 Het concept van een eigen watervoorziening

Ondergrondse opslag in de (glas) tuinbouw (bijvoorbeeld Zuurbier et al, 2017) is op meerdere plekken in west-nederland beproeft en wordt ook in de wereld toegepast. Deze vorm van wateropslag dient in de glastuinbouw, met een zeer grote watervraag, voor het aanvullend beschikbaar maken van water naast andere bronnen en veelal als alternatief voor leidingwater. Door de lagere waterdruk en beperkte capaciteit van het leidingnet in de Waddenregio (en grootste deel van Nederland) is leidingwater overigens geen optie voor de akkerbouw en bollenteelt.

In de de 'pilot zelfvoorzienende zoetwaterberging op Texel' (Oord et al, 2016, Antea en Acacia Water, 2015) is voor het eerst een volledige zelfvoorziening voor zoet water voor de volle grondteelt (akkerbouw/ bollenteelt) ontwikkeld. Binnen dit ontwerp is voor het eerst als bron van water het drainagewater van het perceel gebruikt, is dit water opgeslagen in een bassin en vervolgens via subirrigatie en druppelirrigatie beschikbaar gemaakt voor het gewas. Het project is succesvol geweest en is nog altijd in bedrijf.

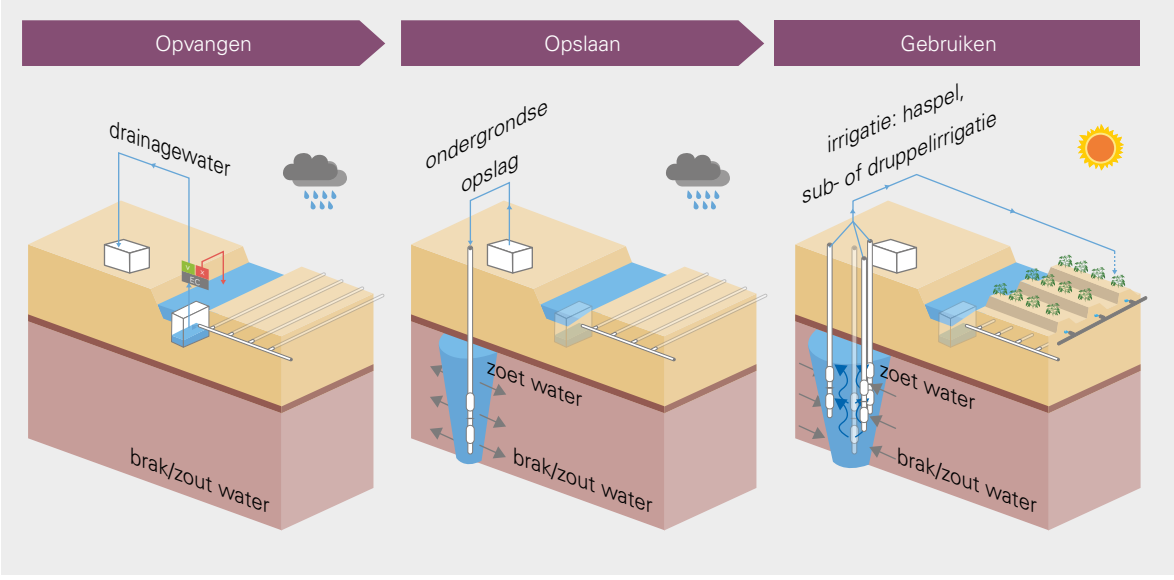
Het voordeel voor de agrariër van ondergrondse ten opzichte van bovengrondse opslag (bassin) is het kleinere ruimtegebruik en daarmee geen verlies van landbouwoppervlak. De vormgeving van ondergrondse opslag, zoals toegepast in de glastuinbouw is meestal te duur voor de bollensector en volle grondteelt. In Bangladesh is door Dhaka University in samenwerking met Acacia Water (2012-2017) gezocht naar een vereenvoudiging. Hieruit bleek dat het met beperkte middelen mogelijk is zoetwater onder gravitatie te infiltreren in een zoute laag om het vervolgens weer succesvol terug te winnen. Inmiddels zijn er meer dan 100 van dergelijks systemen voor drinkwater gerealiseerd. De in Bangladesh opgedane inzichten zijn vertaald naar een vereenvoudigd systeem dat zich leent voor toepassing in de bollensector en volle grondteelt.

4.2.2 Typen eigen water-voorziening

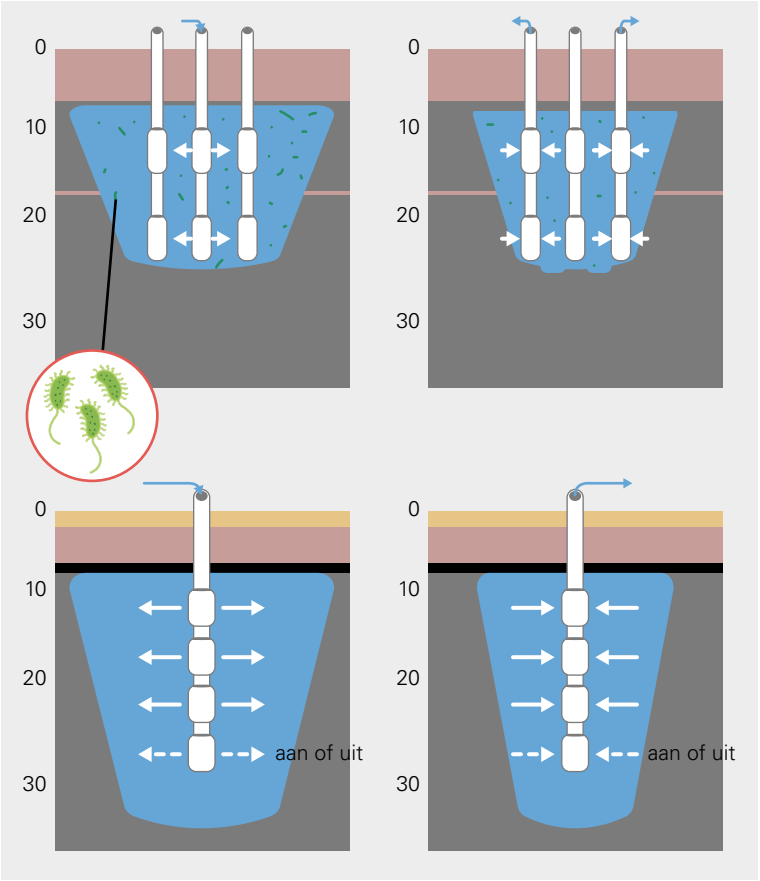
Realisatie van een eigen watervoorziening kan door zoet drainagewater uit het perceel *op te vangen*, *op te slaan* in watervoerende lagen in de ondergrond en beschikbaar te maken voor *gebruik* gedurende het groeiseizoen (Figuur 19).

Een eigen watervoorziening bestaat uit een enkelvoudig of een meervoudig systeem (Figuur 20). Per systeem is het mogelijk meerdere infiltratie- en/of onttrekkingsputten aan te sluiten. Bij een enkelvoudig systeem infiltreert water in dezelfde put als waarin het wordt onttrokken.

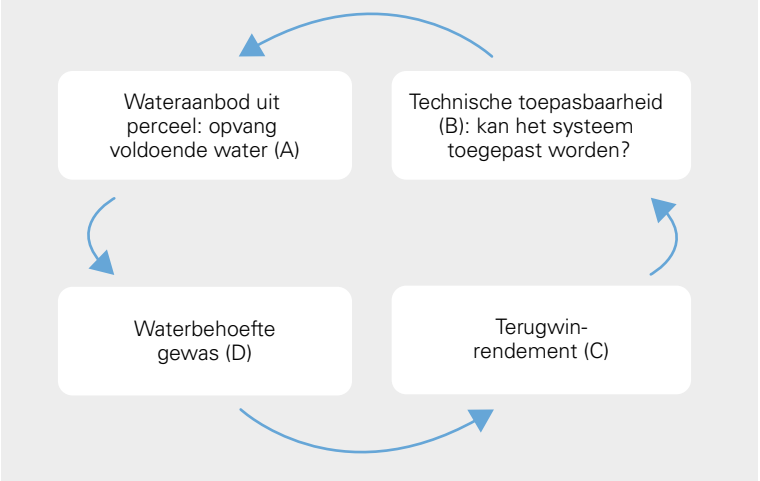
Een innovatie ontwikkeld binnen Spaarwater is een meervoudig systeem. Dit systeem werkt met een aparte infiltratie- en onttrekkingsput. De risico's van opvangen van drainagewater en vervolgens ondergronds opslaan maken al dat de risico's op bruinrot (en andere ziektekiemen) zeer beperkt zijn. Door gebruik te maken van een meervoudig systeem is de verwachting dat door de bodempassage en langere verblijftijd van het water leidt tot een verdere reductie van de risico's door het afsterven van gewasziekten (bijvoorbeeld Bruinrot en Erwinia). Dit biedt op termijn de mogelijkheid dat beregening voor pootaardappelen dan weer kan worden toe-



Figuur 19: Eigen watervoorziening door ondergrondse opslag van zoetwater



Figuur 20: Infiltratie en onttrekking met een meervoudig systeem (links), waarbij afbraak door bacteriën in de ondergrond een rol speelt, en een enkelvoudig systeem (rechts), zoals toegepast op een kleiperceel (Borgsweer) respectievelijk een zandperceel (Breezand)



Figuur 21:Samenhang van viertal factoren (A) bron van water uit perceel en mogelijkheid voor opvang van voldoende water, (B)technische toepasbaarheid, (C)terugwinrendement en (D) waterbehoefte gewas(sen), die bepalen of een systeem haalbaar is en tevens de dimensionering van de afzonderlijke onderdelen bepalen.

gestaan indien aangetoond wordt dat Bruinrot afsterft.
Binnen Spaarwater is een meervoudig systeem toegepast op een kleiperceel (Borgsweer) en een enkelvoudig systeem op een zandperceel (Breezand).

4.2.3 Succesfactoren voor een eigen watervoorziening

Of eigen zoetwatervoorziening met ondergrondse opslag haalbaar is voor de agrariër verschilt per situatie. Vier factoren, die onderling samenhangen (Figuur 21), spelen daarin een rol; (A) de beschikbaarheid en mogelijkheid om voldoende zoetwater op te vangen, (B) de mogelijkheid om het water op te slaan in de diepe ondergrond (technische toepasbaarheid), (C) de mogelijkheid om het water terug te winnen uit de ondergrond (terugwinrendement) en uiteraard (D) de waterbehoefte die afhankelijk is van het gewas.

Voordat een systeem wordt aangelegd is het van belang om voor de beoogde locatie en bedrijf (bedrijven) op deze aspecten in samenhang te toetsen. Elk van de onderdelen A, B, C en D kunnen bepalend zijn voor het uiteindelijke ontwerp, dimensionering en de mate waarin in voldoende zoetwater kan worden voorzien. In de pilots is het gelukt om te voorzien in de waterbehoefte door voldoende water op te vangen, op te slaan, terug te winnen en beschikbaar te maken.

(A) Opvangen van voldoende zoetwater (wateraanbod uit perceel)

De hoeveelheid op te vangen zoetwater hangt af van het neerslagoverschot, het al dan niet voorkomen van zoute kwel en de omvang van het gedraineerde perceelsoppervlak dat gebruikt kan worden om water op te vangen. Dit wordt het *spaaroppervlak* genoemd. In veel percelen is er door het neerslagoverschot in de winterperiode afvoer van voldoende zoet(er) water via de drainage. Zoute kwel in een gebied kan tot gevolg hebben dat er minder zoetwater van het perceel komt of de periode waarin dit uit het perceel stroomt korter is.

Het vergroten van het spaaroppervlak kan ervoor zorgen dat meer zoetwater beschikbaar is voor opslag en gebruik. Mocht de mogelijkheid bestaan om het spaaroppervlak groter te laten zijn dan het

Vormen van de zoetwaterbel

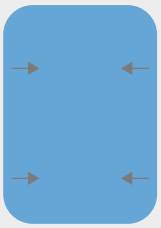
Bepalend voor het vormen van een zoetwaterbel bij ondergrondse opslag zijn de eigenschappen van de watervoerende laag (dikte en doorlatendheid van de zandlagen) en eventueel aanwezige (horizontale) grondwaterstroming. Daarnaast beïnvloedt de aanwezigheid van afsluitende lagen boven en onder de putfilters de zoetwaterbel. Een belangrijke component bij infiltratie is ook het zoutgehalte van het grondwater in de watervoerende laag. Onder invloed van dichtheidsverschillen drijft het zoete water in deze milieus op het zoute water. Daardoor verandert de vorm van de infiltratiebel. Afhankelijk van de mate van dichtheidsverschil zijn er drie verschillende vormen infiltratiebellen (Figuur 22):

Cilindervormige bel: wanneer er geen of een gering dichtheidsverschil is tussen het infiltratiewater en de achtergrondconcentratie van het grondwater, neemt de infiltratiebel een cilindervorm aan. In theorie kan in deze situatie 100% (of meer, indien ook het oorspronkelijke grondwater onttrokken wordt) van het geïnfiltreerde water worden teruggewonnen over de gehele lengte van de zoetwaterbel. Het effectieve terugwinrendement ligt in de praktijk lager door menging van water.

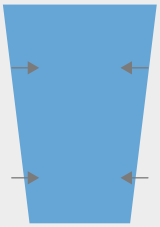
Kegelvormige bel: bij een significant dichtheidsverschil neemt de infiltratiebel door lichte opdrijving een kegelvorm aan. Water kan over de hele lengte worden teruggewonnen, waarbij verzilting aan de onderzijde van de bel het winwater uiteindelijk ongeschikt maakt. Het terugwinrendement ligt in de praktijk tussen de 25% en 50%.

Piramidevormige bel: bij een groot dichtheidsverschil neemt de infiltratiebel een piramidevorm aan. Water kan enkel bovenin de infiltratiebel worden teruggewonnen, omdat sterke opdrijving en menging het water aan de onderzijde van de infiltratiebel ongeschikt maakt voor onttrekking. Het terugwinrendement ligt in deze situatie lager dan 25% en toepassing van ondergrondse opslag vraagt dan om maatwerk.

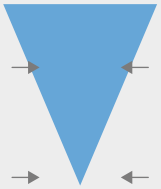
Cilindervormige bel



Kegelvormige bel



Piramidevormige bel



gebruikoppervlak, dan kan ook bij een relatief kleine fractie zoetwater in de drainageafvoer een voldoende volume zoetwater worden gespaard. Omgekeerd geldt ook dat bij een ruime beschikbaarheid van zoet water uit een perceel de omvang van het *spaaroppervlak* kleiner mag zijn. Hiermee kunnen kosten worden gereduceerd.

(B) Technische haalbaarheid opslaan in de ondergrond

Water kan opgeslagen worden in relatief goed doorlatende pakketten, ofwel zandlagen (zie Figuur 28). In veel gebieden in Nederland komen dergelijke goed doorlatende pakketten voor net onder de deklaag, veelal op ca. 10m tot 50m diep (maar dieper kan ook). Een hogere doorlatendheid van deze pakketten is gunstig voor de infiltratie van water onder gravitatie. Een te hoge doorlatendheid kan er voor zorgen dat een zoete bel sneller gaat opdrijven. Als praktische ondergrens geldt een doorlaatfactor van 2,5 m/dag. Bij een lagere doorlatendheid kan infiltratie onder gravitatie praktische beperkingen opleveren.

(C) Terugwinrendement

Het terugwinrendement speelt ook een rol voor het al dan niet succesvol toepassen van ondergrondse opslag (Ward et al, 2009 en Bakker, 2010). Het terugwinrendement is de fractie van het opgeslagen water dat weer als zoetwater teruggewonnen kan worden uit de ondergrond. Het terugwinrendement hangt af van de vorm van de zoetwatervoorraad (zoetwaterbel) in de ondergrond. Het terugwinrendement is hoog wanneer de zoetwaterbel een cilindervorm aanneemt. Naarmate de vorm hiervan afwijkt, neemt ook het terugwinrendement af. Een oorzaak in de afwijking kan liggen in de aanwezigheid van bijvoorbeeld horizontale stroming in het watervoe-

rend pakket en dichtheidsverschillen tussen het geïnfiltreerde zoete water en het oorspronkelijke grondwater (zie ook tekstkader). Ook bij een laag terugwinrendement kan een agrariër zelfvoorzienend zijn door bijvoorbeeld de verhouding van *spaaroppervlak* en *gebruikoppervlak* af te stemmen op de waterbehoefte.

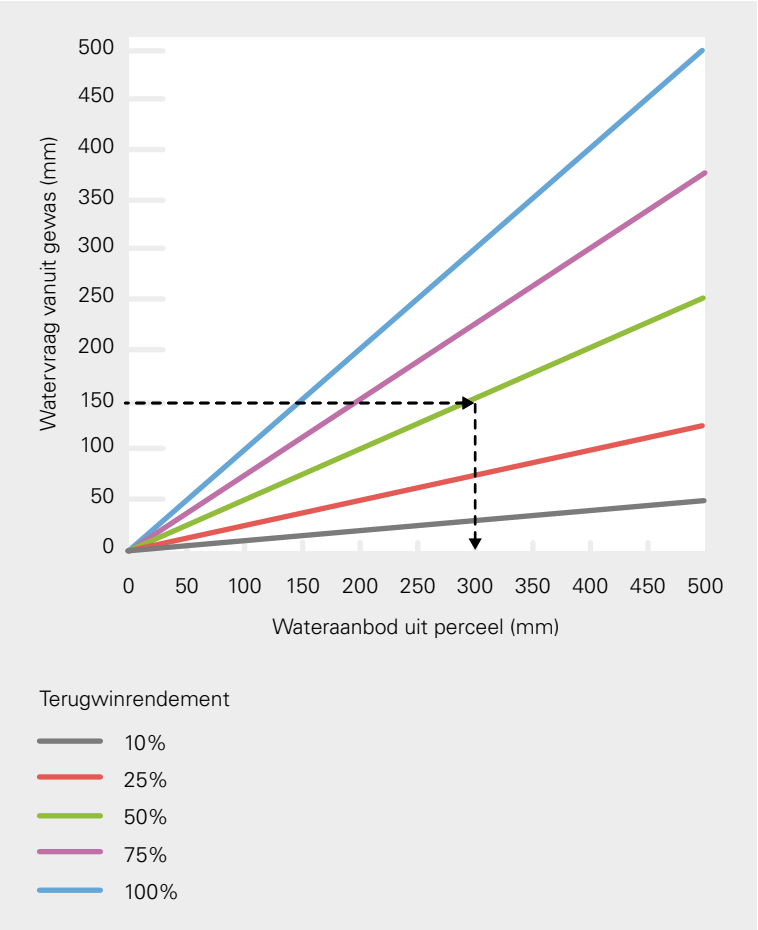
(D) Mate van waterbehoefte/ waterbeschikbaarheid gewas
Hoeveel water er nodig is verschilt per gewas en hangt ook samen met de grootte van het oppervlak van de gewassen waarvoor het water gebruikt wordt (dit wordt het *gebruiksoppervlak* genoemd). Daarnaast bepaald de manier van watergift, haspel, druppelirrigatie of subirrigatie de benodigde leveringscapaciteit.

4.3 Effecten van een eigen watervoorziening

4.3.1 Zelfvoorzienendheid

Ondergrondse opslag kan een agrariër (deels) zelfvoorzienend maken in de waterbehoefte. Dit is aangetoond met de pilots op een kleiperceel (Borgsweer) en zandperceel (Breezand), waar jaarlijks gemiddeld respectievelijk 180 mm tot 300 mm zoetwater is opgevangen en opgeslagen in de ondergrond.

Uit modelberekeningen met een gekalibreerd dichtheidsafhankelijk model (SEAWAT) blijkt dat met een ondergronds opslagsysteem in Breezand een terugwinrendement van 60% mogelijk is, als elke cyclus maximaal onttrokken wordt. Voor Breezand komt dat neer op 180 mm beschikbaar water. Bij een dergelijk rendement kan met 1 hectare *spaaroppervlak* effectief 1,5 à 2 hectare gebruikoppervlak geïrrigeerd worden. De verhouding tussen het spaaroppervlak en gebruikoppervlak is hier 1:2. Het terugwinrendement hangt nauw samen met het jaarlijks geïnfiltreerde volume water, de verticale doorlatendheid van het watervoerend pakket en de concentratie opgeloste stoffen in het oorspronkelijke grondwater.



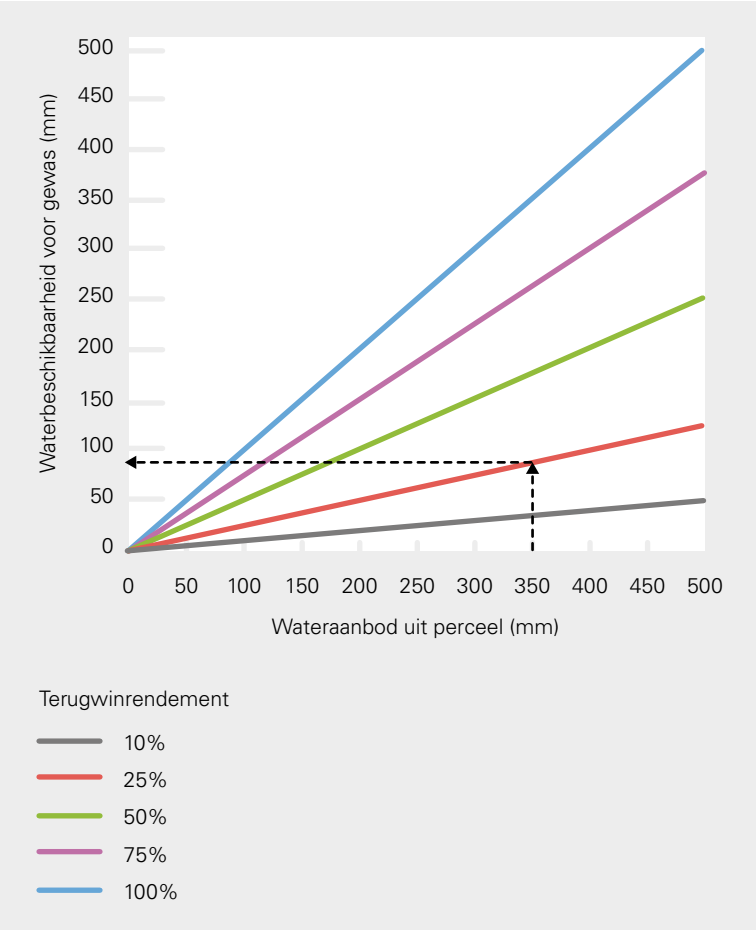
Figuur 23: Samenhang tussen de watervraag vanuit gewas en wateraanbod uit perceel bij verschillende terugwinpercentages. Is de watervraag bijvoorbeeld 150mm, dan is er bij een terugwinrendement van 50% 300mm aanbod uit perceel nodig

In hoeverre de agrariër zelfvoorzienend kan zijn met ondergrondse opslag hangt af van de watervraag vanuit gewas, het terugwinrendement en het wateraanbod vanuit het perceel (hoeveel water kan er gespaard worden), zie Figuur 23 en Figuur 24.

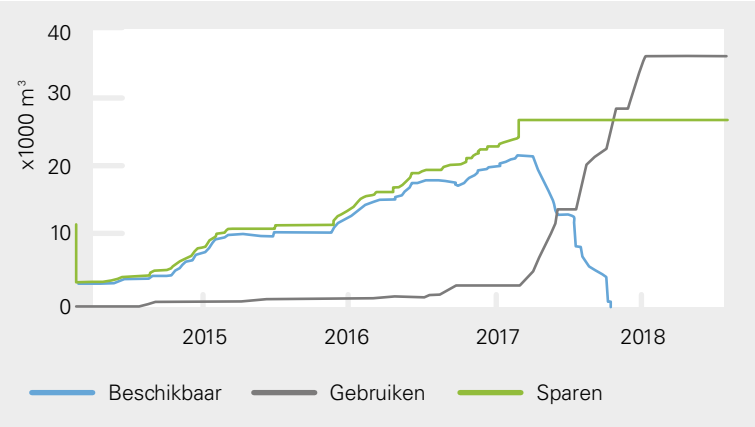
In 2017 is als test in Breezand al het zoete water uit de zoetwaterbel onttrokken (Figuur 25). Uiteindelijk is een grote hoeveelheid onttrokken; groter dan er jaarlijks geïnfiltreerd was, doordat in voorgaande jaren door beperkt watergebruik een grote buffer was aangelegd. Dit kan ook bewust worden ingezet in jaren met een groot neerslagoverschot. Met een dergelijk Spaarjaar kan een grotere voorraad zoet water worden opgeslagen en dit voorbeeld illustreert de potentie van het systeem om in een droog jaar meer water beschikbaar te hebben.

4.3.2 Afname zout- en nutriëntenuitstroom

Ondergrondse opslag leidt tot een afname van de uitstroom van zout, nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen via de drainage naar het oppervlaktewatersysteem. Een groot deel van het water wordt immers opgevangen en vastgehouden in de ondergrond. Bovendien vindt reductie en vastlegging van nutriënten in de ondergrond plaats,



Figuur 24: Samenhang tussende waterbeschikbaarheid voor gewas en wateraanbod uit perceel (grafiek onder) bij verschillende terugwinpercentages. Bij een wateraanbod vanuit het perceel van bijvoorbeeld 350mm en een terugwinrendement van 25% is er 87,5mm beschikbaar voor het gewas



Figuur 25: Cumulatieve hoeveelheid gespaard, gebruikt en beschikbaar water bij het ondergronds opslagsysteem op het zandperceel (Breezand).

met minder emissie naar het oppervlaktewater tot gevolg.

Vergelijkingen van de vrachten, berekend uit de wekelijkse waterkwaliteitsbemonstering van drainagewater en de corresponderende debieten gedurende 2017 en 2018 op het zandperceel (Breezand) en op het kleiperceel (Borgsweer), laten deze afname zien. Op het zandperceel (Breezand) worden de vrachten verlaagd van chloride (93%), anorganische stikstof (79%) en fosfor (80%) naar de sloot door gebruik van de eigen watervoorziening en ondergrondse opslag. Op het kleiperceel (Borgsweer) bedraagt de afname voor anorganische stikstof 23% en voor fosfor 36%. De afname van de chloridevracht bedraagt hier 35%.

Op basis van berekeningen met 1D en 3D modellen voor reactief transport in het watervoerend pakket (PHREEQC, PHT3D) blijkt dat na 15 jaar gebruik van de ondergrondse opslag de reactiviteit in het grootste deel van de zoetwaterbel nog steeds hoog is (Figuur 26), maar dat deze wel afneemt direct rond de infiltratieput.

De reactiviteit resulteert in vrijwel volledige afbraak van nitraat. Ammoniumconcentraties in het drainagewater zijn laag en veranderen niet na infiltratie in het watervoerend pakket. Bij hoge achtergrondconcentraties van fosfaat in het grondwater is er nauwelijks absorptie. De modelsimulaties geven aan dat er voldoende capaciteit voor reductie en vastlegging van nutriënten in de ondergrond is. Analyses van watermonsters van grondwater en onttrokken water op het zandperceel in Breezand ondersteunen dit resultaat voor nitraat en fosfaat. Ook de analyses in Borgsweer laten een reductie van nitraat zien. Dit betekent dat er ook bij langdurig gebruik geen verhoogde concentraties van nitraat en fosfaat zullen voorkomen in de zoetwaterbel.

De resultaten binnen Spaarwater laten zien dat de adsorptiecapaciteit en reactiviteit van het watervoerend pakket toereikend is voor de afbraak van gewasbeschermingsmiddelen (zie paragraaf 4.3.3) en nutriënten (zie tekstkader). De afbraak en reductie van deze stoffen hangt

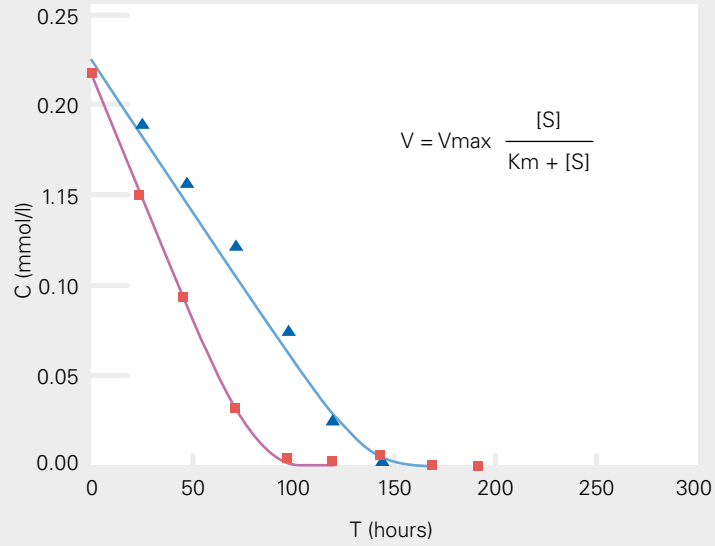
vooral samen met de aanwezigheid van pyriet, organisch materiaal, en de aanwezigheid van bepaalde bacterieën en micro-organismen. Andere mechanismen in de bodem waardoor de concentraties van deze stoffen kunnen afnemen zijn adsorptie en retentie. De vraag hoe deze mechanismes tijdens langdurig gebruik veranderen en wat de effecten zijn worden onderzocht in het AGRIMAR-promotieonderzoek (TU-Delft en Universiteit Utrecht i.s.m. Plant Research International (DLO Wageningen), Acacia Water, Delphy en Broere Beregening) (zie 4.3.3).

4.3.3 Afname uitstroom gewasbeschermingsmiddelen

Infiltratie en onttrekking van drainagewater in de ondergrond leidt tot afbraak en vastlegging van op het perceel toegepaste gewasbeschermingsmiddelen (GBM's). Hierdoor vermindert de uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen naar het oppervlaktewater (zie tekstkader). Bij een kleiondergrond is deze afname het grootst door de hogere adsorptiecapaciteit van klei. De overige reductie in uitspoeling is het gevolg van verminderde drainageafvoer naar het oppervlaktewater.

Van de 81 geanalyseerde stoffen zijn er 7 (inclusief desphenyl-chloridazon) die als mobiel en persistente stoffen zijn beschouwd en die mogelijk een risico kunnen vormen voor de grondwaterkwaliteit. Echter, het overgrote deel van deze stoffen wordt niet meer gebruikt in de spuitplannen. Alleen MCPA en glyfosaat worden nog steeds gebruikt.
Aanbevolen wordt daarom om de pesticides met deze twee actieve stoffen (U46M respectievelijk Touchdown) te heroverwegen in combinatie met ondergrondse opslag. Tevens rekening te houden met het feit dat, volgens modelsimulaties, na het aanbrengen van de gewasbeschermingsmiddelen op het land het nog jaren kan duren voordat de gewasbeschermingsmiddelen de drains en daarmee drainagewater bereiken.

De resultaten laten ook zien dat het toepassen van ondergrondse opslag bijdraagt om emissie van GBM te verlagen. Voor wat betreft infiltratie



Figuur 26: Gemeten en gemodelleerde denitrificatie tijdens de push-pulltest in Breezand. De punten zijn de gemeten waardes; de lijn is de best fit voor de 'afbraak' volgens weergegeven Michaelis-Menten kinetiek met de Michaelis-Menten parameters (Vmax en Km) die in de legenda staan.

Reactiviteit van de ondergrond

Op het zandperceel (Breezand) vindt reductie van nitraat in de diepe ondergrond plaats door de oxidatie van pyriet en organisch materiaal. In de winterperiode 2016-2017 bevatte het drainagewater 17 mg/l nitraat. Na verblijf van het water in de ondergrond werd bij onttrekking geen nitraat aangetroffen. Hieruit blijkt dat na meerdere jaren van infiltratie en onttrekking de reactiviteit van de ondergrond blijvend hoog is.

In Borgsweer bevat het drainagewater gemiddeld 41 mg/l nitraat. De concentraties in de zoetwaterbel zijn daarentegen lager dan 0,5 mg/l. Dit wijst op de volledige afbraak van nitraat in de ondergrond. In het watervoerend pakket ter plaatse van de pilotlocatie Borgsweer bevinden zich verhoogde achtergrondconcentraties van chloride, fosfaat, ammonia en nitriet. Door de lage concentraties van het infiltratiewater in Borgsweer worden de concentraties van nutriënten in het watervoerend pakket effectief verlaagd.

Afbraak en vastlegging van gewasbeschermingsmiddelen
In het drainage- en (ondiepe) grondwater zijn op de pilotlocaties gewasbeschermingsmiddelen aangetroffen: stoffen die tijdens de Spaarwaterperiode op het perceel zijn gebracht en afbraakstoffen die mogelijk in eerdere jaren zijn gebruikt.

In 2017 zijn in Breezand in het onttrokken water 34 van de 57 volgens het spuitplan toegepaste stoffen aangetroffen. Bentazon komt het meest voor, gevolgd door cycloxidim en methoxyfenozide. Daarnaast zijn 21 stoffen gevonden die niet in het spuitplan zijn opgenomen. De gemiddelde concentratie van alle geanalyseerde gewasbeschermingsmiddelen in de diepe watervoerend zandlaag (0,14 mg/l) zijn significant lager dan in het drainagewater (0,26 mg/l).

In Borgsweer zijn in 2017 24 gewasbeschermingsmiddelen aangetroffen, waarvan er 17 niet zijn opgenomen in het spuitplan. Op deze locatie is Fluopicolide het meest frequent gevonden, gevolgd door BAM, fluoxastrobin en thiamethoxam. De gemiddelde concentraties in de diepe watervoerend zandlaag (0,11 mg/l) zijn significant lager dan in het drainagewater (0,2 mg/l).

Afbraak en vastlegging van de stoffen door bodempassage zijn de voornaamste reden voor het verschil in concentraties van gewasbeschermingsmiddelen in het grondwater en het drainagewater.

van water met GBM's in de ondergrond geldt op basis van de bevindingen binnen Spaarwater dat de veranderingen, opgetreden in het grondwater, volledig ongedaan kunnen worden gemaakt, en dat het proces dus reversibel is voor wat betreft GBM's. Met andere woorden een zoetwaterbel is beheersbaar in termen van GBM's en het risico van verontreiniging van de diepe ondergrond beperkt is.

In het door Spaarwater geïnitieerde AGRIMAR-promotieonderzoek wordt verder onderzoek gedaan naar de waterkwaliteitsveranderingen tijdens ondergrondse opslag van water. Het doel van dit onderzoek is om de waterkwaliteitsveranderingen ten aanzien van gewasbeschermingsmiddelen, nutriënten en plant pathogene bacteriën te identificeren, te begrijpen en uiteindelijk de kansen en risico's hiervan te bepalen voor de regio Noord-Nederland. De afronding van het onderzoek zal naar verwachting eind 2021 zijn.

4.3.4 Bestrijden van gewasziekten

De risico's van opvangen van drainagewater en vervolgens ondergronds opslaan maken al dat de risico's op bruinrot (en andere ziektekiemen) zeer beperkt zijn. Door gebruik te maken van een meervoudig systeem is de verwachting dat door de bodempassage en langere verblijftijd van het water leidt tot een verdere reductie van de risico's door het afsterven van gewasziekten (bijvoorbeeld Bruinrot en Erwinia). De resultaten binnen Spaarwater en de eerste resultaten van het AGRIMAR promotieonderzoek ondersteunen dit (zie tekstkader). Binnen het AGRIMAR-promotieonderzoek loopt het onderzoek naar de overleving van specifieke plant pathogenen bacteriën nog verder door (zie 4.3.3).

4.4 Eigen watervoorziening in de Waddenregio

Voor een ondergronds opslagsysteem met een jaarlijks infiltratievolume van 25.000 m3 is op basis van de horizontale- en verticale doorlatendheid en het zoutgehalte in de ondergrond het verwachte terugwinrendement en de kansrijkheid van ondergrondse opslag in het projectgebied bepaald (zie Figuur 28). Uit de kaart blijkt dat een ondergronds opslagsysteem in delen van het projectgebied een verwacht hoog terugwinrendement van meer dan 50% zal hebben. Voor veel gebieden ligt het geschatte terugwinrendement tussen de 25% en 50%. Slechts op enkele locaties is het terugwinrendement lager dan 25%. Ondergrondse opslag is mogelijk in grote delen van het projectgebied. In deze gebieden is er geen beperking door lage infiltratiecapaciteit of hoge horizontale stroming. Afhankelijk van de waterbehoefte kan ook bij een lager terugwinrendement toch in voldoende zoetwater worden voorzien.

Uitgangspunten voor de hier getoonde terugwinrendementkaart zijn dat het gaat om een enkelvoudig systeem met een filterlengte van 20 m, dat direct onder de deklaag wordt geplaatst en waarbij geen scheidende laag onder het filter aanwezig is. Afhankelijk van de lokale situatie bepaald of in de praktijk een hoger dan wel lager terugwinrendement haalbaar is. Een vooronderzoek is dan ook altijd nodig de haalbaarheid en dimensionering van een systeem te bepalen.

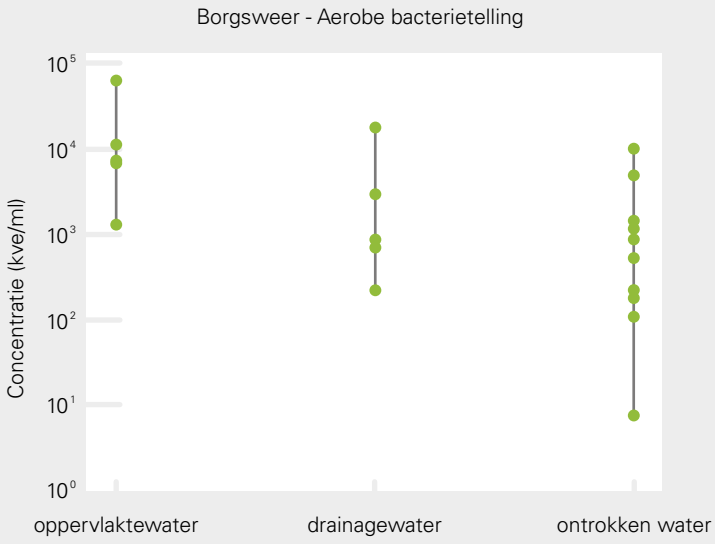
4.5 Doorontwikkeling en schaalvoordeel

In Spaarwater is na ervaringen en doorontwikkeling gelukt om het systeem compacter en robuuster te maken en daarmee het bovengronds ruimtegebruik te reduceren (Figuur 29). Het bovengronds ruimtegebruik beslaat na aanpassingen minder dan 10 m^2. Bij de bollenteler en eigenaar van het proefperceel te Breezand wordt dit vernieuwde systeem in 2019 gerealiseerd voor ca. 10ha bollenteelt. Daarnaast is een aangepaste variant in 2018 in Libanon gerealiseerd.

De systeemontwikkeling binnen Spaarwater maakt het koppelen van units van circa 50 – 100 hectare gedraineerd perceeloppervlak mogelijk. Een dergelijke omvang geeft een optimum voor terugwinrendement en kosten. Een systeem kan uiteraard voor nog grotere oppervlaktes uit meerdere units bestaan. Een verzamelleiding transporteert het drainagewater (of andere bron zoals dakwater) van meerdere percelen naar een verzamelput, waar automatische selectie plaatsvindt op basis van het elektrisch geleidingsvermogen (een maat voor het zoutgehalte) en zonodig turbiditeit (maat voor troebelheid): ongewenst water wordt afgevoerd naar de sloot en water met de gewenste kwaliteit wordt gefilterd. Indien het beschikbare water van onvoldoende kwaliteit is, kunnen passende maatregelen in het ontwerp worden opgenomen om de kwaliteit te verbeteren. Hierbij kan worden gedacht aan bijvoorbeeld een combinatie met anti-verziltingsdrainage. Daarmee wordt het zoutgehalte in het perceel en het drainagewater verlaagd. Het beschikbare water van voldoende kwaliteit kan vervolgens onder zwaartekracht via een put of meerdere putten worden geïnfiltreerd. Middels dezelfde putten of

Afname van bacteriën door bodempassage

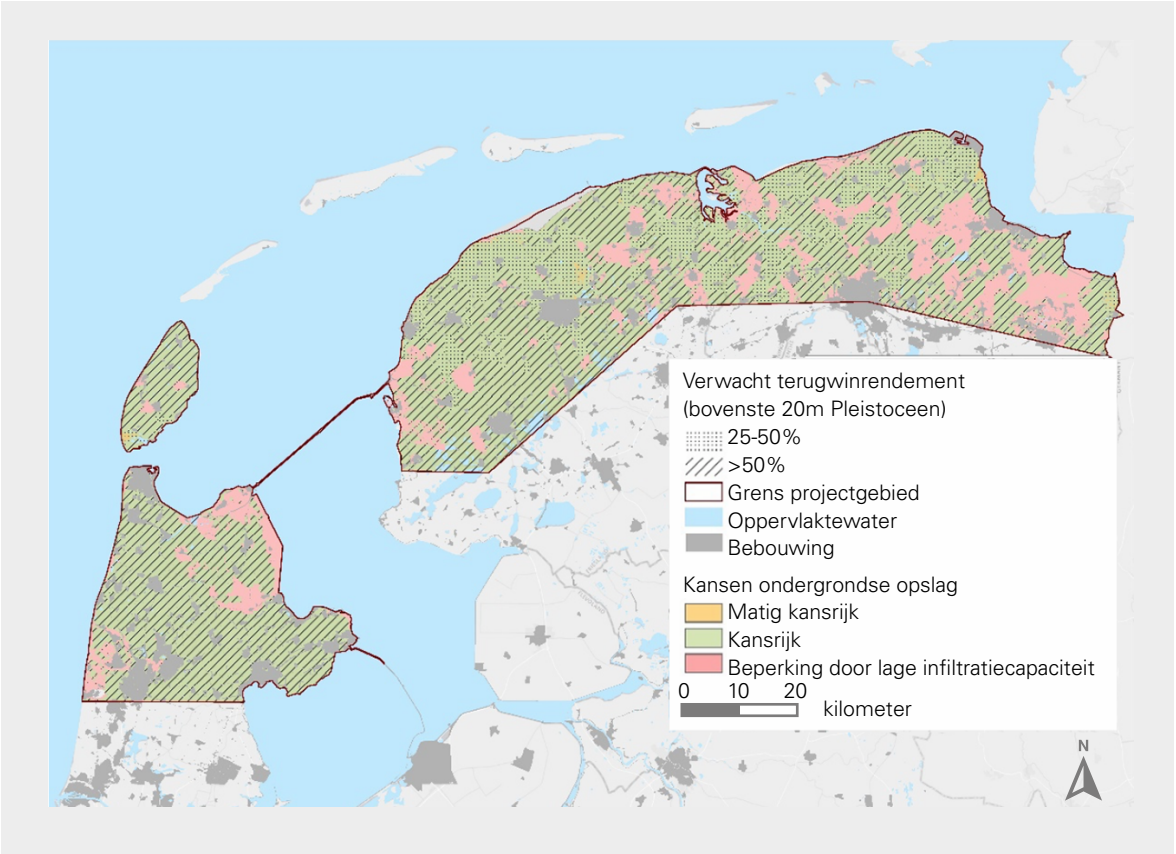
Het meervoudig ondergrondse opslagsysteem in Borgsweer heeft een positieve invloed op het verlagen van het risico op gewasziekten (zoals Bruinrot). Een groot deel van de gewasziekten zijn aerobe bacteriën, die zuurstof nodig hebben voor hun 'ademhaling'. De analyses van de watermonsters in Borgsweer tonen aan dat de totale populatie bacteriën een dalende trend toont tijdens de bodempassage (Figuur 27). De trend wijst op een afname van aerobe bacteriën in het onttrokken water tijdens ondergrondse opslag vergeleken met het drainagewater en het oppervlaktewater. Bovendien verandert de populatie sterk, waarbij aerobe bacteriën verdwijnen en met name anaerobe bacteriën de totale populatie overnemen. De verwachting is daarom dat ook de aerobe gewasziekten afnemen tijdens de bodempassage.



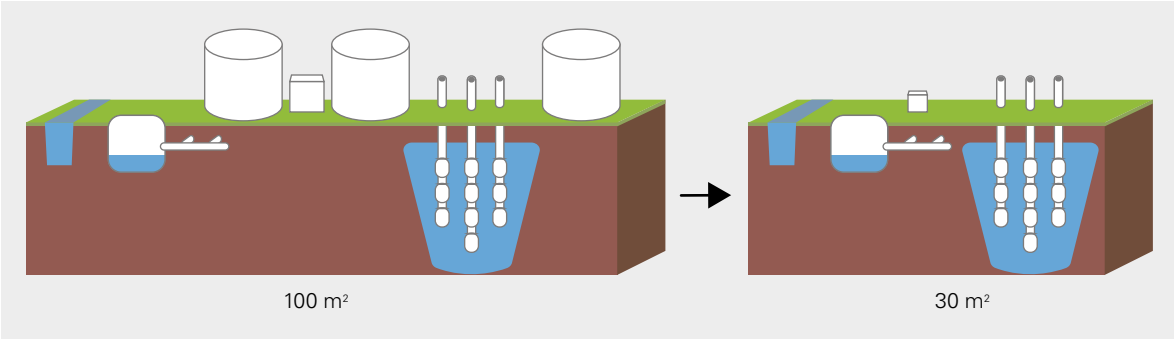
Figuur 27: Bacterietellingen Borgsweer voor oppervlaktewater, drainagewater en onttrokken water. Let op, de vertikale schaal is logaritmisch. De verschillende kleuren punten tonen de verschillende meetperiodes.

Eerste bevindingen AGRIMAR onderzoek

De resultaten van de experimenten over het overleven van plant pathogene bacteriën in drainwater geven eerste aanwijzingen hoe lang het water moet worden opgeslagen voordat het kan worden gebruikt voor irrigatie. Gezien de resultaten is de verwachting dat de minimale verblijftijd ongeveer 20 dagen moet zijn, maar extra onderzoek om dit vast te stellen is nodig. Bij deze experimenten is alleen de overleving in water geanalyseerd. Het contact met het aquifer materiaal zorgt tijdens de bodempassage voor een extra filtratiestap. De eerste resultaten laten zien dat de aanwezigheid van microbiota een drastische invloed heeft op de overleving van de pathogenen. Des te minder microbiota aanwezig is, des te langer de ziekteverwekker overleeft. Dit zal waarschijnlijk het aantal bacteriën nog meer verminderen en daardoor ook de benodigde verblijftijd. Dit gaat onderzocht worden in kolom-experimenten. Uiteindelijk worden alle resultaten opgenomen in een kwantitatieve microbiële risicobeoordeling, waarmee het risico van ziektes kan worden bepaald van het hergebruiken van ondergronds opgeslagen drainagewater.



Figuur 28: Verwacht terugwinrendement en kansrijkheid voor ondergrondse opslag in de bovenste 20 m van het Pleistoceen. Voor een aantal gebieden geldt dat mogelijk een beperking aanwezig is in verband met een lagere horizontale doorlatendheid (minder dan 2,5 m/d), waardoor de infiltratiecapaciteit lager zou kunnen zijn. Deze kaart is alleen geschikt voor toepassing op regionale schaal; lokaal kan de uitkomst afwijken.



Figuur 29: Links is het systeem zoals toegepast binnen Spaarwater, met een relatief groot bovengronds ruimtegebruik. Rechts een schematische weergave van het nieuwe systeem, met gereduceerd bovengronds ruimtegebruik.

afzonderlijke onttrekkingsputten kan het water worden teruggewonnen en beschikbaar worden gemaakt voor beregening met een haspel, druppelirrigatie of subirrigatie.

4.6 Vergunning-verlening

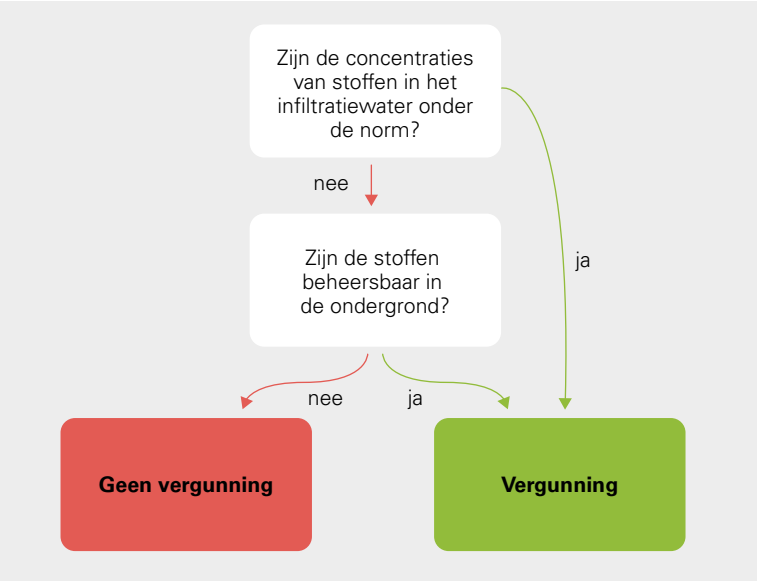
Provincies en waterschappen in Laag-Nederland hebben in 2014/2015 op initiatief en onder regie van de Stichting Waterbuffer, STOWA en de verschillende instituten actief rondom ondergrondse zoetwaterberging (KWR Watercycle Research Institute, Acacia Water, Deltares) en Sterk Consulting een handreiking opgesteld. De handreiking biedt een beoordelingskader aan waterbeheerder en -gebruiker, dat past binnen de vigerende wet- en regelgeving. De handreiking geeft de stappen weer die genomen kunnen worden tijdens een afweging voor een vergunning voor ondergrondse zoetwaterberging. Door deze stappen te doorlopen wordt beoogd om de infiltratieactiviteiten zonder risico en onoverkomelijke gevolgen te laten plaatsvinden.

Binnen de uitvoering van Spaarwater is de handreiking op praktische toepasbaarheid getoetst. Daarbij kwam naar voren dat vooraf niet goed is vast te stellen wat de

samenstelling van het te infiltreren water zal zijn. Deze varieert in de tijd. Door fluctuaties van neerslag en afvoer. Maar ook over jaren, waarbij gewasbeschermingsmiddelen die meerdere jaren eerder zijn gebruikt nog in het drainwater kunnen worden aangetroffen.

Onderzoek naar gedrag en waterkwaliteitsveranderingen ten aanzien van GBM's, nutriënten en plan pathogene bacteriën laten zien dat risico's niet tot beperkt zijn, of zelfs afnemen bij het toepassen van ondergrondse opslag (zie paragraaf 4.3.2, 4.3.3 en 4.3.4).

Er is daarom in aanvulling op de handreiking een uitwerking van de beheersbaarheid van de ondergrondse opslag opgenomen: is het mogelijk om na infiltratie stoffen weer te onttrekken en de aquifer in terug te brengen op achtergrondwaarden, en zo niet, wat zijn dan de risico's voor het grondwater, de aquifer en de potentiële andere gebruikers van het grondwater/aquifer?



Figuur 30. Te doorlopen stappen tijdens de vergunningsaanvraag voor een ondergronds opslagsysteem.

Conclusies Eigen Watervoorziening

- Volledige zelfvoorziening van zoetwater voor landbouw in de vorm van ondergrondse opslag is mogelijk. Dit maakt het mogelijk voor agrarische bedrijven om geheel of deels onafhankelijk te worden van aanvoer van zoet water uit het IJsselmeer.
- Ondergrondse opslag is toepasbaar en kansrijk in de meeste gebieden waar nu of in de toekomst sprake is van verzilting.
- De haalbaarheid en dimensionering van zelfvoorziening met ondergrondse opslag hangt samen met de mogelijkheid tot (A) de beschikbaarheid en mogelijkheid om voldoende zoetwater op te vangen, (B) de mogelijkheid om het water op te slaan in de diepe ondergrond (technische toepasbaarheid), (C) de mogelijkheid om het water terug te winnen uit de ondergrond (terugwinrendement) en uiteraard (D) de waterbehoefte die afhankelijk is van het gewas.
- Een eigen watervoorzieing met ondergrondse opslag leidt tot een afname van de uitstroom van zout, nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen via drainage naar het oppervlaktewater. In de pilot van het bollengebied Breezand is vastgesteld dat een reductie van stikstof, chloride en fosfor van 80% mogelijk is. In Borgsweer is op klei een afname van 25-35% mogelijk van stikstof, fosfor en chloride. De modelsimulaties geven aan dat er ook op langere termijn voldoende capaciteit voor reductie en vastlegging van nutriënten in de ondergrond is.
- Infiltratie en onttrekking van drainagewater in de ondergrond leidt bij een meervoudig systeem (infiltratie en onttrekking vindt gescheiden plaats) tot afbraak en vastlegging van op het perceel toegepaste gewasbeschermingsmiddelen (GBM's).
- Het toepassen van een meervoudig systeem voor ondergrondse opslag is zeer kansrijk voor het bestrijden van gewasziekten (Bruinrot en Erwinia) in het irrigatiewater.
- Ondergrondse opslag levert een belangrijke bijdrage aan de KRW-doelen om emissies naar grondwater en oppervlaktewater van stoffen zoals nutriënten en GBM's te verlagen.
- Het systeemontwerp is compacter en robuuster gemaakt. Het bovengronds ruimtegebruik is gereduceerd van 100 m^2 naar minder dan 10 m^2. Bij de bollenteler en eigenaar van het proefperceel te Breezand wordt dit nieuwe systeem in 2019 gerealiseerd voor een oppervlak van 10ha bollenteelt.
- De systeemontwikkeling binnen Spaarwater maakt realiseren van circa 50 – 100 hectare gedraineerd perceeloppervlak mogelijk. Een dergelijke omvang geeft een optimum voor terugwinrendement en kosten.

5

ZUINIG MET ZOETWATER

5.1 Inleiding

Zuiniger omgaan met water in perioden van schaarste is binnen het Deltaprogramma een belangrijk thema. In Nederland wordt meestal een slangenhaspel met waterkanon of sprinklers gebruikt om vollegrondsteelten van voldoende water te voorzien. Deze systemen staan echter bekend om een hoog waterverbruik en een lage *watereffectiviteit*. De *watereffectiviteit* is het percentage van het toegevoerde water dat ten goede komt aan de groei van het gewas. Binnen Spaarwater zijn maatregelen ontwikkeld om de zoetwatervoorraad in een perceel (anti-verziltingsdrainage) of via ondergrondse opslag van perceelseigen water te realiseren. Het ontwikkelen van mogelijkheden voor zuiniger gebruik van water is dan een maatregel die daar passend bij is. Binnen Spaarwater zijn innovatieve irrigatietechnieken onderzocht die moeten leiden tot minder zoetwater verbruik dan de bestaande irrigatietechnieken.

5.2 Zuinig omgaan met zoetwater

5.2.1 Zuinig met zoetwater

Zuiniger omgaan met zoetwater kan onder andere door meer droogte- en zoutresistente gewassen te telen en door meer watereffectieve irrigatiesystemen te gebruiken. Binnen Spaarwater zijn druppelirrigatie en sub irrigatie onderzocht als watereffectieve irrigatiesystemen (Figuur 31). Bovendien kunnen deze systemen bijdragen aan het verla-

gen van het kunstmestgebruik en daarmee aan een reductie van de af- en uitspoeling van nutriënten (onderzocht binnen Spaarwater). Daarnaast blijft het gewasblad droog waardoor de infectiekans met schimmels en bacteriën afneemt (niet onderzocht binnen Spaarwater).

5.2.2 Typen watereffectieve systemen

Bij *druppelirrigatie* worden slangen met druppelaars ingezet om water en meststoffen gedoseerd toe te dienen aan de plant:

- Bij *bovengronds druppelen* liggen de slangen op het teeltbed of enkele centimeters onder het oppervlak. De slangen worden bij het planten uitgerold en aan het eind van het seizoen, maar voor de oogst, van het land gehaald.
- Bij *ondergronds druppelen* liggen de slangen onder de bouwvoor en verspreidt het water zich via capillaire opstijging. Ondergrondse slangen worden eenmalig (permanent) gelegd en kunnen niet kapot worden gereden bij ploegen, gewasinspectie, sproeien en oogst.

Bij *sub-irrigatie*, ook wel drainage-irrigatie genoemd, wordt water via de buisdrainage door peilopzet in het perceel gebracht en de grondwaterstand op niveua gehouden. Hierdoor wordt er van onderaf water beschikbaar gemaakt aan de onverzadigde zone (capillaire opstijging) en daarmee aan het gewas. Dit is een methode die binnen de bollenteelt al decennia wordt toegepast in Noord-Holland en wordt gevoed met slootwater, overigens veelal in combinatie met haspelberegening.

Binnen Spaarwater is als bron het water voor deze irrigatietechnieken het water uit de ondergrondse opslagsystemen gebruikt.

Onderzoek naar de effecten van toepassing van druppel- en sub-irrigatiesystemen onder Nederlandse omstandigheden is relatief nieuw. In Spaarwater is onderzoek gedaan naar de toepasbaarheid en effecten van sub-irrigatie en bovengronds druppelen op een zandperceel (Breezand) en voor het eerst in Nederland naar ondergronds (onder de bouwvoor) druppelen op een kleiperceel (Borgsweer).

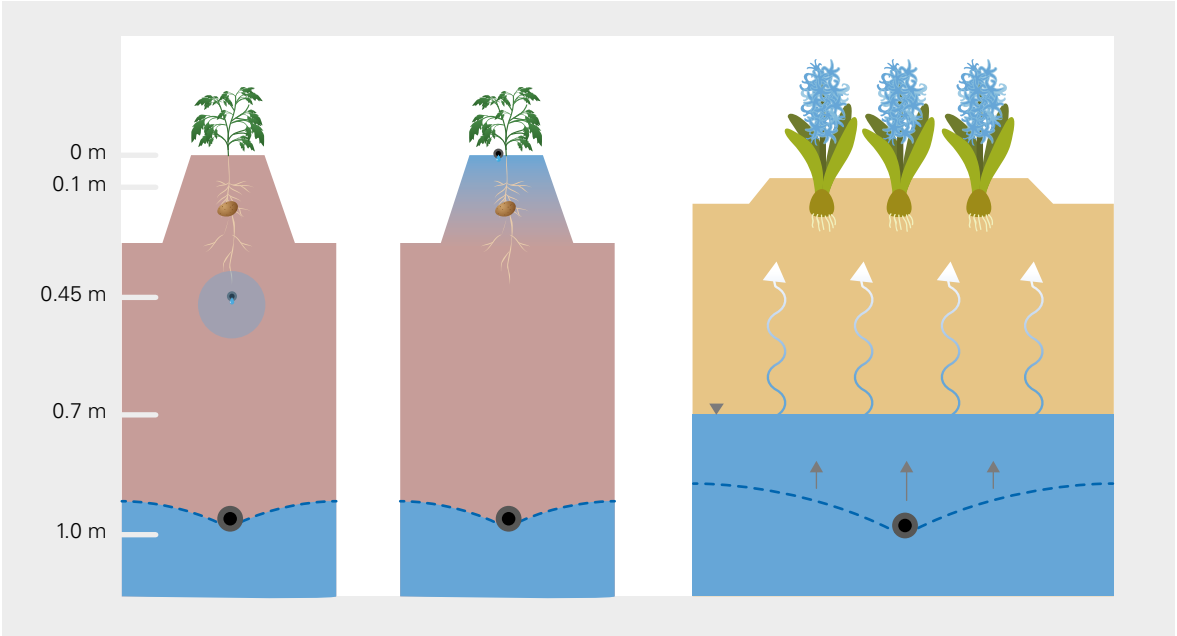
Behalve voor irrigatie kan sub-irrigatie ook worden gebruikt om bodemdaling in veen tegen te gaan. Binnen Spaarwater Flevoland wordt onderzocht voor percelen met een bodemopbouw van veen (vaak met een kleidek) waar akkerbouw op plaatsvindt.

5.3 Effecten van zuinig met zoetwater

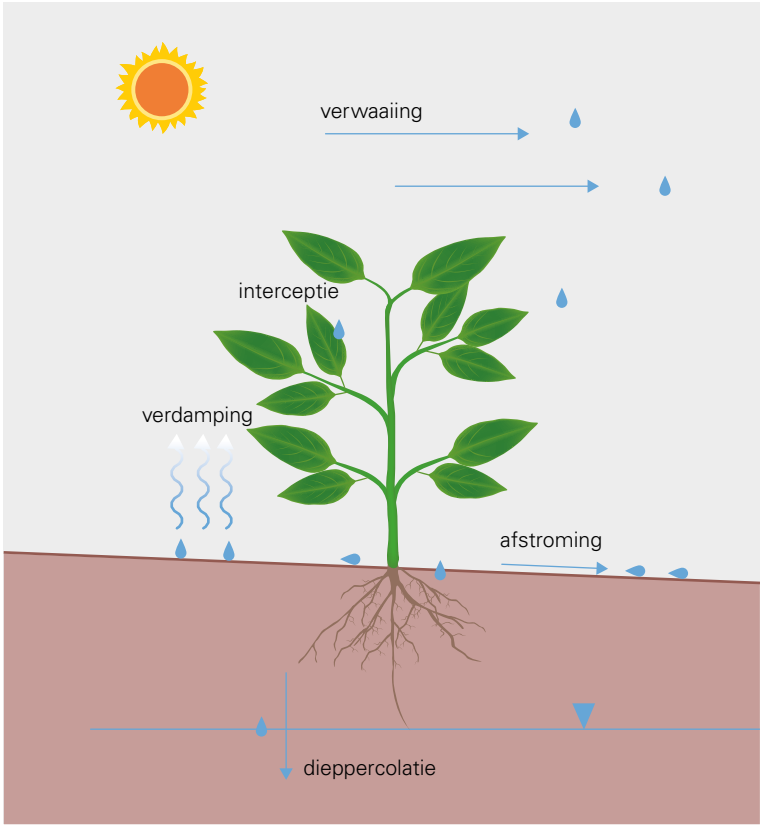
5.3.1 Verhoging watereffectiviteit

Druppelirrigatie en sub-irrigatiesystemen zijn watereffectiever dan conventionele beregeningssystemen omdat er geen verwaaiing, interceptie, bodemverdamping en afstroming plaatsvindt (Figuur 32). Watereffectiviteit is een maat voor de hoeveelheid water aangevoerd door *regen en irrigatie die ten goede komt aan gewasgroei*.

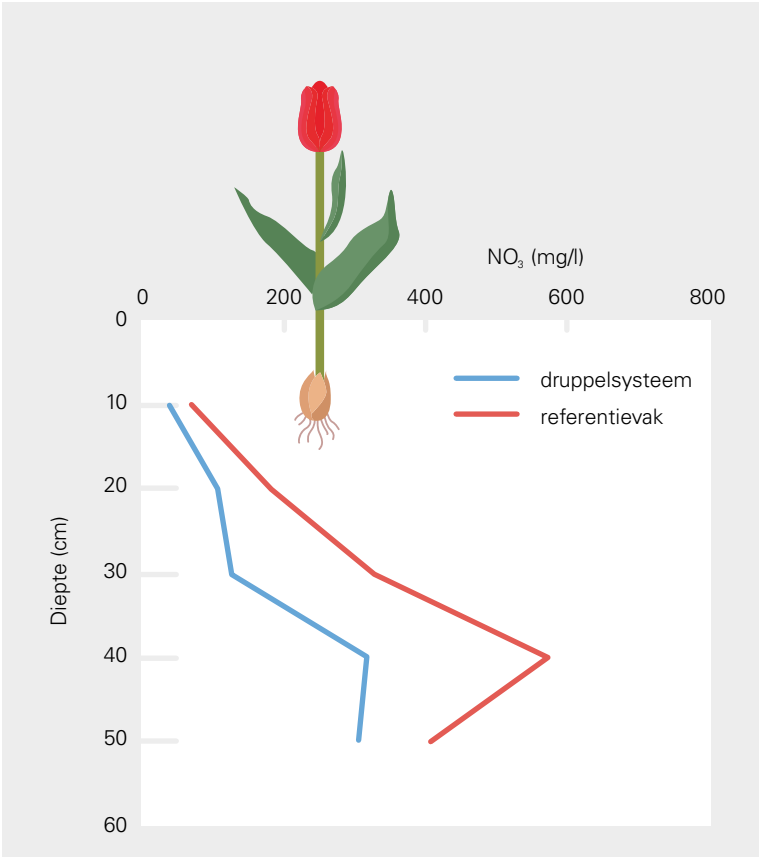
De watereffectiviteit van traditionele irrigatiesystemen zoals waterkanon



Figuur 31. Drie watereffectieve irrigatiesystemen: bovengronds druppelen (met een druppelslang op het teeltbed), ondergronds druppelen (het water verspreidt vanuit de druppelslang door capillaire opstijging) en sub-irrigatie (het water wordt toegediend middels peilopzet).



Figuur 32. Verliesposten irrigatiewater.



Figuur 33. De concentraties nitraat in het bodemvocht in Breezand zijn in het proefvak met fertigatie op 30, 40 en 50 cm meter diepte vele malen lager dan in het referentievak zonder fertigatie. Omdat nitraat sterk mobiel is zal de uitspoeling uit het proefvak evenredig lager zijn.

en sprinkler is onder Nederlandse omstandigheden laag, op basis van literatuuronderzoek en metingen is bepaald dat dit in de orde ligt van 10 tot 55%, doordat veel diep percolatie, verwaaiing, bodemverdamping en gewasinterceptie plaatsvindt. Bij harde wind kan deze waarde nog aanzienlijk lager uitvallen.

Binnen Spaarwater is een watereffectiviteit gerealiseerd van 78% bij ondergronds druppelen (zware zavel, Borgsweer 2017) en van 46% bij sub-irrigatie (fijn zand, Breezand 2016). De lagere waarde van sub-irrigatie in 2016 komt doordat er regelmatig neerslag is geweest. Inzet van bovengronds druppelen op zware zavel zal de effectiviteit verder verhogen doordat er minder water verloren gaat door dieptepercolatie.

Wanneer deze uitkomsten worden vertaald naar een bodem waarop alle irrigatiesystemen mogelijk zijn, bijvoorbeeld lichte zavel, kan men aannemen dat met sub-irrigatie een watereffectiviteit van 85% en met ondergronds druppelen van 90% haalbaar is. Voor waterkanon of sprinkler zou dit, ter vergelijking, ongeveer 50% zijn.

5.3.2 Afname nutriënten-uitstroom

Precisiebemesting maakt het mogelijk om de bemesting optimaal de plant ten geode te laten komen. Tevens leidt het er toe dat de af- en uitstroming van meststoffen van het perceel naar het oppervlaktewatersysteem afneemt. Traditioneel worden meststoffen opgebracht aan het oppervlak en ingespoeld in de bodem na regen of beregening, waardoor de uitstroom naar het oppervlaktewatersysteem hoger is.

Uit metingen op het zandperceel (Breezand) blijkt dat door het afstemmen van de meststoffen op de nutriëntenconcentraties in

bodemmonsters en het groeistadium van een gewas, de gemiddelde concentratie van nitraat in het bodemvocht onder de wortelzone vele malen lager is dan bij de traditionele manier van bemesten (Figuur 33).
Dit effect is voor fosfaat niet gevonden.

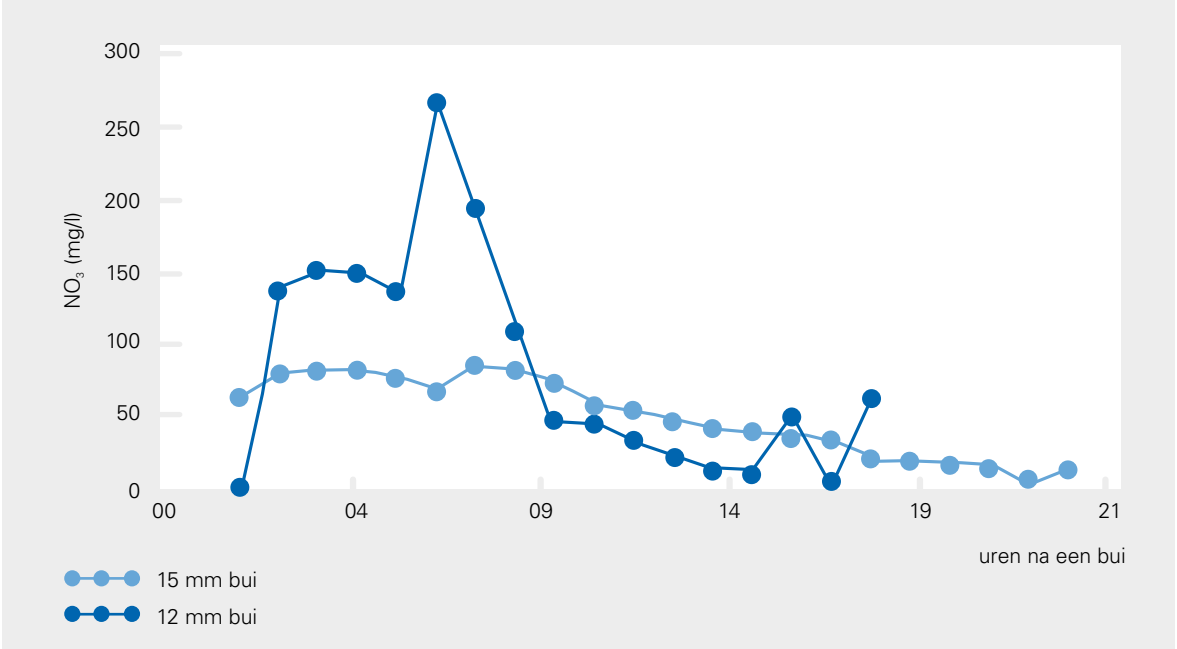
Uit het onderzoek naar de uitspoeling van nutriënten op kleibodems (Borgsweer) blijkt dat meststoffen voornamelijk uitstromen in de dagen meteen na bemesting of fertigatie (Tabel 3). De meststoffen stromen vooral preferent uit via krimpscheuren (deze lopen hier vrijwel geheel door tot aan drainageniveau waar in Borgsweer een doorlatender laag aanwezig is) naar de drains. De uitstroom van nutriënten gebeurt voornamelijk in de eerste uren na een bui (zie Figuur 34 en Figuur 35). Fosfaat stroomt beperkt uit, doordat het wordt vastgelegd door de klei.

Bij ondergronds druppelen neemt de concentratie anorganisch nitraat in het bodemvocht toe in de wortelzone en komt ten goede aan het gewas. Er is geen verhoging waargenomen op draindiepte. De meststoffen blijven dus beschikbaar voor de plant en spoelen niet uit, tenzij de druppelaars in contact staan met krimpscheuren waardoor het irrigatiewater direct afgevoerd wordt naar de drains.

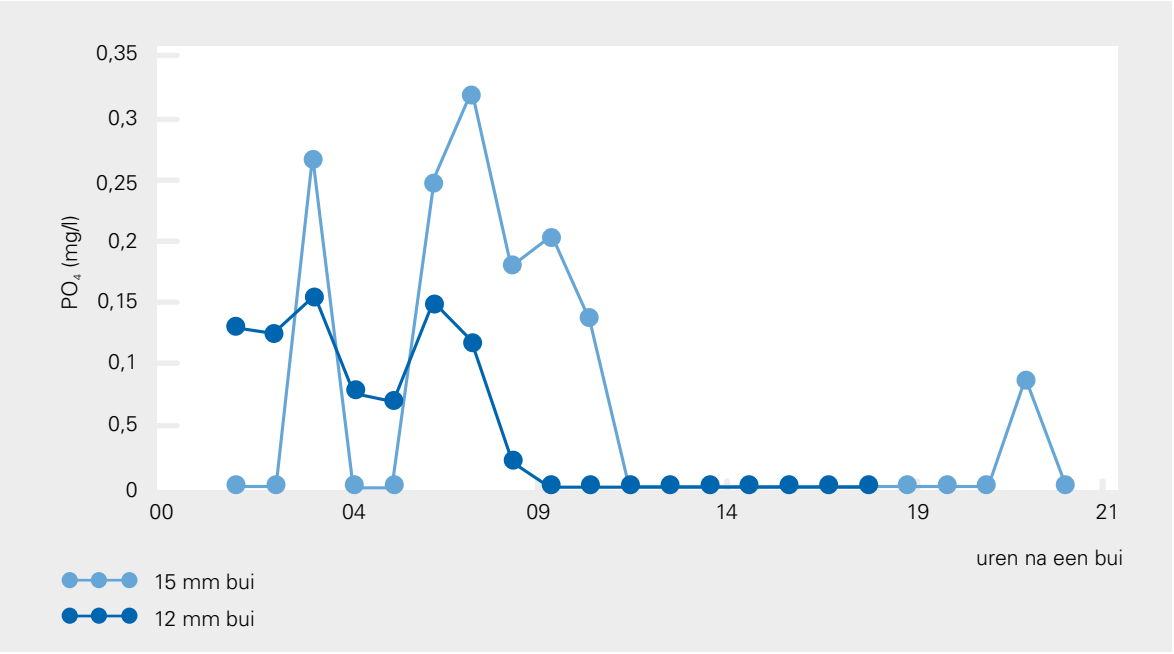
Uitspoeling van nitraat via het bodemvocht in het proefvak met ondergronds druppelen is 40% lager dan in het referentievak zonder ondergronds druppelen en traditio-

		Gemiddelde Concentratie [mg l-1]	Uitspoeling naar oppervlaktewater [kg/ha-1]
Stikstof (Totaal Nitraat)	Zonder ondergronds druppelen	6,50	3,65
	Met ondergronds druppelen	4,85	2,24
Fosfor (Totaal Fosfaat)	Zonder ondergronds druppelen	0,23	0,04
	Met ondergronds druppelen	0,27	0,12

Tabel 3. Overzicht van de gemiddelde concentratie en vrachten stikstof en fosfor naar het oppervlaktewatersysteem in Borgsweer 2018 zonder en met ondergronds druppelen



Figuur 34. Nitraat concentraties in de drainageafvoer in Borgsweer in de uren na een bui van 15mm op 12 september en 12 mm op 7 oktober 2017. Nitraat spoelt voornamelijk uit in de eerste uren na een bui.



Figuur 35. Fosfaat concentraties in drainafvoer in Borgsweer in de uren na een bui van 15mm op 12 september en 12 mm op 7 oktober 2017. Fosfaat spoelt met name uit in de eerste uren na een bui.

nele bemesting, respectievelijk 2,24 kg N per hectare en 3,65 kg N per hectare. Bij ondergronds druppelen kan 50% minder stikstof (totaal N) en 40% minder fosfor (totaal P) worden opgebracht zonder nadelige gevolgen voor de opbrengst.

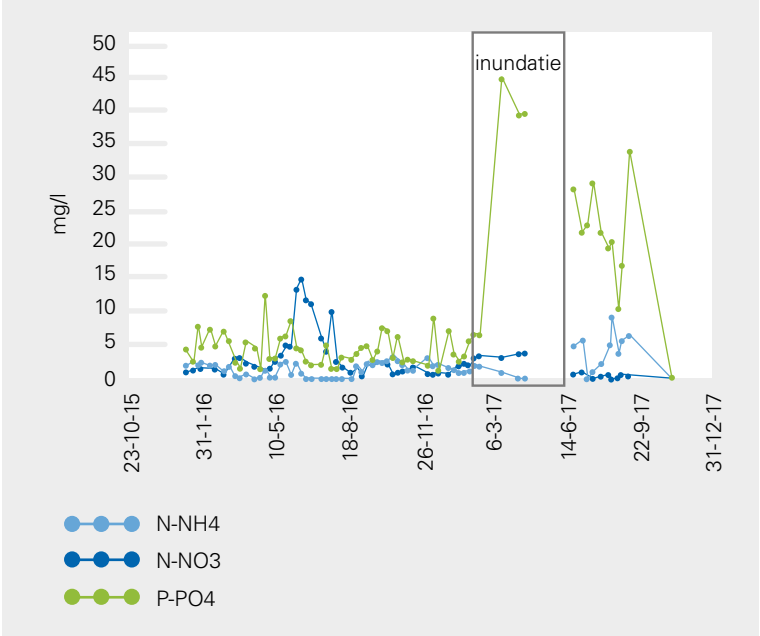
Dit betekent voor de agrariër dat hij gerichter en slimmer kan bemesten; de meststoffen komen daadwerkelijk ten goede aan het gewas. Minder uitspoelen van meststoffen naar de sloot draagt bij aan de doelstelling van overheden (en KRW) om de waterkwaliteit in sloten te verbeteren.

5.3.3 Inundatie bollenperceel

Om aaltjes, wortelonkruiden en diverse bodemschimmels te doden is het gebruik van bollentelers om percelen periodiek volledig onder water te zetten – de zogenaamde inundatie. In Breezand is deze strategie in het voorjaar van 2017 (maart tot en met juni) toegepast. Als aanvulling op het Spaarwateronderzoek zijn de effecten hiervan op de uitspoeling van nutriënten gemonitord (Figuur 36). Uit de metingen blijkt dat de drainageafvoer (leeglopen van perceel) na inundatie beduidend hogere concentraties ammonia (maximaal ca. 9 mg/l na inundatie en maximaal ca. 4 mg/l vóór inundatie) en fosfaat (maximaal ca. 45 mg/l na inundatie en maximaal ca. 13 mg/l vóór inundatie) bevat dan vóór inundatie. De toename van fosfaat kan worden verklaard doordat het perceel voorheen aan bodemdeeltjes gebonden fosfaat is vrijgekomen bij inundatie.

5.3.4 Gewasopbrengst

De meerwaarde van sub- en druppelirrigatie ligt, naast een lager



Figuur 36. Concentraties nitraat, ammonia en fosfaat in de drainageafvoer van het zandperceel in Breezand, waarbij in de periode maart 2017 tot en met juni 2017 (rode kader) inundatie van het veld plaatsvond.

Figuur 37. Verschil in conditie van het loof van pootaardappelen tussen referentievlak zonder ondergronds druppelen (links) en proefvak met ondergronds druppelen (rechts) op de pilotlocatie in Borgsweer.

zoetwaterverbruik, bij het overbruggen van droge periodes en het verlagen van de ziektedruk door het verkorten van de bladnatperiode. Deze meerwaarde is locatie- en tijdsafhankelijk (Van Meijeren, 2017).

Tijdens zes jaar Spaarwater zijn gewassen verbeterd door toepassing en doorontwikkeling van sub- en druppelirrigatie. Zo heeft het verder optimaliseren van druppelirrigatie tijdens de droge zomer in 2018 in Borgsweer geleid tot een significante meeropbrengst van 22% (Figuur 37 en Figuur 38). Gedurende de Spaarwaterperiode bleef in Borgsweer het loof van de pootaardappelen tijdens het groeiseizoen in het proefvak met ondergronds druppelen voller en groener. Daar staan ook jaren tegenover (periode 2015-2017) dat er geen significant verschil gemeten is op grootte, aantal, kilogram en onderwatergewicht van de aardappelknollen.

De verbeteringen resulteerden dus niet elk jaar in een significant effect op opbrengstbepalende factoren als uitval, vers- en bol/knolgewicht.

De vooruitziende boer heeft een voorraad ondergronds regenwater

OOGST Na vijf jaar plukt de Groningse boer Pieter Noordam de vruchten van een proef met ondergronds regenwater.

Barbara Vollebregt
REDACTIE BINNENLAND

In het hele land tellen aardappelboeren hun verlies. De piepers van hun akkers zijn soms de helft van de normale grootte. Niet die van boer Pieter Noordam (49) uit het Groningse Borgsweer, hij doet mee aan een proef van het Waddenfonds.

De proef is bedoeld om, door geen gebruik te maken van oppervlaktewater, de aardappelziekte bruinrot te voorkomen. Het moet tegelijkertijd helpen met de zoetwaterbehoefte in de waddenregio.

In bijkomstig effect lijkt nu ineens oplossing voor de akkerbouw in den van droogte.

De boer vangt in de herfst en ater regenwater op, dat wordt in ondergrondse watercontainer

Links de 'gewone' aardappels, rechts de geïrrigeerde. FOTO ATV NOORD

Bij ondergrondse irrigatie gaat het water niet verloren

opgeslagen. Datzelfde water wordt in de zomer weer opgepompt en door middel van buisjes onder de grond naar de akkers geleid om de aardappelen te kunnen bewateren.

De boer werd vijf jaar geleden gevraagd om mee te doen aan de pilot met de naam Spaarwater. "Toch een beetje meewerken aan innovatie en contacten opdoen", legt de boer zijn deelname uit. "Daarnaast is het één van zijn in totaal zestig hectare die meedoet aan de proef. Groot verlies kan ik er als het misgaat niet door lijden", zegt hij.

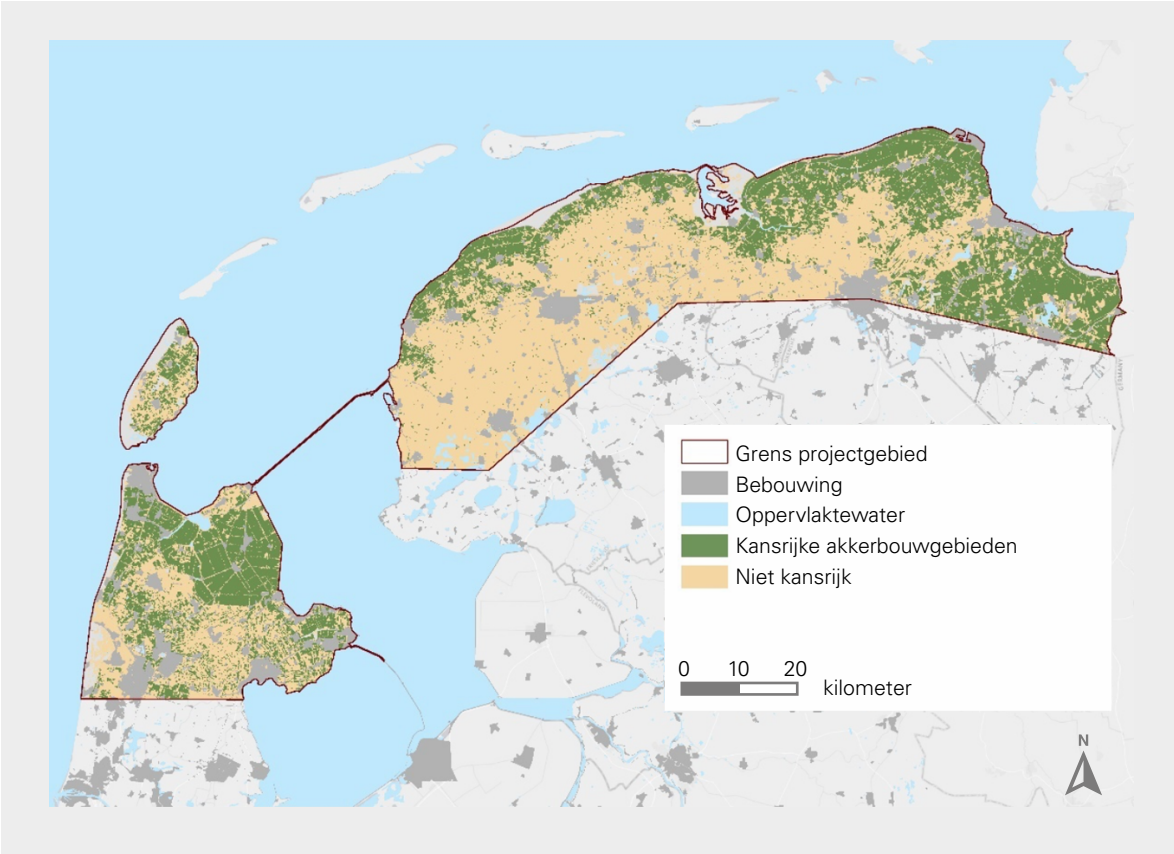
Toch verliep het eerste jaar van deelname niet zonder slag of stoot. We pompten het water vanuit de grond meteen naar de akket. "Dat ging mis, het zuurstofloze water trok alle voedingsstoffen weg", zegt Noordam. "Sindsdien pompen we het eerst in een buffer, waar er zuurstof bij kan." In zijn regio is het water brak en daardoor sowieso niet geschikt voor de aardappels. "Je hebt zoet water nodig. Dat kan of met bronwater, of met regenwater", zegt de boer. Hij vervolgt: "Dat laatste is ruimtegrt, als je water opvoert verdampt een groot deel zonder dat je daar profijt van hebt.

Bij ondergrondse irrigatie gaat het water niet verloren. Daarbij de slangetjes in de grond bevatten sensoren, die geven aan of de aardappelen meer water nodig hebben."

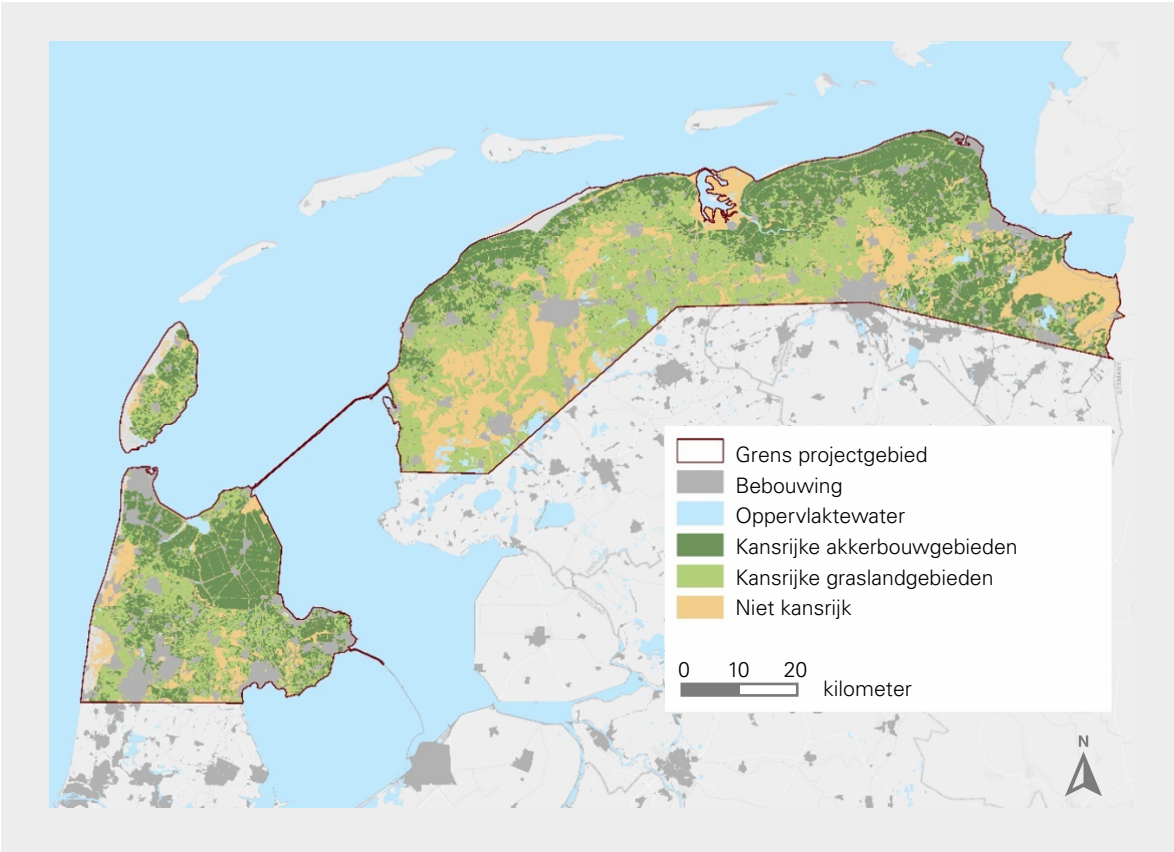
Dit jaar hebben aardappelboeren in het hele land niet alleen minder maat ook kleinere aardappelen om te oogsten. Die van Noordam zijn de gebruikelijke aflevermaat: tussen de 28 en 55 millimeter. De aardappelen die niet op het systeem zijn aangesloten brengen een derde minder op (qua gewicht).

Of dit de oplossing is voor het boeren in toekomstige droge zomers? "Het werkt, maar de installatie (de opvang, de buisjes in de grond en de pompen) is nu nog te duur en omslachtig om echt rendabel te zijn", zegt Noordam. "Daarnaast moet het dan wel genoeg regenen in de koudere maanden."

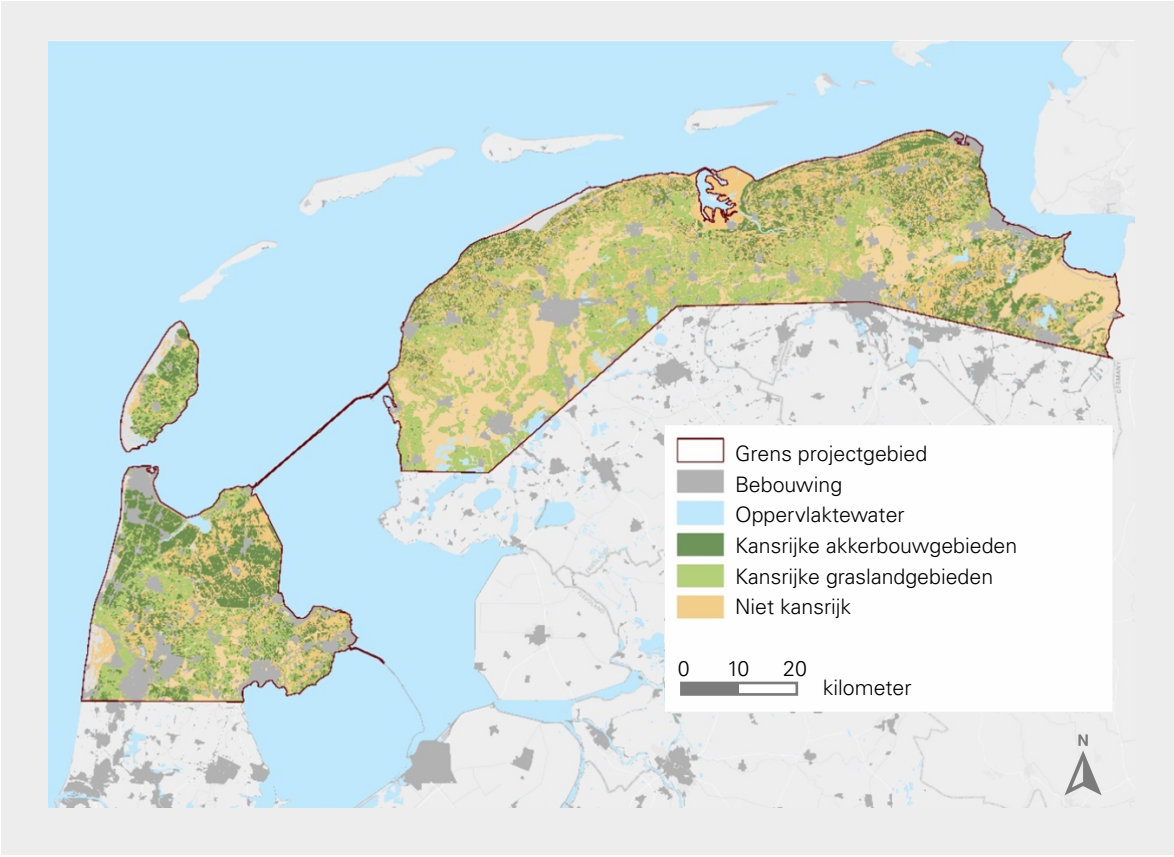
Figuur 38. Berichtgeving meeropbrengst zomer 2018 in Borgsweer (Trouw, 4-8-2018). Te zien is dat de pootaardappels op het perceel zonder ondergronds druppelen (links) kleiner zijn dan de pootaardappels met ondergronds druppelen (rechts).



Figuur 39. Bovengronds druppelen is kansrijk in alle akkerbouwgebieden in het projectgebied. Deze kaart is alleen geschikt voor toepassing op regionale schaal; lokaal kan de uitkomst in realiteit anders uitpakken.



Figuur 40. Ondergronds druppelen is kansrijk in grote delen van het projectgebied voor de akkerbouw en kan in graslandgebieden worden ingezet om bodemdaling tegen te gaan. Deze kaart is alleen geschikt voor toepassing op regionale schaal; lokaal kan de uitkomst in realiteit anders uitpakken.



Figuur 41. De kansrijkheid van sub-irrigatie wordt voornamelijk beperkt door de grondsoort; op zware klei is de capillaire opstijging beperkt. Deze kaart is alleen geschikt voor toepassing op regionale schaal; lokaal kan de uitkomst in realiteit anders uitpakken.

De doorontwikkeling en optimalisatie hebben echter al bewezen dat het systeem potentie heeft voor meeropbrengst en gewasverbeteringen, zeker in droge perioden en bij het verlagen van de ziektedruk.

5.4 Zuinig met zoetwater in de Waddenregio

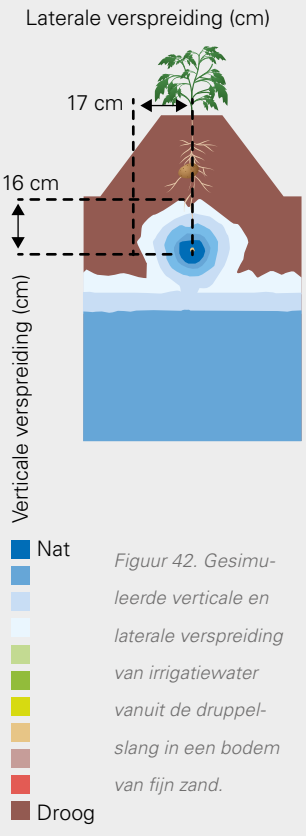
Voor de goede werking van druppel- en sub-irrigatiesystemen zijn naast het bodemtype, het landgebruik, de gemiddelde laagste grondwaterstand, en het ijzer- en zoutgehalte van irrigatiewater van belang. Op basis van deze onderdelen is per irrigatietype inzichtelijk gemaakt waar toepassing van deze technieken in de Waddenregio kansrijk zijn (Figuur 39, Figuur 40 & Figuur 41).

Bovengronds druppelen is kansrijk op alle bodemtypes, ondergronds druppelen op alle bodemtypes behalve grof zand en zware klei, en sub-irrigatie op alle bodems behalve zware klei. Bij specifieke soorten zware klei, zoals bij knip- en knippige klei, is bij het druppelen speciale aandacht nodig voor voorkómen van natschade, die kan ontstaan door een lagere secondaire doorlatendheid.

5.5 Zuinig met zoetwater in praktijk

5.5.1 Ontwerpcriteria druppelirrigatiesysteem

Het druppelirrigatiesysteem bestaat uit een bron (grondwater, oppervlaktewater), filters en een buffervat, een pomp en leidingen naar de druppelslangen in het perceel. De aansturing kan handmatig of geautomatiseerd plaatvinden al dan niet in combinatie met sensoren in het perceel.
De optimale ligging (diepte en afstand) van de druppelslangen hangt samen met:



Figuur 42. Gesimuleerde verticale en laterale verspreiding van irrigatiewater vanuit de druppelslang in een bodem van fijn zand.

Figuur 43: Ondergrondse druppelslangen (links) kunnen worden aangelegd met een moldrain (rechts).

- de bewortelingsdiepte, opbrengst en gevoeligheid voor nat- en droogteschade van een gewas;
- de doorlatendheid, bodemvochtspannings(pF-)curve en capillaire opstijging van de bodem.

Aan de hand van modelsimulaties is de laterale en verticale verspreiding indicatief bepaald. Deze informatie kan gebruikt worden voor de inrichting van de slangen.
Op hoofdlijnen geldt dat op bodems van fijn zand de onderlinge afstand tussen de druppelslangen ongeveer 0,35 meter mag zijn (zie Figuur 42) en dat bij matig lichte zavel een grotere afstand van 0,75 meter (tweemaal de afstand van de laterale verspreiding) mogelijk is. Bij de proef op een bollenbed van 1m is dit bevestigd. Er zijn minimaal drie slangen voor nodig. Bij toepassing van twee slangen bleek dat in het midden de bollen onvoldoende vocht beschikbaar hadden. In grof zand is de capillaire opstijging beperkt en minder geschikt.

In zware zavel en klei vindt de verticale verspreiding langzamer plaats dan de verdampingsnelheid. Ondergronds druppelen is daarom op deze bodems alleen te adviseren wanneer de wortels van het gewas het vocht direct nabij de druppelaar kunnen opnemen.

5.5.2 Ontwerpcriteria sub-irrigatiesysteem

Het realiseren van een sub-irrigatiesysteem kan door bestaande drainage te koppelen aan een verzamelleiding en een verzamelput. Dit is analoog aan het ombouwen van bestaande drainage tot anti-verziltingsdrainage (paragraaf 3.5.1). Irrigatiewater (grondwater of oppervlaktewater) kan via de verzamelput in het veld worden gebracht door een verhoogd peil in de verzamelput te handhaven. Een kleinere afstand tussen de drains kan de schommelingen in bodemvochtgehalten voorkomen en zo droogte- en natschade voorkomen. Tevens biedt dit een snellere afvoer bij een bui.

5.5.3 Aanleg en onderhoud van irrigatiesystemen

Uit de pilots blijkt een voorkeur om bij bovengronds druppelen voornamelijk eenjarige slangen (wegwerpslangen) te gebruiken omdat het oprollen en ontsmetten van meerjarige slangen arbeidsintensief is. Deze slangen kunnen als plastic hergebruikt worden.

Ondergrondse druppelslangen hebben een verwachte levensduur van

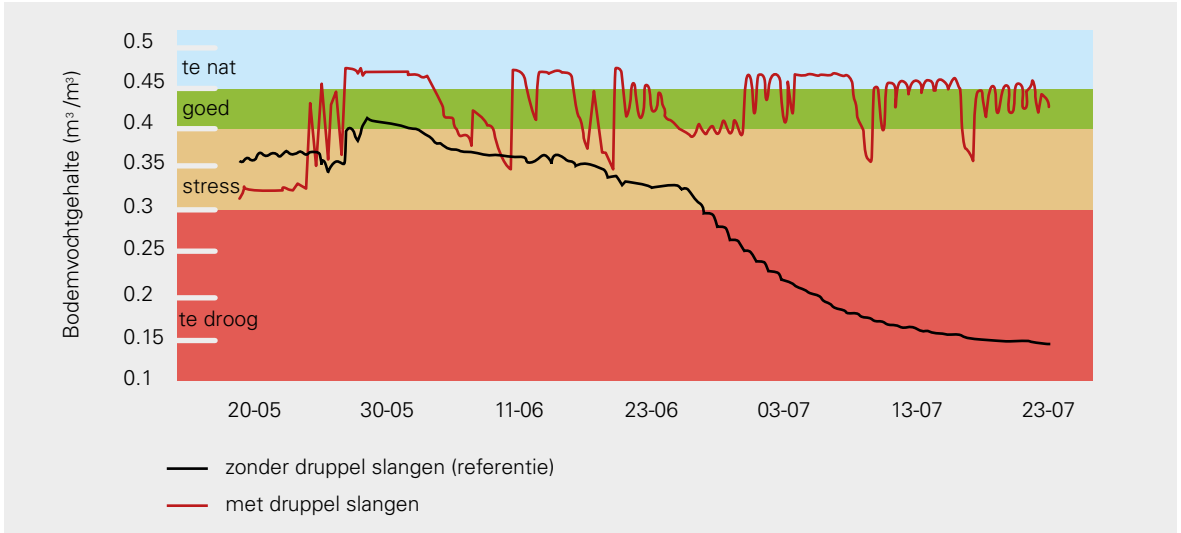
meer dan 10 jaar. Voor het optimaal functioneren van het ondergronds druppelsysteem is de aanleg van slangen op uniforme diepte essentieel. Dat kan door het systeem aan te leggen in een periode waarin de bodem voldoende vochtig is voor het insnijden en tegelijkertijd zodanig droog is dat de tractor niet wegzakt. Het inbrengen van de druppelslangen op gewenste diepte kán met een gemodificeerde moldrain, die binnen Spaarwater is ontwikkeld (Figuur 43).

Bij sub-irrigatie is het aan te raden om de toegang tot de drains te waarborgen ten behoeve van onderhoud.

5.5.4 Optimaliseren van water- en mestgift

Frequentie van watergift

De gewenste frequentie en omvang van de water- en mestgift



Figuur 44. Bodemvochtgehalte op slangdiepte gemeten in Borgsweer tijdens het groeiseizoen van 2018. Rode lijn geeft het bodemvocht bij toepassing van frequente irrigatiegiften door ondergrondse druppelslangen weer. De zwarte lijn geeft het referentieperceel zonder toepassing van ondergronds druppelen weer.

hangen samen met het type irrigatiesysteem, bodemtype, het weer en gewaseigenschappen. In zware, kleiige bodems verspreidt druppelirrigatiewater zich in alle richtingen, maar relatief langzaam. Tegelijkertijd zorgen in de zomer krimpscheuren voor een versnelde uitstroming van druppelirrigatiewater naar de drains. In grovere zandbodems is de verspreiding van druppelirrigatiewater sneller, maar voornamelijk naar beneden gericht, waardoor alleen de planten direct bij de druppelaar van water wordt voorzien.

Sturen op bodemvocht

Sturen op bodemvocht maakt het mogelijk om optimale bodemvochtomstandigheden voor het gewas, een hoge watereffectiviteit en lage uitspoeling van nutriënten te realiseren. Door het geven van veel kleine giften, kan de bodemvochtspanning binnen het voor de plant makkelijk opneembare bereik worden gehouden (Figuur 44). Dit vergt een omschakeling in denken doordat bij haspelberegening er altijd één grote gift wordt gegeven.

Sensoren meten het actuele bodemvochtgehalte. In combinatie met regenval- en verdampingsreeksen in een model kan de ontwikkeling van het bodemvocht worden voorspeld. Deze voorspelling, samen met de ondergrens (veldcapaciteit) en bovengrens (kritische bodemvochtspanning), ondersteunt besluitvorming over het plannen van irrigatiegiften. Binnen Spaarwater is dit toegepast waarbij het bodemvochtgehalte vrijwel de gehele teeltperiode optimaal is geweest.

Voorkomen van dieptepercolatie

Irrigeren op natte bodems dient uit oogpunt van watereffectiviteit te worden voorkomen, omdat dit tot een sterk neerwaartse stroming leidt naar de drains en daarmee verlies van water naar het oppervlaktewatersysteem. Door op bodemvochtspanning te sturen is in Borgsweer voor ondergrondse druppelirrigatie een 28% hogere watereffectiviteit gerealiseerd dan wanneer dit niet gebeurde. Dit laat zien dat ondergronds druppelen beduidend minder water kost dan irrigeren met traditionele systemen.

Het instelniveau van sub-irrigatiesystemen wordt aangepast gedurende het groeiseizoen naar gelang de wortelgroei. Door het peil van het irrigatiesysteem uit voorzorg tijdelijk te verlagen, kunnen te natte omstandigheden na een extreme regenbui worden voorkomen.

Conclusies Zuinig met Zoetwater

- Zuiniger omgaan met zoetwater kan door meer watereffectieve irrigatiesystemen zoals druppelirrigatie en sub-irrigatie te gebruiken.
- Druppelirrigatie en sub-irrigatie zijn toepasbaar en kansrijk in grote delen van het gebied waar nu of in de toekomst sprake is van verzilting.
- Een watereffectiviteit, op bijvoorbeeld lichte zavel, is met sub-irrigatie 85% en met ondergronds druppelen van 90% haalbaar. Dit is haalbaar door sturing op basis van sensoren (bodemvocht) in het perceel. Voor waterkanon of sprinkler zou dit, ter vergelijking, ongeveer 50% zijn. Deze methoden zijn veel effectiever dan conventionele beregeningssystemen ook onder Nederlandse omstandigheden.
- Met ondergronds druppelen kan gerichter en slimmer bemesten worden gegeven. Er komt meer ten goede aan het gewas en er vindt minder uitspoeling plaats naar het grond- en oppervlaktewater. Uitspoeling van nitraat via het bodemvocht in het proefvak met ondergronds druppelen is 40% lager dan zonder ondergronds druppelen. Bij ondergronds druppelen kan 50% minder stikstof (totaal N) en 40% minder fosfor (totaal P) worden opgebracht zonder nadelige gevolgen voor de opbrengst.
- De in de bollenteelt gebruikelijke periodieke inundatie van percelen is van invloed op de waterkwaliteit. De drainageafvoer na inundatie bevat tijdelijk significant hogere concentraties ammonia en fosfaat in vergelijking tot een perceel met bollenteelt.
- Het druppelirrigatiesysteem heeft veel potentie voor zuinig watergebruik, meeropbrengst en gewasverbeteringen, zeker ten tijde van droge perioden en draagt bij tot het verlagen van de ziektedruk. Tijdens de droge zomer in 2018 is in Borgsweer een significante meeropbrengst van 22% gerealiseerd met ondergrondse druppelirrigatie op pootaardappelen.

6

SPAARWATER IN DE POLDER

6.1 Opschalen: van perceel naar polder

De waterschappen zijn als beheerder verantwoordelijk voor de verdeling van het beschikbare zoete water en de beheersing van het doorspoelsysteem. De groeiende vraag naar water en tegelijkertijd de afnemende beschikbaarheid vormt een grote uitdaging voor het hedendaagse waterbeheer. Omgang met watertekort, klimaatverandering en verzilting vereist een gerichte aanpak van het regionale zoetwater verdelingsvraagstuk.

Spaarwatermaatregelen worden toegepast op bedrijfsniveau op percelen. De maatregelen, wanneer breder toegepast in een gebied, zullen ook van invloed zijn op het regionale watersysteem. Bijvoorbeeld door een lagere zoutbelasting, waarbij dit er tevens voor kan zorgen dat er minder hoeft te worden doorgespoeld. De invloed van de toepassing van de Spaarwatermaatregelen op de waterkwaliteit, de doorspoelbehoefte en de zoetwatervraag is voor een drietal pilotpolders op basis van modelsimulaties inzichtelijk gemaakt. Het betreft: Oostpolder (NH), Oude Bildtpollen en Noorderleegpolder (Fr) en Negenboerenpolder (Gr). De uitkomsten van deze analyse maken onderdeel uit van de input voor de Maatschappelijk Kosten-Baten Analyse (MKBA, Hoofdstuk 7).

6.1.1 Korte gebiedsbeschrijving polders voor regionale analyse

De Oostpolder is onderdeel van de Anna Paulownapolder en ligt in het

Figuur 45. Ligging van drie poldergebieden Oostpolder (NH), Oud Bildtpollenpolder (Fr) en Negenboerenpolder (Gr) die gebruikt zijn voor de regionale analyse

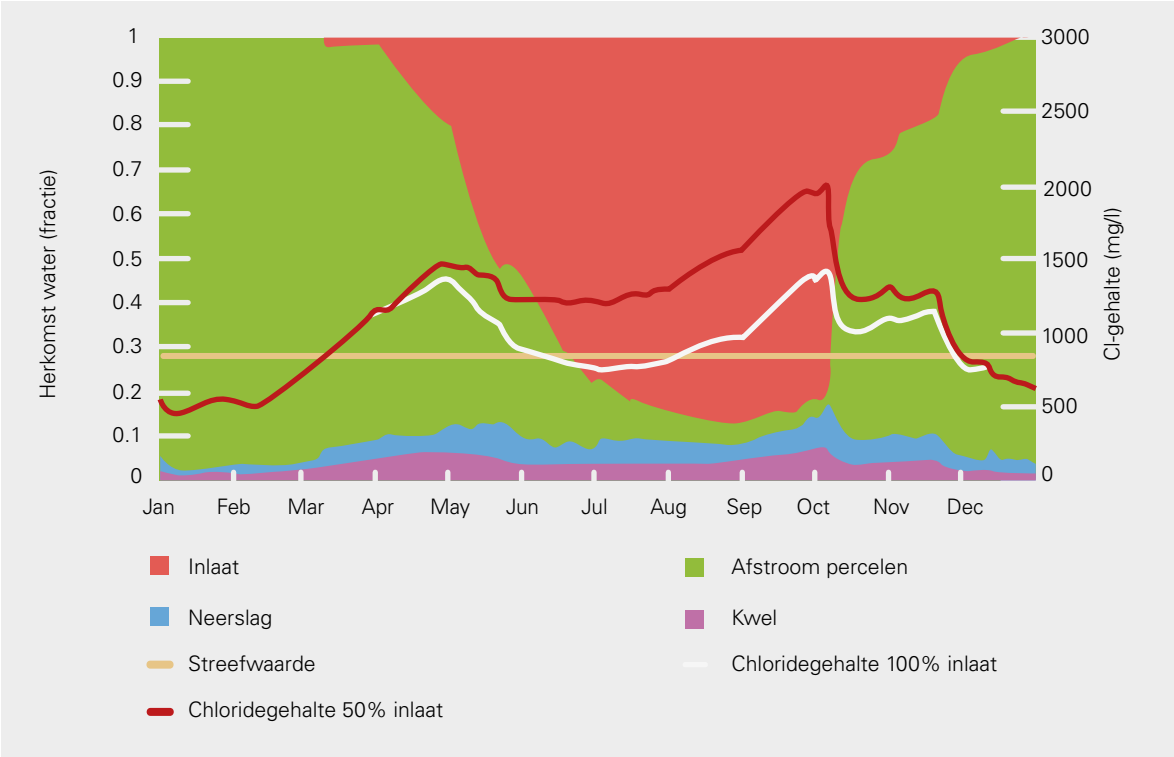
beheergebied van HHNK. De polders liggen als gevolg van veenafgravingen en maaivelddaling beneden zeeniveau en het waterpeil wordt door bemaling gereguleerd. Het waterbeheer is over het algemeen gericht op het handhaven van een streefpeil. Het overtollige water wordt via de gemalen uitgeslagen, water wordt ingelaten vanuit een boezemsysteem (in dhet groeiseizoen, globaal voorjaar en zomer). Inlaat van water vindt plaats voor peilhandhaving en kwaliteitsverbetering (bestrijding algenbloei en verzilting). De streefwaarde voor het zoutgehalte is 2 mS/cm, wat overeenkomt met ongeveer 460 mg/l chloride. Het landgebruik in de polder is overwegend akkerbouw met gewasrotatie van pootaardappels, bieten en granen wat representatief is voor de akkerbouw in de regio. Naast akkerbouw worden ook bloembollen geteeld op gehuurde percelen in de Oostpolder. Voor pootaardappelen geldt een beregeningsverbod, gebruik van zoet water uit de sloot heeft dan ook betrekking op de andere akkerbouwgewassen en in toenemende mate voor de bollenteelt.

De Oude Bildtpollen polder (Wetterskip Fryslân) is begrensd door dijken die het gebied van de Miedemapolder scheidt in het zuiden en de Waddengebied in het noorden. De polder wordt voorzien van zoetwater uit boezemsysteem met een gemaal. Het water uit de poldeer loopt vervolgens weer terug in het boezemsysteem van waaruit het, als onderdeel van een grotere watersysteem met een gemaak in de Waddenzee pompt.
Op het merendeel van de percelen is drainage aangebracht. Evenals voor de Oostpolder is het landgebruik akkerbouw met als belangrijkste gewas pootaardappelen, naast suikerbieten en graan.

De Negenboerenpolder is gelegen ten westen van het Lauwersmeer en ten noorden van de Dorpen Kloosterburen en Hornhuizen binnen in het beheersgebied van waterschap Noorderzijlvest. De polder is onderdeel van het zoetwaterplan waarmee het kustgebied wordt voorzien van zoet water. Het water wordt aangevoerd via andere polders. De streefwaarde voor het zoutgehalte is 3 mS/cm, wat overeenkomt met ongeveer 800 mg/l chloride. Evenals voor de andere polders is het landgebruik overwegend akkerbouw met als belangrijkste gewas pootaardappelen, naast suikerbieten en graan. Maar ook hier vindt op een enkel perceel bollenteelt plaats.

6.2 Zoetwatervoorziening

Het regionale waterbeheer is ingericht op de aanvoer van zoetwater voor doorspoelen en peilhandhaving. Tegelijkertijd wordt gestreefd naar de tijdige afvoer van overtollig regenwater. Het poldersysteem is hierdoor dynamisch, en vereist zorgvuldig handelen van de waterbeheerder. De waterbeheerder kan de aanvoer en afvoer van water regulieren met infrastructurele werken die in veel polders aanwezig zijn, zoals inlaten, gemalen en stuwen.



Figuur 46. Effect van halvering doorspoelhoeveelheid op het chloridegehalte in de Oude Bildtpollen polder. Op de achtergrond is de fractieverdeling van water weergegeven voor de referentiesituatie met 100% van de inlaathoeveelheid.

Stuwen delen de polder op in peilvakken, wat het reguleren van waterkwaliteit en het gedoseerd afvoeren van water makkelijker maakt.

6.2.1 Doorspoelbehoefte

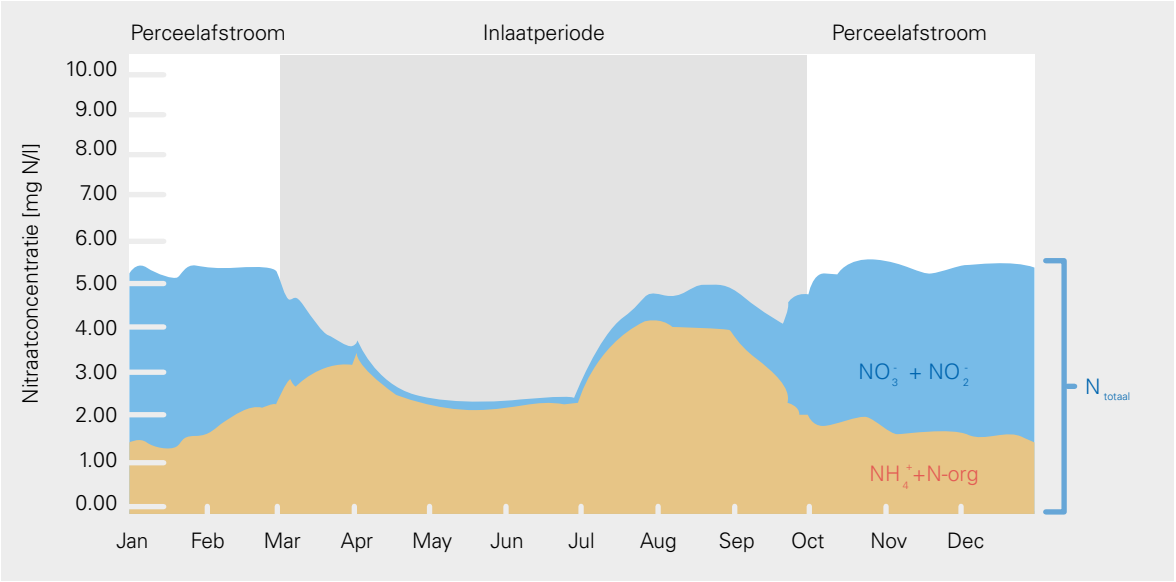
Inlaat van water vindt plaats om de peilen te handhaven. Peilen dalen in droge perioden door verdamping, wegzijging en waterinname door agrariërs. Bovendien worden door de inlaat van water in polders met brakke kwel zout- en nutriëntengehalten verlaagd ten behoeve van landbouwkundig watergebruik, recreatie en natuur. Dit is het zogenaamde doorspoelen.

De mate van doorspoelen hangt af van het zoutgehalte in de watergangen. Dit wordt bepaald door het zoutgehalte en de grootte van de kwel ter plaatse, de uitstroming vanuit de percelen (drainage) en de bovenstroomse aanvoer van oppervlaktewater en zoutgehate daarvan. Buiten de gestage kwelstroom variëren de hoeveelheden en de zoutgehaltes van het inlaatwater en perceeluitstroom sterk. Algemeen geldt dat wanneer droge perioden weinig uitstroom van water uit percelen optreedt de zoutgehaltes in de watergangen toeneemt. Doorspoelen (feitelijk verdunnen) verlaagd de zoutgehaltes tot een streefwaarde zodat het geschikt is voor bijvoorbeeld beregening of veedrenking. Figuur 46 illustreert het belang van doorspoelen op het zoutgehalte. Het bertreft een voorbeeld voor de Oude Bildtpollen en Noorderleegpolder, die zijn berekend met een water- en stoffenbalansmodel. Het halveren van de inlaathoeveelheid leidt tot een toename in het zoutgehalte, waardoor de streefwaarde van het zoutgehalte in de sloten niet meer gehaald wordt.

6.2.2 Nutriëntenstroom

Naast het verhogen van de zoutlast op perceel en sloten, zorgt kwel voor een aanvoer van nutriënten, zoals stikstof en fosfaat, naar het oppervlaktewatersysteem. Het gebruik van bemesting in de landbouw en de atmosferische depositie van nutriënten dragen verder bij aan de nutriëntengehalten in het oppervlaktewater.

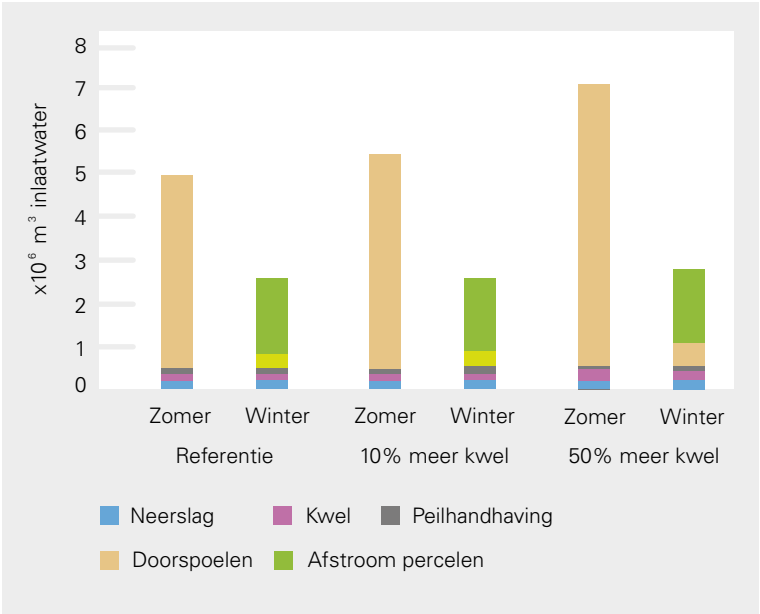
In de Negenboerenpolder blijkt dat het stikstofgehalte in het oppervlaktewater gerelateerd is aan het type water dat domineert in het oppervlaktewater; perceeluitstroom water, kwelwater of inlaatwater. Nitraat en in kleine mate nitriet overheersen in het voorjaar en najaar (perioden van hoge drainageafvoer uit percelen), ammonium en organische stikstof in de zomerperiode (periode met veel inlaatwater en directe kwel naar de sloot en een beperkte tot afwezige drainageafvoer uit percelen) (Figuur 47). Stikstof in het oppervlaktewater kan ook het gevolg zijn van nutriënten in de bodem die via mineralisatie en andere omzettingsprocessen vrijkomen. Bovendien kunnen antropogene bronnen een bijdrage leveren.



Figuur 47. Verloop van stikstofconcentraties gedurende het jaar gebaseerd op werkelijk gemeten waterkwaliteitmonsters en gereconstrueerd in het waterbalansmodel voor de Negenboerenpolder.

6.3 Zoetwater-voorziening onder druk

Bodemdaling, zeespiegelstijging en veranderingen in het klimaat maken dat de zoetwatervoorziening onder druk komt te staan. Bovendien zorgt een verhoging van de kweldruk (van zout en brak grondwater) voor een toename van de zoetwatervraag en de externe wateraanvoer. Dat de externe zoetwateraanvoer gerelateerd is aan de kweldruk illustreert Figuur 48. Door een hogere kweldruk neemt de zoute flux richting kavelsloten en hoofdwateren toe, met een hoger zoutgehalte in het oppervlaktewater tot gevolg. Figuur 48 laat het effect zien van een kweltoename van 10% (van 1mm/d naar 1,1 mm/d) en 50% (toename tot 1,5mm/d) in de Oostpolder op de benodigde doorspoelhoeveelheid om de streefwaarde voor waterkwaliteit (EC = 2 dS/cm) in de sloten te behouden. Bij een kweltoename van 50% is in de zomerperiode meer dan 50% extra doorspoelwater nodig.
Voor het behouden van dezelfde waterkwaliteit is onder toekomstige omstandigheden dus veel meer water nodig.

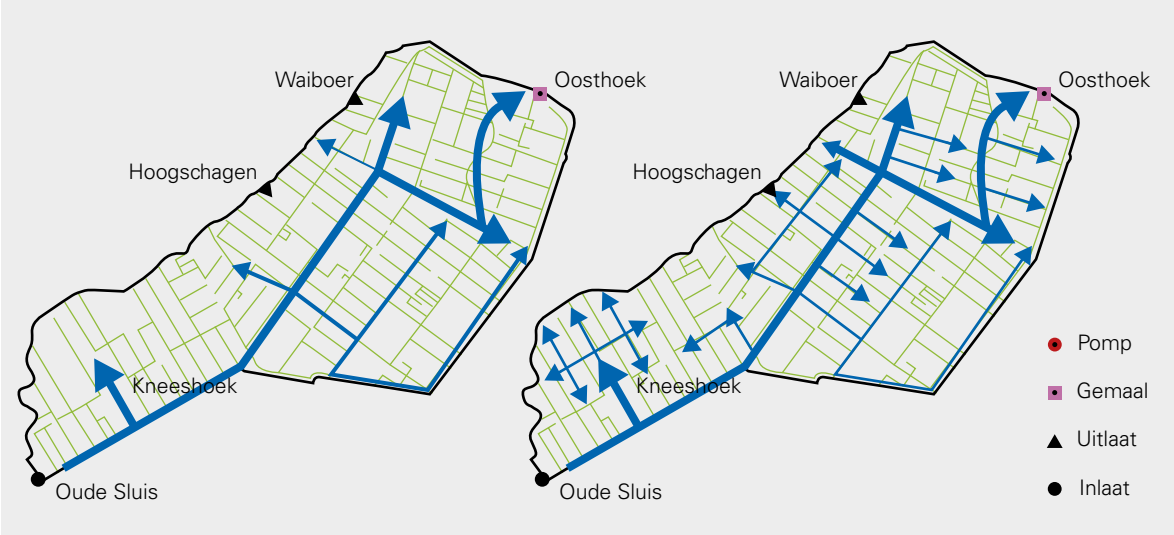


Figuur 48 Het effect van kweltoename op het de doorspoelbehoefte in de Oostpolder bij het waarborgen van een waterkwaliteit van EC = 2 dS/cm (460 mg/L).

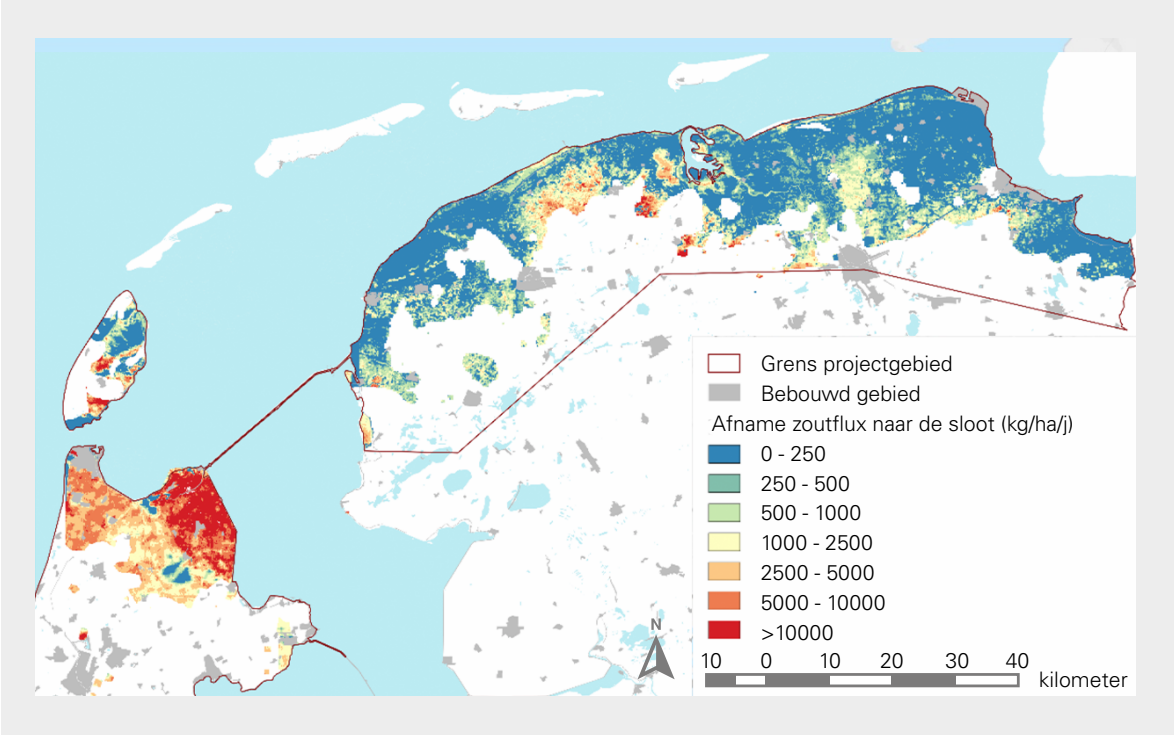
6.4 Alternatieve waterbeheers-maatregelen

6.4.1 Verzoeting van hoofdwatergangen

Om de beschikbaarheid van zoetwater van voldoende kwaliteit in de toekomst in een poldersysteem te waarborgen is het vergroten van de huidige zoetwateraanvoer geen duurzame oplossing. Hiervoor zijn alternatieve waterbeheersmaatregelen noodzakelijk. Één van de mogelijke opties is het beperken van de zoetwateraanvoer tot alleen die watergangen waarmee de agrariers beschikking behouden over beregeningswater. De overige sloten worden in dit scenario niet meer te voorzien van zoetwateraanvoer en worden enkel gebruikt voor afvoer (Figuur 49). Uit modelsimulaites komt naar voren dat hiermee tot



Figuur 49. Links: Enkel de hoofdwatergangen voor wateraanvoer. Rechts: zoals gebruikelijk doorspoelen van geheel oppervlaktewatersysteem.



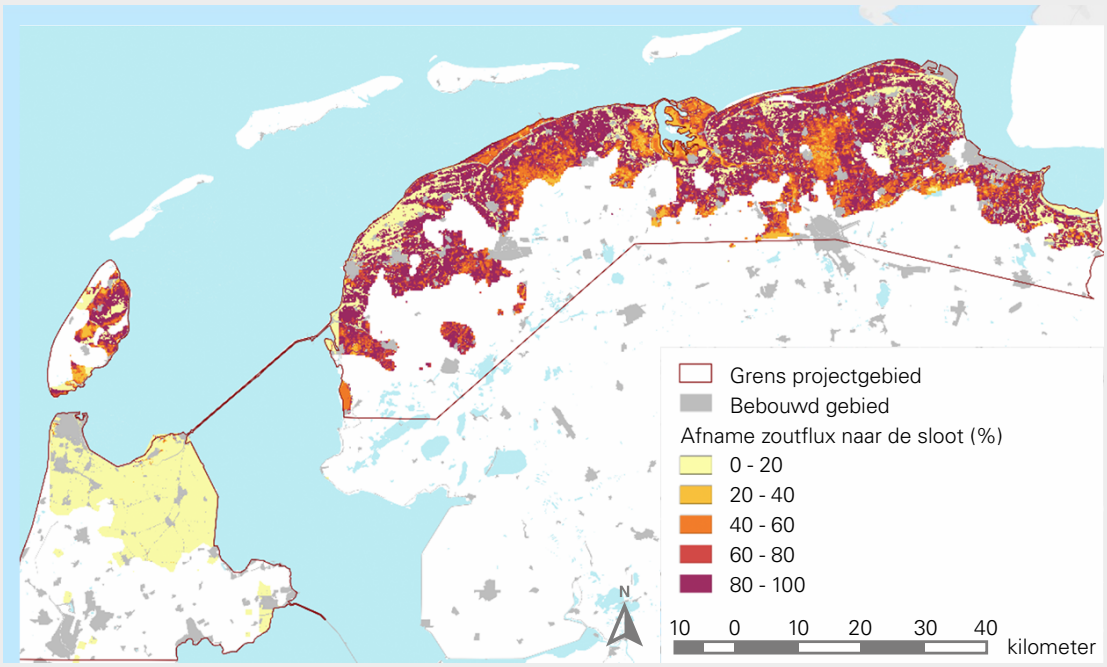
Figuur 50: De huidige directe zoutflux vanuit de ondergrond (kwel) naar de sloten. Deze kaart illustreert niet de flux vanuit de percelen naar de sloot. De kaart is geschikt voor gebruik op regionaal niveau; het risico kan in werkelijkheid lokaal afwijken.

80% doorspoelwater kan worden bespaard. Dit verschilt natuurlijk per polder en is afhankelijk van het watersysteem en lokale omstandigheden. Deze aanpak is daarmee wel uitermate interessant om verder in de praktijk te verkennen omdat op basis van de aanwezige infrastructuur soms met een relatief kleine inspanning te realiseren kan zijn.

Het is eerder al vastgesteld dat er ook vaak te veel wordt doorgespoeld. In sommige gevallen kan door een kleinere doorspoelhoeveelheid de efficiëntie van het gebruikte water verbeteren, zonder dat de streefwaarde voor chloridegehalte gevaar loopt (Acacia Water, 2013 voor polder de Schermer).

6.4.2 Verziltingsbestrijding door peilopzet in de sloot

Een veel voorgestelde mogelijkheid om verzilting in het oppervlaktewatersysteem tegen te gaan is het toepassen van peilopzet in sloten. Door in de sloten een verhoogd peil te hanteren vermindert de directe zoutbelasting op sloten. Het heeft geen invloed op verzilting in percelen.



Figuur 51: De relatieve afname (als % ten opzichte van de uitgangssituatie met een ongewijzigd slootpeil) in zoutflux vanuit de ondergrond (kwel) naar de sloten als het slootpeil met 30 cm verhoogd wordt. De kaart is geschikt voor gebruik op regionaal niveau; het risico kan in werkelijkheid lokaal afwijken.

Met modelsimulaties (SVOffice) is de huidige (Figuur 50) en de relatieve afname (Figuur 51) van de zoutbelasting naar sloten binnen de waddenregio inzichtelijk gemaakt. Uit de kaarten blijkt dat het verhogen van het slootpeil de directe zoutflux naar de slootverlaagd. Het kan daarmee bijdragen tot vermindering van zoetwateraanvoer.

Peilopzet kan echter niet zonder meer worden toegepast. Er dient rekening te worden gehouden met de variaties die binnen een peilvak kunnen bestaan. Bijvoorbeeld vermindering van de drooglegging. Peilopzet in de sloot verlaagt de bergingscapaciteit van het oppervlaktewatersysteem, waardoor tijdige afvoer van overtollig regenwater tot problemen kan leiden.

Peilopzet kan ook negatief uitpakken door verzilting in percelen in de hand werken bij brakkere sloten. In veel gevallen worden drainagebuizen vlak boven het zomerpeil van de sloot aangelegd. Bij een peilopzet komen de drainagebuizen onder water te staan. Brak water vanuit de sloot infiltreert dan via de drains in het perceel waardoor verzilting in het perceel optreedt. Daarnaast bestaat het risico dat ook ziektekiemen het perceel op deze manier kunnen binnendringen.

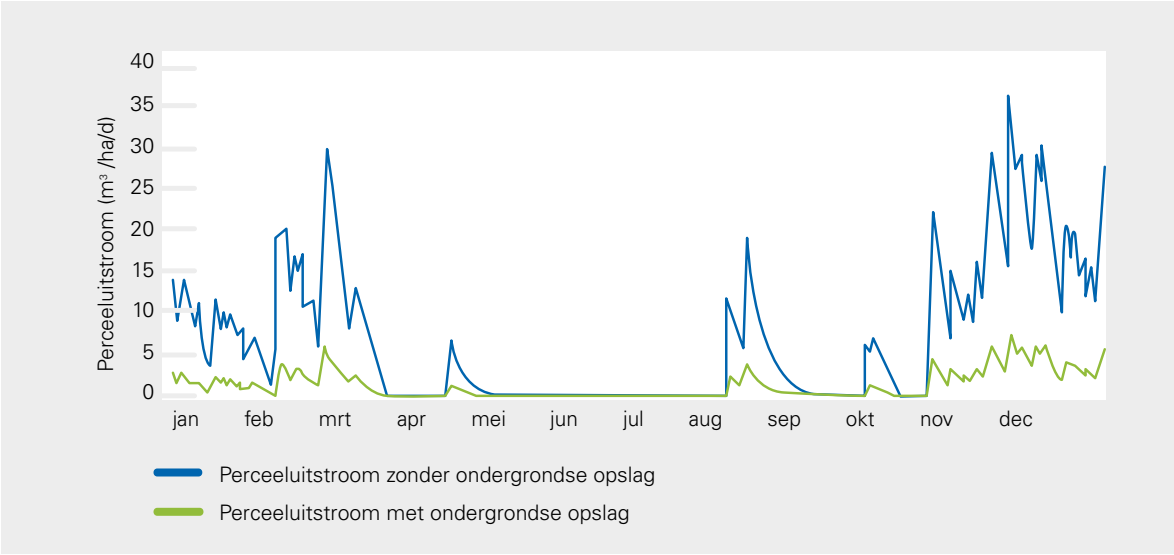
6.5 Spaarwaterbeheer

Spaarwatermaatregelen op regionaal niveau hebben effect op het waterbeheer in de nabije toekomst. Agrariërs kunnen zelfvoorzienend worden in hun zoetwaterbehoefte en verlagen de emissie van zout en nutriënten naar het oppervlaktewatersysteem. Hierdoor neemt de behoefte voor externe zoetwateraanvoer af, wat kan leiden tot een reductie van inlaatwater en aanpassingen in het doorspoelregime. De onderstaande voorbeelden illustreren de effecten van implementatie van Spaarwatermaatregelen in 50% van de onderzochte pilotpolders.

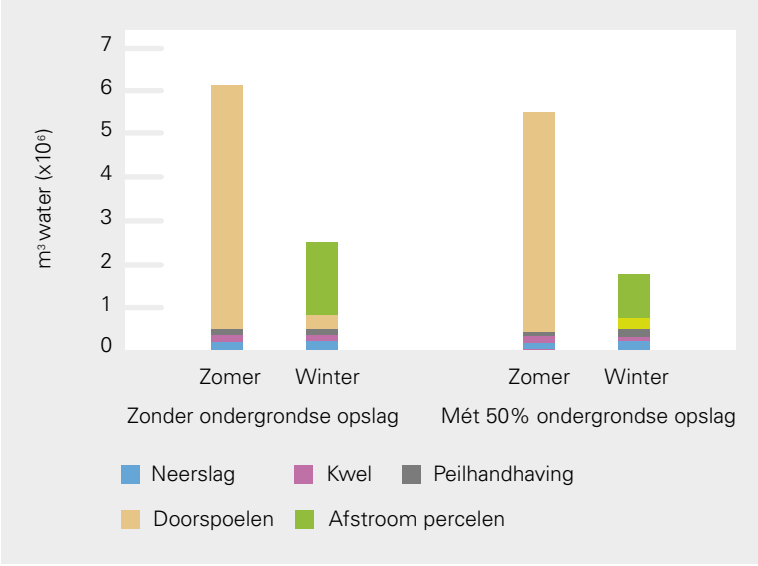
6.5.1 Inlaatreductie en vermindering piekafvoer (voorbeeld Oostpolder)

Een eigenwatervoorziening door ondergrondse opslag van perceelseigenwater kan een oplossing bieden voor twee tegenstrijdige problemen in een polder: zoetwatertekort in de zomer en wateroverlast bij piekafvoeren. Dit is onderzocht voor de Oostpolder. Ondergrondse opslag beperkt de piekafvoer van drainwater uit percelen na neerslag (Figuur 52). Het overtollige water wordt in het perceel opgeslagen en infiltreert vervolgens in de ondergrond via infiltratieputten.

Bovendien kan bij ondergrondse opslag in 50% van de Oostpolder een inlaatreductie van 11% plaatsvinden (Figuur 53). Door verlaging van zoutlast uit het perceel is minder inlaatwater nodig om de streefwaarde voor het zoutgehalte in het oppervlaktewater te behalen. Ondanks de inlaatreductie voorziet de ondergrondse opslag de agrariërs van voldoende zoetwater.



Figuur 52. Perceeluitstroom met en zonder ondergrondse opslag. Ondergrondse opslag leidt tot een vermindering van de piekafvoer.



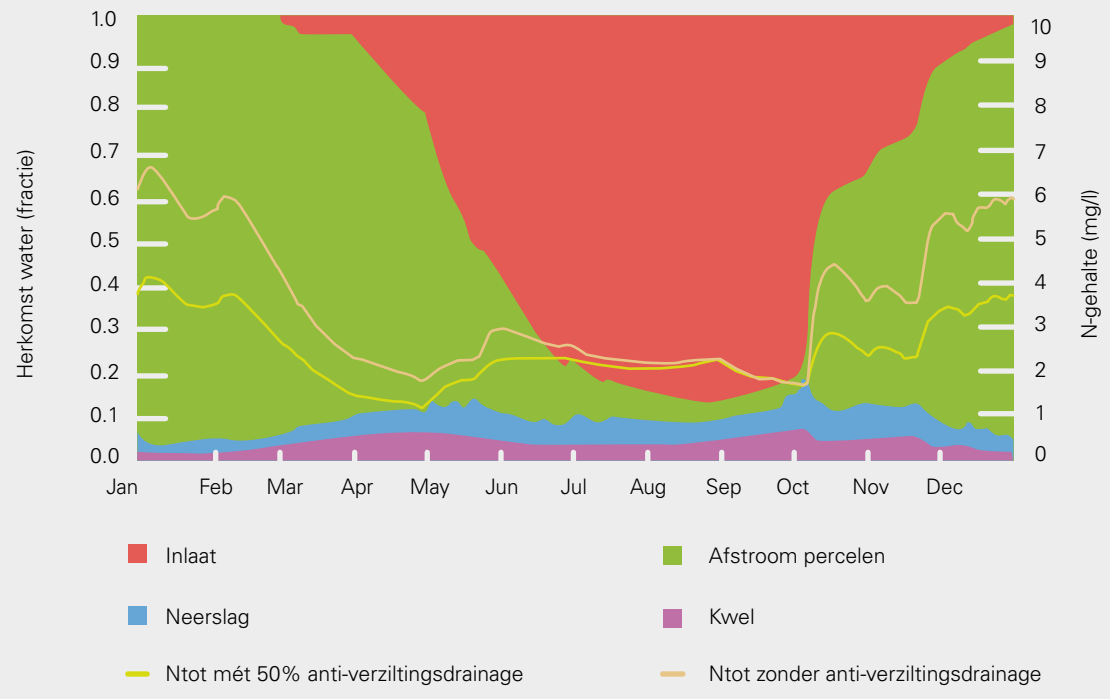
Figuur 53. Overzicht van waterbalans in de Oostpolder in de zomer en winter zonder ondergrondse opslag en mét ondergrondse opslag in 50% van de Oostpolder. Bij gelijkblijvend chloridegehalte in het oppervlaktewater (EC=2 dS/m) is bij ondergrondse opslag 11% minder doorspoeling nodig.

6 .5.2 Anti-verziltingsdrainage (voorbeeld Oude Bildtpollen en Noorderleegpolder)

Vanwege de ligging van de Oude Bildtpollen en Noorderleegpolder aan het einde van het zoetwateraanvoersysteem, is het bereiken van een voldoende oppervlaktewaterkwaliteit in de polder een uitdaging. Er wordt veel water gebruikt voor het doorspoelen van het watersysteem. Dit heeft tot doel het zoutgehalte te onderdrukken en tevens het verlagen van nutrientenconcentraties.

Anti-verziltingsdrainage kan een bijdrage leveren tot het verlagen van de nutrietenuitstroom uit percelen. Het toepassen van anti-verziltingsdrainage in 50% van de polder leidt dan ook tot een afname van nutriëntengehalte in het oppervlaktewater van de polder (Figuur 54). Dit effect is het grootst gedurende de winterperiode wanneer de percelen perceelseigen water vasthouden. In deze periode is er weinig tot geen inlaat van extern water, waardoor de effecten van de anti-verziltingsdrainage op de oppervlaktewaterkwaliteit goed zichtbaar zijn. In de winterperiode bedraagt de afname van de totale concentratie stikstof 36%, van 4.6 naar 2.9 mg/l.

Door anti-verziltingsdrainage neemt de totale concentratie stikstof in de zomerperiode af met 15%, van 2.2 tot 1.9 mg/l. In de zomerperiode (april-september) ligt het effect van anti-verziltingsdrainage echter genuanceerder doordat er veel externe aanvoer van zoetwater is en er weinig tot geen afvoer vanuit het perceel plaatsvindt. De verhouding van water afkomstig uit het perceel, neerslag of kwel versus water dat afkomstig is van inlaat in deze perio-



Figuur 54. Verloop van totaal stikstof in de Oude Bildtpollen en Noorderleegpolder zonder anti-verziltingsdrainage en mét anti-verzilitingsdrainage in 50% van de polder.

de is 1:10 (Figuur 54). De norm-periode van de KRW richt zich op deze zomerperiode. De verminderde nutriëntenuitstroom uit percelen draagt derhalve vooral in de winterperiode bij aan de KRW-opgave voor het waterschap in de regio en in mindere mate in de zomerperiode.

Doordat in de zomer in de polder geen uitstroom vanuit percelen plaatsvindt, is de nutriëntenbelasting te relateren aan directe belasting door kwel of instromende nutrienten uit andere polders. Een verdere verlaging van het nutriëntengehalte in het oppervlaktewater in deze periode is lastig en kan alleen worden bereikt door een verdere reductie van nutrienten van het inlaatwater. Overigens is dit niet te veralgemeniseren naar andere polders. Voor andere polders geldt dat Spaarwatermaatregelen leiden tot een vermindering van instromende nutriënten uit percelen in het poldersysteem.

Conclusies Spaarwater in de polder

- Het huidige waterbeheer is ingericht op de aanvoer van zoetwater voor (1) peilhandhaving, (2) doorspoelen om het zoutgehalte te verlagen en (2) verbeteren van waterkwaliteit in relatie tot KRW doelstellingen (4) uiteraard op de afvoer van overtollig regenwater.
- Toename van kweldruk door bodemdaling, zeespiegelstijging en veranderingen in het klimaat zorgt ervoor dat in de toekomst meer inlaatwater nodig is voor het behoud van dezelfde waterkwaliteit.
- Binnen het watersysteem zijn alternatieve waterbeheersmaatregelen mogelijk waarmee de benodigde hoeveelheid inlaatwater sterk kan worden gereduceerd.
- Peilopzet in de sloten verlaagt de directe zoutbelasting naar de sloot. De maatregel kan niet zonder meer worden toegepast. Het leidt onder andere tot een beperking van de bergingscapaciteit. Er bestaat bovendien een risico op verzilting in percelen wanneer slootwater via ondergelopen drainagebuizen het perceel indringt. Tevens stijgt het risico op indringing van gewasziekten vanuit het slootwater.
- Toepassen van Spaarwatermaatregelen op regionale schaal heeft positieve effecten voor het waterbeheer in een polder.
- Ondergrondse opslag beperkt de piekafvoer van drainwater uit percelen na neerslag. Door een eigenwatervoorziening is er minder inlaatwater nodig om dezelfde streefwaarde voor het zoutgehalte te realiseren.
- Anti-verziltingsdrainage leidt tot een daling van het nutriëntengehalte in het oppervlaktewater. Het leidt tevens tot een lagere zoutbelasting. Er is minder inlaatwater nodig om dezelfde streefwaarde voor het zoutgehalte dan wel nutrientengehalte te realiseren. Door een grotere buffercapaciteit in het perceel leidt ook antiverziltingsdrainage tot een lagere piekafvoer.

7

ECONOMIE EN BELEID

7.1 Inleiding

Verminderde zoetwaterbeschikbaarheid en een verhoogd verziltingsrisico leiden nu en naar verwachting in de toekomst tot meer problemen voor landbouw in de Waddenregio. Een belangrijke stap in de richting van een oplossing is de bepaling van de economische haalbaarheid en regionale opschalingsmogelijkheden van de Spaarwatermaatregelen.

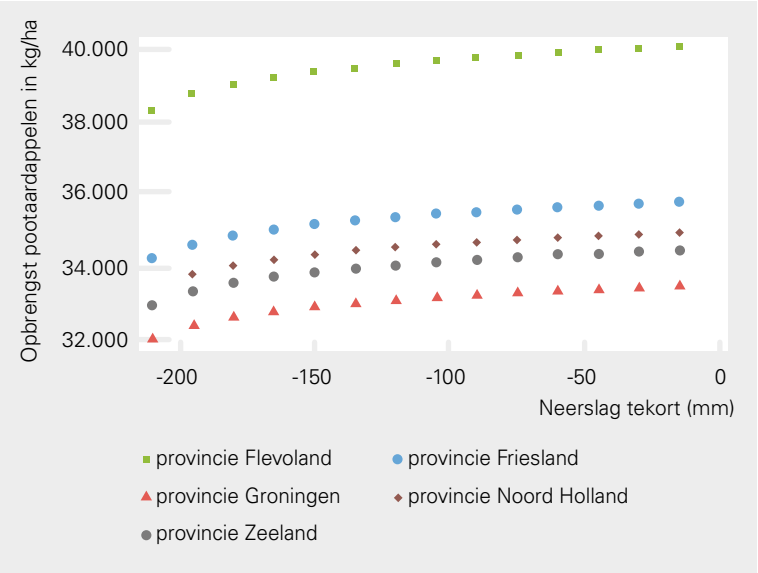
Het vermijden van droogte- en zoutschade en het eventueel realiseren van extra gewasopbrengst zijn voor de agrariër de belangrijkste baten van de Spaarwatermaatregelen. Beschikbaar gemaakt water uit de ondergrondse opslag vermijdt droogteschade en anti-verziltingsdrainage vermijdt zoutschade. De baten voor druppelirrigatie dragen bij aan het vermijden van droogteschade en levert een grote bijdrage aan efficiënt watergebruik.

De economische haalbaarheid van Spaarwatermaatregelen is onderzocht door de kosten en baten van de afzonderlijke maatregelen te analyseren en te belichten vanuit verschillende schaalniveaus en perspectieven. De analyses die hieruit volgen zijn respectievelijk:

- de kosten en baten voor de agrariër (op bedrijfsniveau);
- de kosten en baten voor de waterbeheerder (maatschappelijke kosten-batenanalyse; regionaal niveau).

Dit onderscheid leidt tot het werken op twee schaalniveaus, het bedrijfsniveau en regionaal niveau.

Het regionale niveau is uitgewerkt voor drie pilotpolders en er is een nieuwe methode ontwikkeld voor de tot op heden onbekende marktwaarde voor 'zoetwater', ofwel inlaatwater. De ontwikkelde methode maakt het mogelijk om de kosten en baten van maatregelen door een agrarier te vergelijken met die voor een waterbeheerder. Kortom de hier gepresenteerde water-economische methode ontwikkeling en bijhorende analyse vormt een belangrijke basis voor het besluitvormingsproces, zowel op bedrijfs- als beleidsniveau.



Figuur 55. Opbrengst pootaardappelen in kg/ha tov neerslagtekort in mm voor Flevoland, Groningen, Zeeland, Friesland en Noord-Holland.

7.2 Kosten en baten eigen watervoorziening op bedrijfsniveau

De kosten en baten van Spaarwatermaatregelen voor een agrarisch bedrijf zijn bepaald met behulp van een business case. Een business case is een hulpmiddel voor de agrariër bij het doen van een investering. In de business case worden alle mogelijke kosten en baten kwalitatief, kwantitatief en monetair geanalyseerd om zo te komen tot een advies van de economische haalbaarheid. Voor het monetariseren van de baten van Spaarwatermaatregelen is zijn o.a. droogte- en zoutschade aan gewassen bepaald.

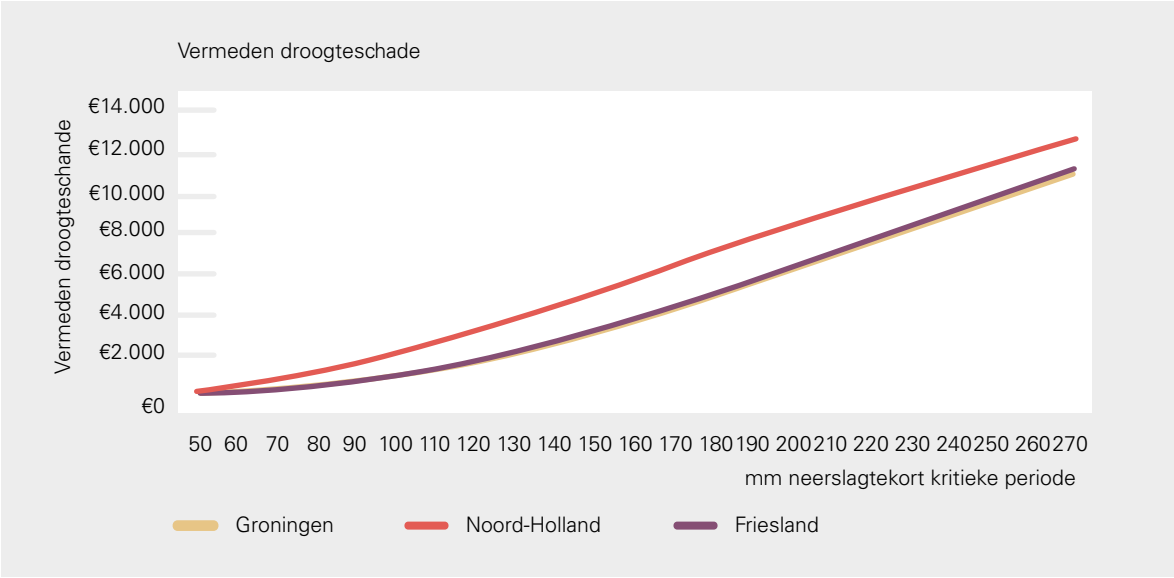
7.2.1 Kosten eigen watervoorziening

Het op grote schaal implementeren van de Spaarwatermaatregel brengt naar verwachting economische schaalvoordelen en marktwerking met zich mee waardoor de kosten dalen. In de kostenanalyse is dit verwerkt door afhankelijk van technische componenten verschillende kostenvarianten uit te werken waarop vervolgens de economische haalbaarheid is gebaseerd.

Een kostenreductie wordt bereikt door toepassing op een grotere schaal. Op basis van de ervaringen uit de pilots binnen en buiten Spaarwater blijkt dat het gebruik van een eenheid van 100ha een optimum geeft voor kosten en effectiviteit van een systeem. Een 'volledig systeem' omvat naast de infiltratietechniek ook het geschikt maken van drainage om zoetwater op te vangen (uitgegaan is van volledig opnieuw aanleggen van drainage) in combinatie met de infiltratie- en ontrekkingsputten en een leidingnetwerk voor distributie. De kosten van het complete systeem zijn €800.000,-. Dit komt qua kosten neer op €800,- per hectare per jaar voor een investeringstermijn van 15 jaar. In deze variant is uitgegaan van een complexe bodemopbouw voor ondergrondse opslag, waardoor de investeringskosten hoog zijn. Als de bodemopbouw eenvoudiger is worden de infiltratie- en onttrekkingsputten op een efficiëntere manier geplaatst en dalen de kosten tot €600.000,- (€640,- per hectare per jaar). Hierbij is tevens uitgegaan van een nieuw drainagesysteem om het zoetwater op te vangen. Als de trend van het standaard aanleggen van anti-verziltingsdrainage zich in Noord-Nederland net zo ontwikkelt als peilgestuurde drainage in Zuid-Nederland, dalen de kosten onder invloed van schaalvoordelen en marktwerking verder tot €500.000,- (€555,- per hectare per jaar). Dit omdat er dan geen nieuw drainagesysteem aangelegd hoeft te worden om het water op te vangen voor de ondergrondse infiltratie.

7.2.2 Nieuwe methode bepalen droogteschade

Spaarwater is gericht op individuele ondernemers die op lokale schaal opereren. Om een economische analyse uit te voeren die dicht bij de realiteit van de agrariër staat bleek het essentieel de opbrengsten op bedrijfsniveau te kunnen bepalen. Data over droogteschade was bij de aanvang van het project schaars en gebaseerd op een landelijk gemodelleerd gemiddelde. Omdat de pilots zich specifiek op de Waddenregio richten, was het belangrijk om de regionale karakteristieken zoals neerslagpatronen, bodemprofielen en de beschikbaarheid van opper-



Figuur 56. Vermeden droogteschade, per mm neerslagtekort, pootaardappelen in Noord-Holland, Friesland en Groningen.

vlaktewater voor irrigatie te verwerken. Om deze reden is in Spaarwater een nieuwe methode ontwikkeld. In een samenwerking van Acacia Water en Wageningen Economic Research is de daadwerkelijk gemeten opbrengst van 2002 tot en met 2014 gebruikt om een verband te bepalen tussen de opbrengst van pootgoedteelt en waterbeschikbaarheid.
In Figuur 55 is de opbrengst in kg/ha ten opzichte van het neerslagtekort per provincie weergegeven. De data laat een duidelijk voordeel zien voor Flevoland, waar meer zoetwater beschikbaar is, ten opzichte van Groningen, Friesland, Noord-Holland en Zeeland, waar minder zoetwater beschikbaar is.

De hierna beschreven methode maakt het voor het eerst mogelijk om op regionale schaal, voor een specifiek neerslagtekort de gewasopbrengsten te schatten.

7.2.3 Droogteschade en bedrijfsresultaat

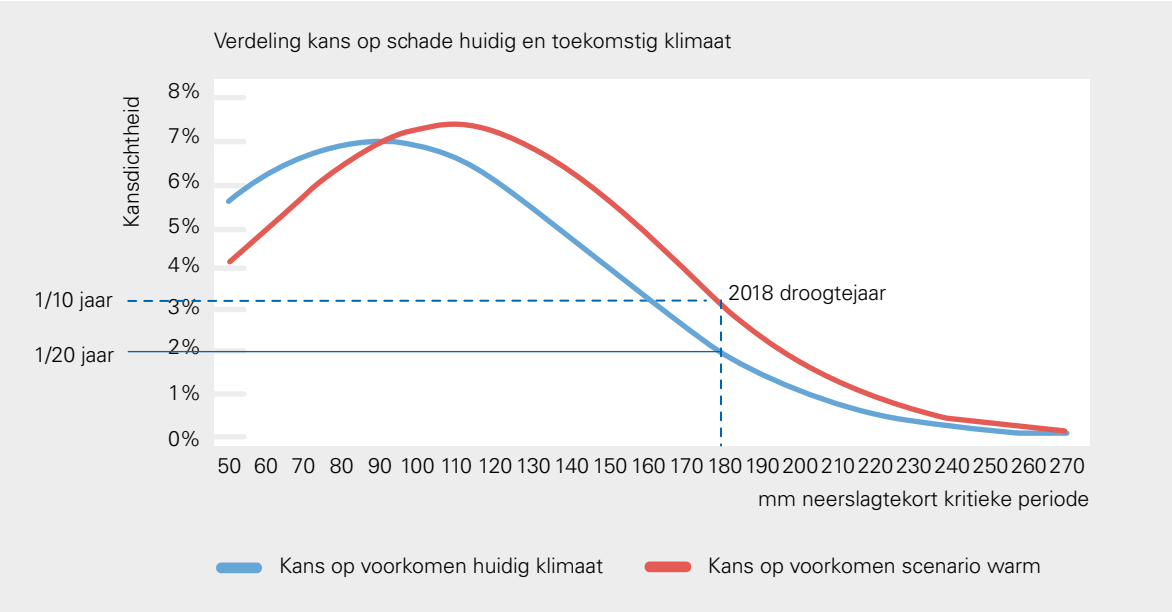
Hoewel de data geanonimiseerd gebruikt wordt, zijn de schattingen gebaseerd op daadwerkelijk gemeten bedrijfsresultaten, agrarische inputs en weersomstandigheden. Dit zorgt voor een betrouwbaar beeld en maakt het mogelijk om goed onderbouwde schattingen te doen over omzetderving door neerslagtekort en de extra opbrengst die irrigatiewater kan bieden.

Als eerste zijn de gemeten opbrengsten van pootaardappelen statistisch geanalyseerd om een verband te leggen tussen de opbrengst, de productiemiddelen van de boer en de meteorologische kenmerken die de gewasgroei bepalen. Op basis van deze relatie is een droogteschade-drempel gedefinieerd. Bij een neerslagtekort groter dan 22,5 mm is er droogteschade en heeft een agrariër baat bij extra irrigatiewater. In jaren met een kleiner of negatief neerslagtekort is er eveneens een lagere opbrengst, maar geen toegevoegd effect van extra zoetwaterbeschikbaarheid.

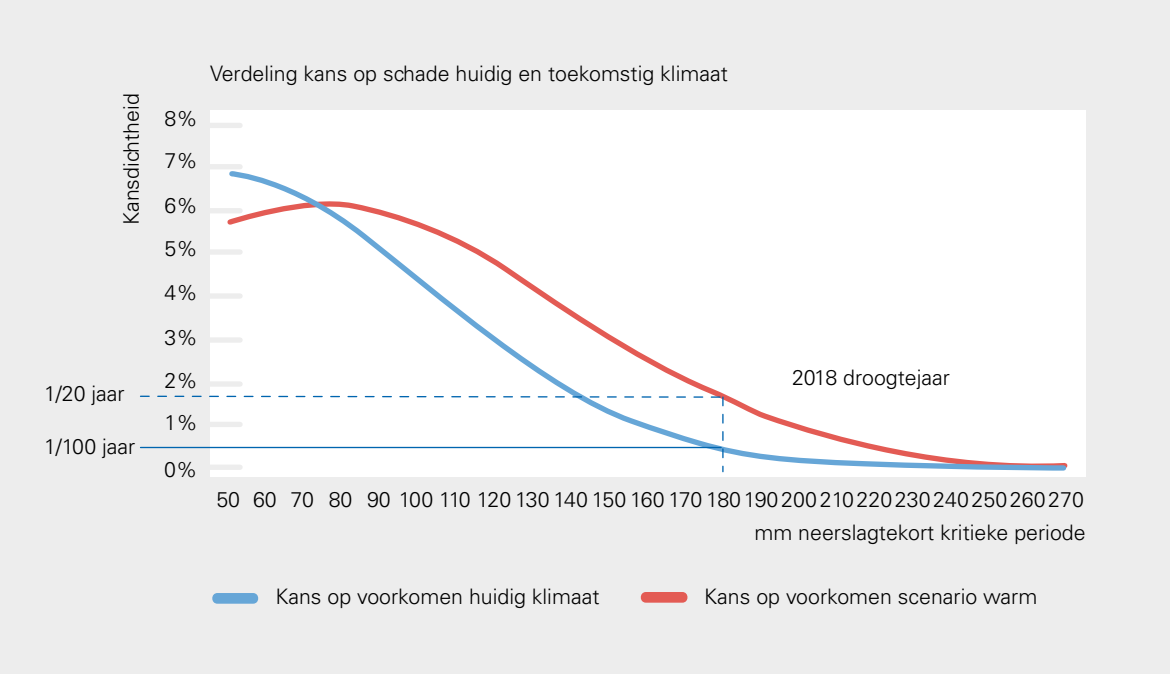
Dit leidt tot een overzicht van de droogteschade voor de jaren 2002 tot en met 2014. De droogteschade voor de jaren 2015 tot en met 2018 is vanuit deze data doorberekend en vastgesteld. Vanuit het statistische verband tussen opbrengst en het neerslagtekort in de kritieke periode van 15 juni tot en met 31 juli is een formule vastgesteld waarmee per provincie de opbrengsten behorende bij een specifiek neerslagtekort kunnen worden geschat. Het uitgangspunt is dat ondergrondse opslag het water beschikbaar stelt dat nodig is om het neerslagtekort te overbruggen. Hiermee wordt de stap gezet van 'droogteschade' naar 'vermeden droogteschade' en worden de getallen uit Figuur 56 gebruikt als baten voor ondergrondse opslag.

7.2.4 Herhalingstijden neerslagtekorten

Om een gemiddelde baat per jaar te kunnen berekenen is gebruik gemaakt van de verschillende 'herhalingstijden' behorend bij een bepaalde droogte. Aan ieder neerslagtekort is een kans op voorkomen gekoppeld dat is afgeleid uit een langjarig gemiddelde. Zo is voor Noord-Holland het neerslagtekort in de kritieke periode met een 1 in de 2 jaar kans van voorkomen 89 mm, en is er 1 in de 10 jaar kans op een neerslagtekort van 162 mm. De volgende stap die is gezet, is de vermeden droogteschade behorend bij een neerslagtekort te verrekenen met de kans dat deze droogte zich voordoet. Dit ter voorbereiding op



Figuur 57. Toenemende kans op een droogtejaar onder invloed van klimaatverandering in Noord-Holland

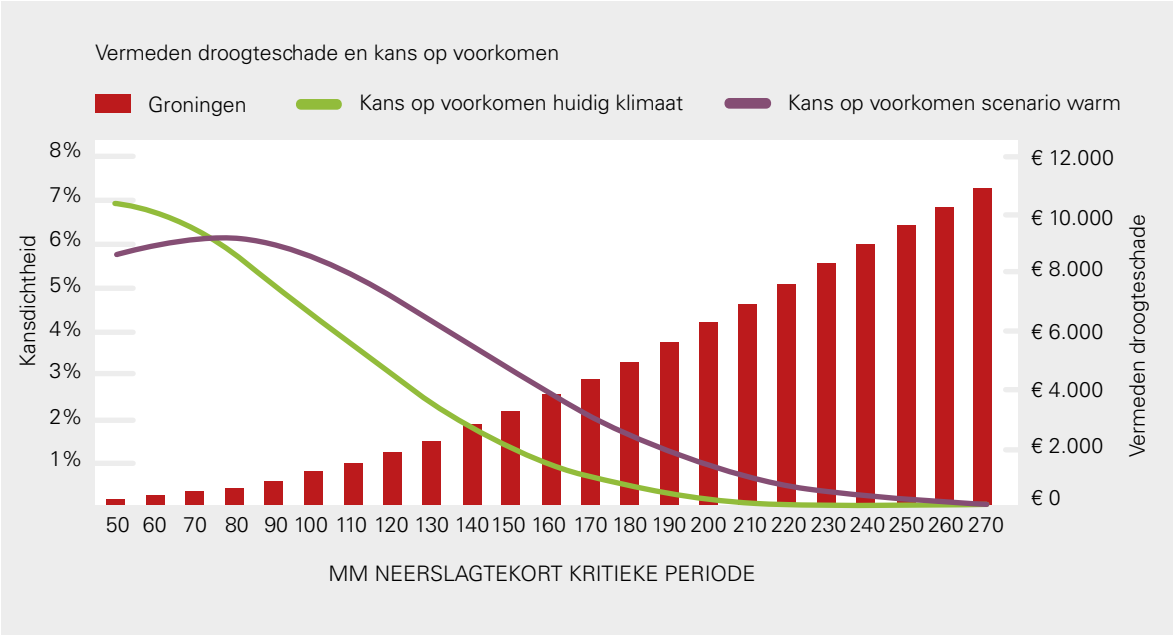


Figuur 58. Toenemende kans op een droogtejaar onder invloed van klimaatverandering in Groningen

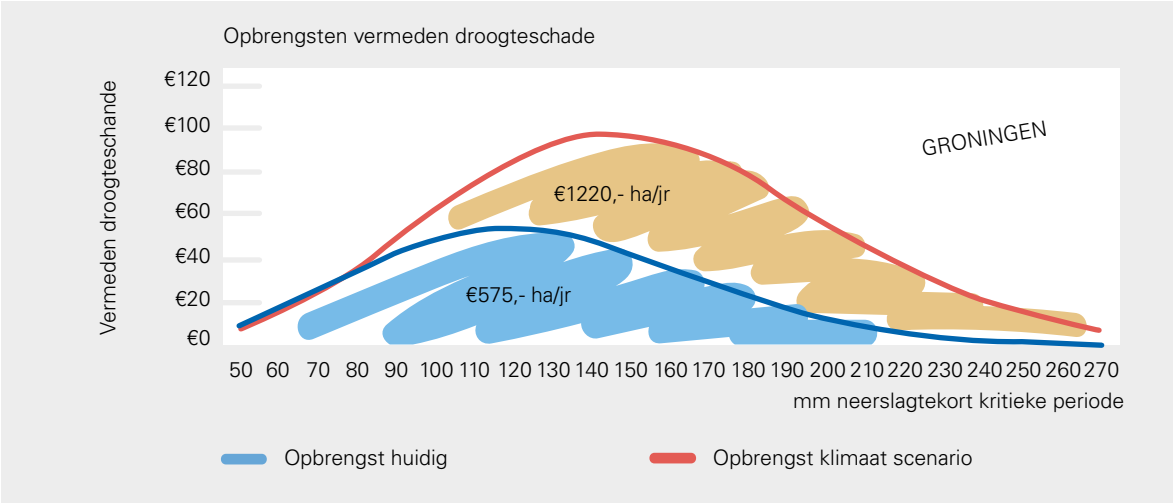
de berekening van het gemiddelde en de invloed van klimaatverandering. Als gevolg van klimaatverandering groeit namelijk de kans op een groter neerslagtekort. Het neerslagtekort horend bij een kans van 1 in de 2 jaar toe neemt dan toe tot 108 mm; bij 1 in de 10 jaar tot 178 mm.

7.2.5 Droogtejaar 2018

Door de vermeden droogteschade en de kans op voorkomen van een specifieke droogte te koppelen, kan per regio een gemiddelde opbrengst per jaar worden ingeschat. Omdat de kans op een droogte 'normaal verdeeld is' tellen de neerslagtekorten rond het gemiddelde het zwaarst mee voor de gemiddelde opbrengst. Extreme buien komen minder vaak voor (lagere kans op voorkomen). De kans op voorkomen zal onder invloed van klimaatverandering verschuiven. De droogte van 2018 is illustratief voor hoe de baten in de toekomst toenemen doordat de kans op droogte groeit. Het neerslagtekort in de kritieke periode van 2018 was 180 mm in Noord-Holland. De kans dat dit voorkomt is eens in de 20 jaar. Onder invloed van klimaatverandering schuift deze kans op naar eens in de 10 jaar, zie Figuur 57. Ook hier is het regionaal verschil tussen de provincies goed waarneembaar. Ook in Groningen was het neerslagtekort



Figuur 59. Vermeden droogteschade en kans op voorkomen, nu en in de toekomst



Figuur 60. De hier weergegeven opbrengsten is het berekend gemiddelde per jaar per hectare. De modelresultaten worden gebruikt om de opbrengsten voor meerdere historische en toekomstige investeringstermijnen te berekenen.

180 mm, hier is de kans op voorkomen echter eens in de 100 jaar, onder invloed van klimaatverandering wordt de kans daar eens in de 20 jaar, zie Figuur 58.

Voor iedere provincie is op basis van de herhalingstijden een doorrekening gemaakt naar een gemiddelde opbrengst per jaar. Deze gemiddelden zijn niet direct bruikbaar in de kosten-batenanalyse maar zijn gebruikt om de berekeningen te controleren en de resultaten te verifiëren

7.2.6 Vermeden droogteschade voorspellen

Met de nieuw ontwikkelde methode is het mogelijk gedetailleerd de opbrengsten van vermeden droogteschade te voorspellen. Niet alleen zijn de historische neerslagtekorten gekoppeld aan de daadwerkelijke opbrengsten, ook is het mogelijk om de vermeden droogteschade in toekomstscenario's uit te werken. Dit laatste is essentieel voor een goede investeringsprognose, de kans op een droogtejaar als 2018 neemt met een factor 5 toe. Daarnaast worden de regionale verschillen en het belang van maatwerk goed duidelijk in de nieuwe methode. .

7.3 Resultaten kosten-baten eigen watervoorziening op bedrijfsniveau

De nieuwe methode is gebruikt om de opbrengsten voor meerdere investeringstermijnen voor eigen

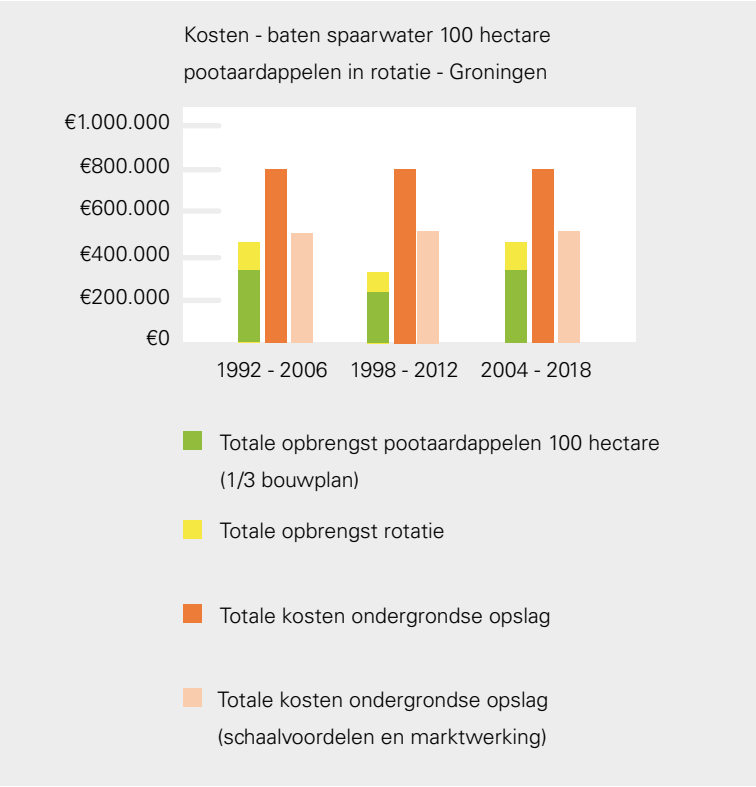
watervoorziening te bepalen. De technische levensduur van de ondergrondse opslagsystemen voor eigen watervoorziening is op dit moment 15 jaar. In de analyse zijn willekeurige periodes van 15 jaar doorgerekend op basis van het neerslagtekort van de afgelopen 30 jaar. Zo is een overzicht ontstaan van de totaal te behalen opbrengsten in een investeringsperiode van 15 jaar.

Pootaardappelen

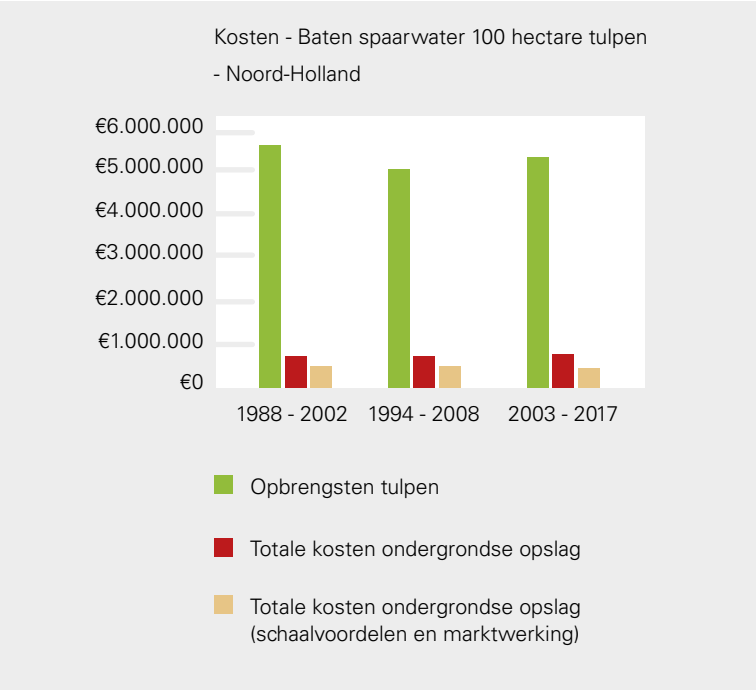
Voor een goed gewogen opbrengst is rekening gehouden met de 1/3 rotatie van pootaardappelen. De vermeden droogteschade van de overige rotatiegewassen is als één opbrengstenpost meegenomen. Een andere optie is dat de agrariër het systeem zo aanlegt dat hij het irrigatiewater ieder jaar beschikbaar heeft voor pootaardappelen en zo altijd baten heeft van de vermeden droogteschade. Uiteindelijk is het afhankelijk van de aanpak van de agrariër in hoeverre de baten meewegen. Het totaalbedrag is vergeleken met drie verschillende kostprijzen; €800.000,-, €600.000,- en €500.000. Het resultaat voor Groningen is weergegeven in Figuur 61. De totale baten variëren afhankelijk van het jaar van investeren. Daarnaast blijft er een investeringsgat bestaan tussen de kosten van de drie varianten en de baten.

Tulpen

De beschikbaarheid van zoetwater is van groot belang in de bollenteelt. Wanneer er water beschikbaar zal er altijd worden beregend. Er is daarom onvoldoende data over het verschil in opbrengst bij het wel en niet beregenen (dan wel sub-irrigatie) van bollen om dezelfde type functie als voor pootaardappelen op te stellen. Omdat de relevantie van beregening in de bollen groot is zijn de geschatte baten afgeleid van de bestaande



Figuur 61. Kosten en baten Spaarwater 100 hectare ondergrondse opslag, pootaardappelen in rotatie, Groningen



Figuur 62. Kosten en baten Spaarwater 100 hectare ondergrondse opslag, tulpen, Noord-Holland

formule voor droogteschade. Er is voor de uitwerking uitgegaan van tulpen. Om de geschatte baten voor tulpen te geven zijn op basis van de kritieke periode 1 april – 31 mei de opbrengsten voor willekeurige periodes van 15 jaar in de afgelopen 30 jaar berekend, zie Figuur 62. De vermeden droogteschade refereert naar een situatie

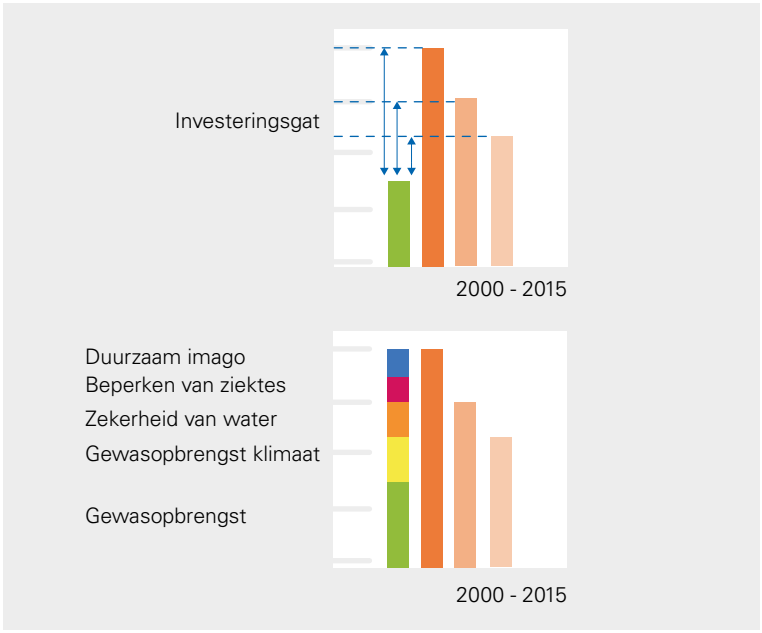
waarbij geen aanvoer van oppervlaktewater is en beregening uit oppervlaktewater niet mogelijk is.

7.3.1 Het investeringsgat

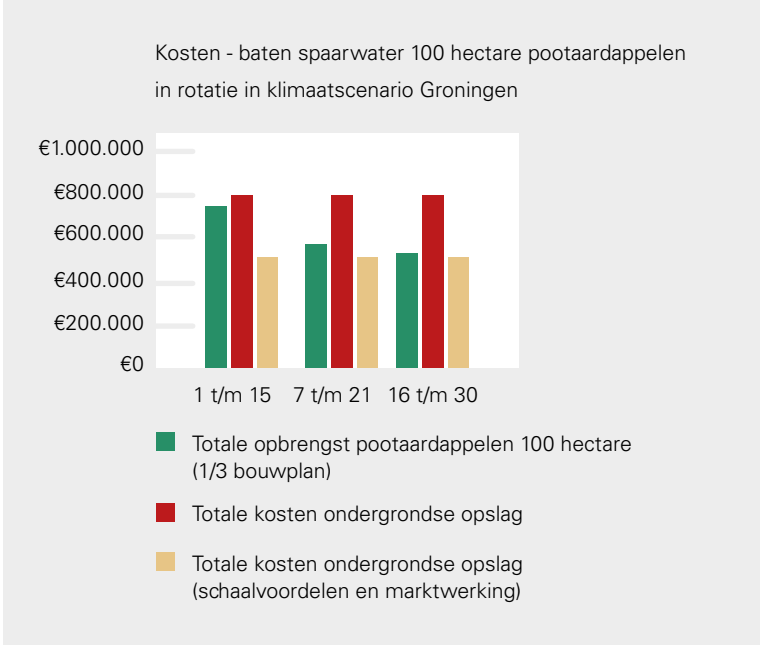
Het investeringsgat kan op verschillende manieren worden opgevuld (Figuur 63). Voorbeelden van opties zijn een hogere gewasopbrengst door toenemende droogte onder klimaatverandering, risicomijding door de zekerheid van voldoende zoetwater, het beperken van ziektedruk en een duurzaam imago.

7.3.2 Gewasopbrengsten onder invloed van klimaatverandering

De optie 'hogere opbrengst door toenemende droogte onder klimaatverandering' is uitgewerkt door willekeurige periodes van 15 jaar over dezelfde tijdsperiode van 30 jaar als bovenstaande resultaten met neerslagtekorten behorend bij klimaatscenario WH midden 2050 door te rekenen. Zo ontstaat een overzicht van de totale te behalen baten voor een klimaatscenario, zie Figuur 64. De resultaten voor Groningen laten nog steeds een investeringsgat zien bij de variant met de hoogste kosten. Bij de overige systemen wordt het investeringsgat kleiner door hogere opbrengsten of wordt het gat zelfs gedicht.



Figuur 63. Het investeringsgat voor de agrarier (boven) en de verschillende componenten die bijdragen aan de opbrengst (onder).



Figuur 64. Kosten en baten Spaarwater 100 hectare ondergrondse opslag in klimaatscenario, pootaardappelen in rotatie, Groningen

Om de baten van de overige opties 'zekerheid van water' en het 'verminderen van gewasziektes' door te rekenen zijn nog niet voldoende getallen beschikbaar. Zodra deze beschikbaar komen uit ander onderzoek biedt de huidige methode voldoende mogelijkheden om de resultaten te verwerken.

7.4 Kosten baten anti-verziltingsdrainage op bedrijfsniveau

7.4.1 Kosten antiverziltingsdrainage

De kosten voor antiverziltingsdrainage bedragen €2.500,- per hectare en €255,- per hectare per jaar voor een levensduur van 15 jaar. Er wordt uitgegaan van een drainageafstand van 10m. Traditionele drainage kost ca. €1000,- per hectare en €100,- per hectare per jaar. Dit betekent dat de agrariër een extra investering heeft van €155,- per hectare per jaar. In deze analyse wordt specifiek naar de extra investering gekeken omdat drainage een investering is die agrariërs sowieso doen.

7.4.2 Methode ontwikkeling vermeden zoutschade

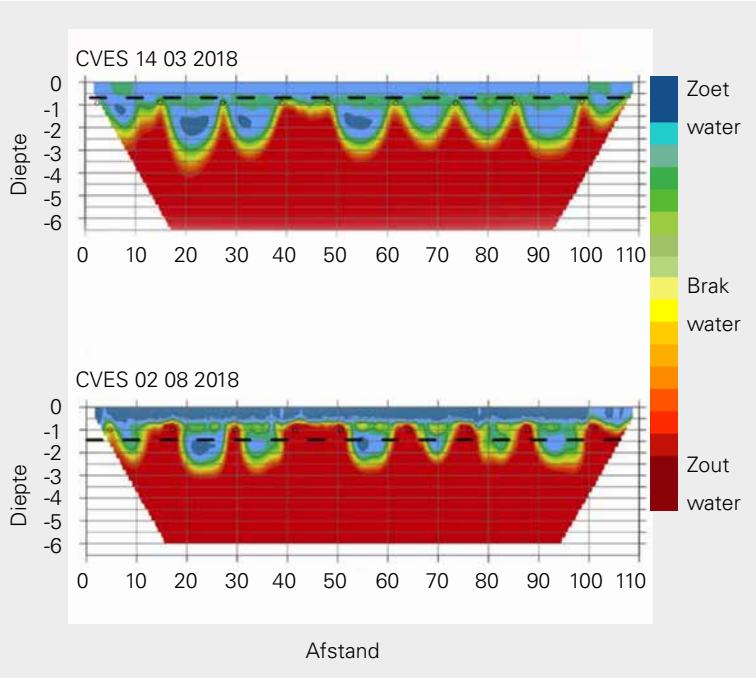
De Spaarwatermaatregel anti-verziltingsdrainage beoogt verzilting te

Figuur 65. Verzilting op een perceel in Texel, waarbij de structuren van drainage en voormalige geulen zichtbaar zijn.

bestrijden en zo gewasschade door optrekkend zout te vermijden. Het ontbreekt aan een robuuste en direct toepasbare methode om zoutschade in de wortelzone te berekenen op perceelniveau. De bestaande literatuur over dit onderwerp is vaak gebaseerd op zoutgehalten in het irrigatiewater van bovenaf in plaats van zout grondwater in de wortelzone. Om een realistisch beeld te genereren van de zoutschade per gewas is een eigen ontwikkelde benadering toegepast om dit voor de wortelzone te bepalen. Voor de berekening zijn de belangrijkste gewassen in Noord-Nederland genomen: gras, tarwe, pootaardappel, suikerbiet, peen en ui. Voor de bolgewassen zijn de tulp, hyacint en narcis geanalyseerd.

7.4.3 Zoet en zout in het perceel

Cijfers over hoeveel zoutschade daadwerkelijk op een perceel voorkomt zijn er niet. Dit heeft te maken dat zoutschade qua effect veel lijkt op droogteschade. Zoutschade treedt veelal op wanneer er ook sprak kan zijn van droogteschade. Tijdens de pilots is wel veel inzicht ontstaan over de werking van zoet en zout grondwater in het perceel. Zowel uit de metingen als de modellen blijkt dat zout grondwater een preferente stroomrichting naar de drainagebuizen heeft, zie Figuur 65. In 2018 was dit effect duidelijk te zien op de CVES-metingen op het perceel in Herbaijum, zie Figuur 66.

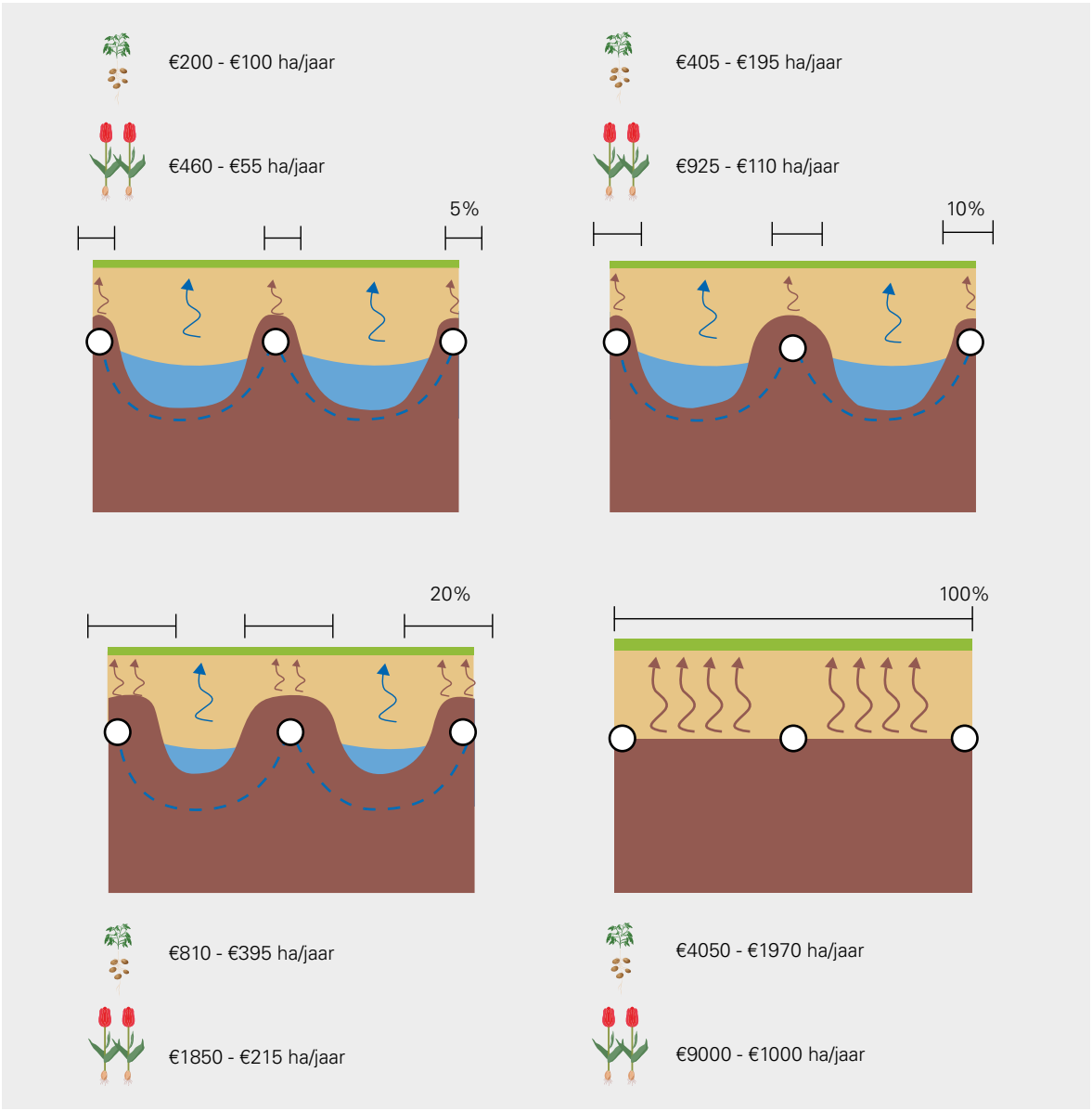


Figuur 66. CVES-Weergave van invloed van drainage op de verzilting in het voorjaar en zomer van 2018 op pilotlocatie Herbaijum. Zichtbaar is dat rondom de drainage het zoute grondwater (rood) omhoog komt en deze zone toeneemt in de zomer, wanneer het droger is.

De combinatie van verzilting rond de drains en de bodemgesteldheid van een perceel, maken de locatie boven drains in het maaiveld het meest gevoelig voor zoutschade. Omdat het effect van drainage op zoutschade in de wortelzone nog verder onderzocht moet worden, wordt bij de bepaling van de zoutschade in deze methodiek gerekend met verziltingsschade over verschillende oppervlaktes (zie Figuur 66). De oppervlaktes zijn in percentages uitgedrukt.

7.4.4 Resultaten kosten en baten antiverziltingsdrainage op bedrijfsniveau

Net zoals bij vermeden droogteschade zijn de vermeden schades uitgewerkt voor pootaardappelen in rotatie en de bolgewassen. De maximale verziltingsschade vanuit de wortelzone voor pootaardappelen ligt rond de €10.000,- per hectare voor een droog jaar en €2.500,- voor een gemiddeld jaar. Deze maximale schade is vervolgens verrekend voor verschillende percentages die de oppervlakte



Figuur 67. Weergave van de oppervlaktes (5, 10, 20 en 100%) waarover verzilting optreedt met de daarover berekende vermeden zoutschades (in ha/jaar) van pootaardappelen en bollen in rotatieteelt.

representeren van de aangetaste gewassen op het veld. In Figuur 67 worden de resultaten voor dezelfde droogtesituatie gepresenteerd maar dan inclusief de rotatiegewassen suikerbiet, granen, penen en ui. Figuur 67 laat dezelfde resultaten zien voor de bolgewassen in rotatie. Afgezien van de onzekerheid over het oppervlak zoutschade wordt uit de analyse duidelijk dat de extra investering van €155,- per hectare per jaar in veel gevallen gehaald wordt. Verder onderzoek is gewenst om gedetailleerder antwoord te kunnen geven op vragen over optredende zoutschades in combinatie met neerslagreeksen uit het verleden en in de toekomst.

7.4.5 Bewustwording verziltingsrisico

Een belangrijk element dat de investeringsbeslissing voor antiverziltingsdrainage van agrariërs beïnvloedt is het bewustzijn, de bekendheid en de kennis over verzilting. Het bewustzijn over de risico's van verzilting is de afgelopen sterk gegroeid in de Waddenregio. Om daadwerkelijk te investeren in mitigerende maatregelen is nog een slag nodig. Het project 'Boeren Meten Water' waarbij de agrariërs de verzilting in sloten en het perceel meten, is een belangrijke stap naar uiteindelijke opschaling.

7.5 Kosten en baten zuinig met zoetwater op bedrijfsniveau

Op de proefvelden in Borgsweer en Breezand is de combinatie tussen ondergrondse opslag en druppelirrigatie getest. De resulta-

ten zijn positief en het is mogelijk om met druppelirrigatie zuiniger om te gaan met het beschikbare zoete water.

7.5.1 Kosten zuinig met zoetwater

De kosten voor druppelirrigatie verschillen. Het aantal slangen, maar ook of bovengronds dan wel ondergronds wordt gedruppeld is van invloed de te gebruiken slang en daarmee op de kosten. In de analyse is uitgegaan van de variant ondergronds druppelen. Voor oppervlakkig druppelen zijn de kosten vergelijkbaar doordat er elk jaar nieuwe slangen wordeng gebruikt en er arbeidskosten voor jaarlijks aanleg- en eruithalen bij komen. De huidige investeringskosten voor ondergrondse druppelirrigatie zijn €86.000,- voor 10 hectare binnen een looptijd van 10 jaar. De jaarlijkse onderhouds- en elektriciteitskosten zijn €1.200,-. Dit komt neer op €790,- hectare per jaar.

7.5.2 Baten zuinig met zoetwater

De opbrengsten van druppelirrigatie komen binnen de Spaarwater pilot in eerste instantie tot uiting in efficiënt watergebruik. Omdat de druppelirrigatie enkel is getest met water afkomstig uit de eigen watervoorziening blijft deze combinatie (druppelirrigatie en ondergrondse opslag) gehandhaafd in de economische analyse. In eerste instantie worden de baten van druppelirrigatie dan ook vertaald naar het gebruik van de eigen watervoorziening. Efficiënter gebruik van het water maakt het voor de agrariër mogelijk om meer gewas te irrigeren met dezelfde waterbuffer. Hij kan dus een grotere hoeveelheid droogteschade vermijden en meer opbrengst genereren afgezet tegen dezelfde investering. De tweede mogelijkheid is dat de agrariër hetzelfde oppervlak blijft irrigeren

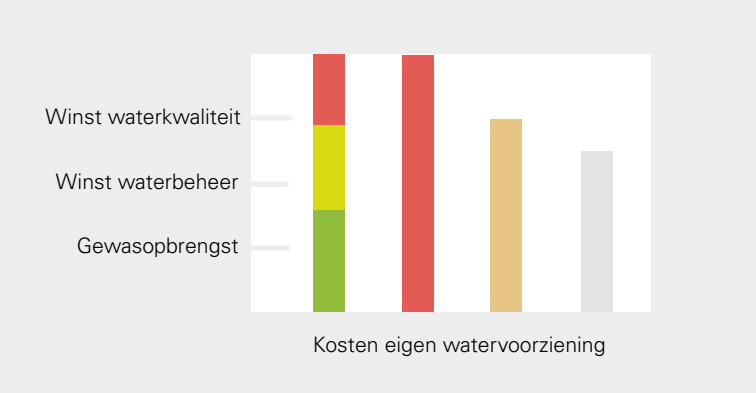
maar investeert in een kleiner systeem. Ook hierdoor komt hij onder de streep voordeliger uit. Om deze extra opbrengsten te genereren is op dit moment echter nog een extra investering nodig van €790,- per hectare per jaar die op dit moment nog onvoldoende opweegt tegen de baten.

7.5.3 Extra baten druppelirrigatie

Net als bij eigen watervoorziening zijn er bij het gebruik van druppelirrigatie ontwikkelingen waardoor de opbrengsten in de toekomst zullen toenemen. Op de eerste plaats is ondergrondse druppelirrigatie in de akkerbouw een nieuw en innovatief concept. Dit product is pas aan het begin van de ontwikkelingsfase, de verwachting is dat de kosten in de toekomst zullen dalen door lagere materiaalkosten, efficientere plaatsingstechnieken en opkomende concurrentie. Daarnaast zijn er extra batenposten zoals verminderd kunstmestgebruik, beperken van ziektes, verminderde bladverbranding en verbeterde groeiomstandigheden die de baten van druppelirrigatie zullen beïnvloeden. Doorlopend onderzoek zal deze baten inzichtelijk moeten maken.

7.6 Kosten en baten voor de waterbeheerder

Spaarwateroplossingen maken agrariërs minder afhankelijk van het oppervlaktewater voor irrigatie. Een verandering in de watervraag waar het waterschap in zijn doorspoelbeleid op kan inspelen. Minder doorspoelen is één van de indirecte effecten van het investeren in Spaarwater maatregelen en is een baten post van de waterbeheerder in de MKBA. Om te bepalen hoe groot de baat is, is informatie over ‘de waarde van inlaatwater’ nodig. Omdat irrigatiewater niet op de markt wordt verhandeld is er geen monetaire waarde van inlaatwater. De waarde van het water kan wor-



Figuur 68. Opbouw opbrengsten die eigen watervoorziening kan opleveren.

Parameter	Inlaat (m^3 x 1000)	Inlaat tbv door-spoelen (m^3 x 1000)	Te besparen hoeveel-heid doorspoelwater (m^3 x 1000)	Waarde van het doorspoel water	Waarde van het water per hectare
Referentie	6.344	6.100			
90% inlaat	5.734	5.490	610	€ 213.500	€ 190
50% inlaat	3.294	3.050	3.050	€1.067.500	€ 935
25% inlaat	1.740	1.525	4.575	€ 1.601.250	€ 1.400
0% inlaat	363	0	6.100	€ 2.135.000	€ 1.890

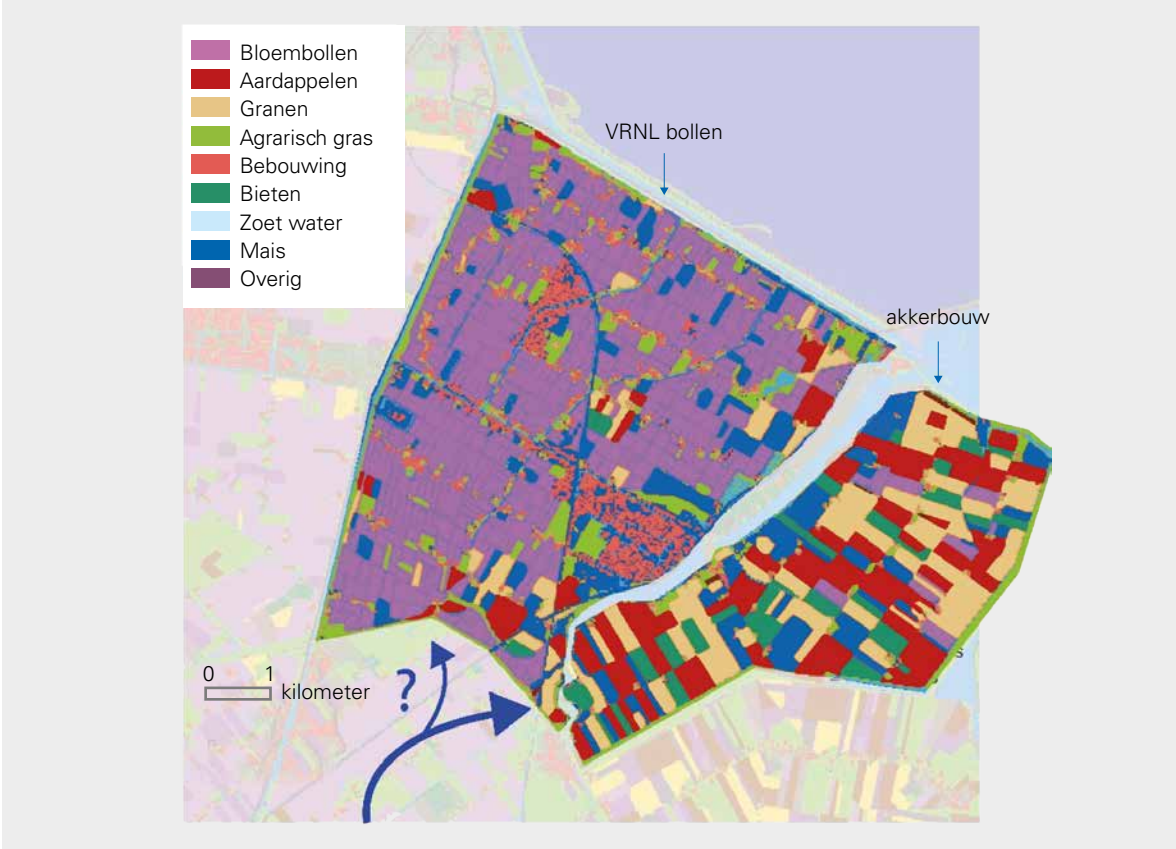
Tabel 4. Waarde van inlaatwater in de Oostpolder gebaseerd op uitkomsten van een waterbalansmodel.

den geschat door schaduwprijzen en hydrologische modelering met elkaar te combineren. Dit is een nieuwe benadering die binnen Spaarwater is ontwikkeld.

7.6.1 Schaduwprijzen

"Schaduwprijzen zijn kunstmatige prijzen voor goederen of productie-factoren die niet op markten worden verhandeld. Het milieu is daar een voorbeeld van" (CE Delft , 2010). Met een schaduwprijs wordt de niet in een markt waar te nemen waarde van een product benaderd. Het doorspoelwater in de Nederlandse polders is in de vorm van irrigatie-water een productiefactor voor veel agrariërs. Voor irrigatiewater bestaat geen directe markt, waardoor de waarde niet kan worden waargenomen en berekend moet worden om te kunnen gebruiken in de maatschappelijke kosten-batenanalyse.

Door ons in te beelden dat deze markt er wel zou zijn, rijzen enkele vragen: hoeveel water wil een landbouwer kopen? Waar wil hij het water voor gebruiken? Hoeveel water is er beschikbaar? Wat zijn de opbrengsten als het water op een andere locatie een bepaalde mate van schade kan voorkomen? Het beantwoorden van deze vragen leidt tot een waarde van water voor de gebruikers (schaduwprijs). Op basis van de schadekostenbenadering van het water is een eerste aanzet gedaan om inlaatwater een waarde te geven. Om inlaatwater als volwaardige effectenpost in de MKBA



Figuur 69. Waterverdeling en alternatieve aanwendbaarheid Anna Paulownapolder en Oostpolder

op te kunnen nemen is doorontwikkeling van de methode nodig.

7.6.2 Baten van inlaatreductie

Het inlaatwater in de polders is bedoeld om het oppervlaktewater zoet te houden voor gebruik als irrigatiewater. Daarnaast is er een hoeveelheid inlaatwater dat wordt gebruikt voor peilhandhaving. Water voor peilhandhaving wordt in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten; het onderzoek richt zich enkel op inlaatwater voor irrigatie. Om de schaduwprijs van inlaatwater te bepalen is de waarde van het water berekend wanneer het wordt gebruikt als irrigatiewater voor gewassen. Het doorspoelwater dat extern wordt aangevoerd wordt gebruikt om droogteschade te voorkomen. De opbrengst voor vermeden droogteschade wordt gekoppeld aan de hoeveelheid m^3. Vervolgens wordt aangenomen dat het water dat wordt bespaard in polder A wordt gebruikt om droogteschade te vermijden van pootaardappelen in polder B. De gekozen vermeden droogteschade om de eerste berekening mee uit te voeren is €350,-/ha/jaar voor pootaardappelen. Een gemiddelde hoeveelheid water die gebruikt wordt om deze schade te voorkomen is 100 mm/ha. De opbrengst per kuub voor een hectare is in dit geval €0,35,-/m^3: in het geval van een droogtejaar '€350,-/ha' de schaduwprijs van water voor een pootaardappelteler. Om de methode verder toe te lichten wordt doorgerekend met €0,35,-/m^3.

Vervolgens is een water- en stoffenbalans model gemaakt per polder (hoofdstuk 6) om te bepalen hoeveel water er bespaard wordt door minder door te spoelen. In Tabel 4 worden de resultaten van de Oostpolder weergegeven. In de referentiesituatie wordt 6.344.000 m^3 ingelaten, hiervan is 6.100.000 m^3 bedoeld voor doorspoelen, het overige water is ten behoeve van peilhandhaving. Vervolgens zijn een aantal scenario's met doorspoelreductie doorgerekend.

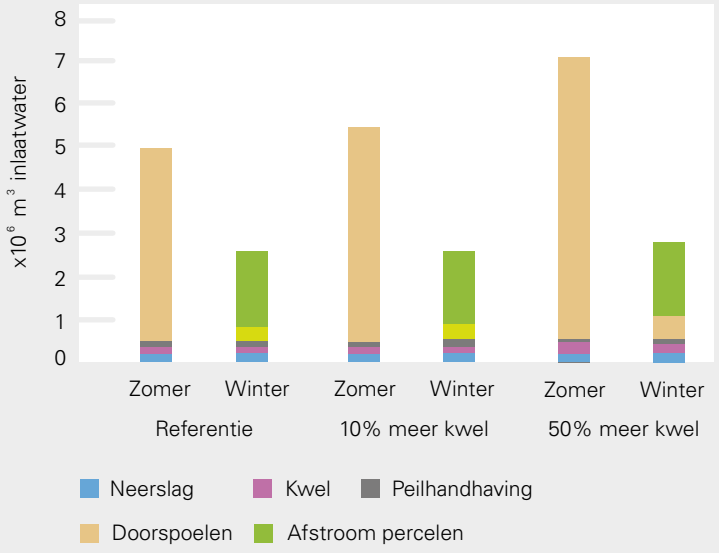
Het aantal kuub dat kan worden bespaard, en alternatief aangewend in een andere polder, wordt verrekend met de schaduwprijs naar een kuubsprijs tot een totale waarde van het doorspoelwater en uitgemiddeld voor een aantal hectare van de betreffende polder. Eén van de conclusies is dat de waarde hoger uitkomt dan de te voorkomen droogteschade per perceel. Dit kan erop duiden dat er meer water wordt doorgespoeld dan strikt noodzakelijk is voor het voorkomen van de schade. In het hierboven beschreven voorbeeld is het uitgangspunt dat het water volledig ten behoeve komt aan het voorkomen van droogteschade in de pootgoedteelt.

Verfijning van de methode is nodig om verschillende gewassen mee te kunnen nemen, een validatie met de daadwerkelijk gebruikte hoeveelheid irrigatiewater uit te voeren en verschillende droogtejaren mee te nemen. De schaduwprijs per hecta-

Invloed van kwel op de waarde van inlaatwater

Een extra toepassingsmogelijkheid van de schaduwprijzen is het berekenen van de invloed van kwelverandering op de waarde van inlaatwater. Kwel kan als gevolg van bodemdaling of zeespiegelstijging toenemen. Hierdoor neemt de zoute flux richting kavelsloten en hoofdwateren toe, met een hoger zoutgehalte in het oppervlaktewater tot gevolg. Figuur 70 laat het effect zien van een 10% en 50% kweltoename in de Oostpolder op de benodigde doorspoelhoeveelheid om een goede waterkwaliteit (EC = 2 dS/cm) in de sloten te behouden. Bij een kweltoename van 50% is in de zomerperiode meer dan 50% extra doorspoelwater nodig.

Door de schaduwprijs methode te gebruiken zien we dat de hoeveelheid van ~3.000.000 m^3 extra inlaatwater een waarde vertegenwoordigd van € 1 miljoen per zomerseizoen voor de gehele Oostpolder en ~€890,- per hectare.



Figuur 70 Het effect van kweltoename op het de doorspoelbehoefte in de Oostpolder bij het waarborgen van een waterkwaliteit van EC = 2 dS/cm (460 mg/L).

re per droogtejaar wordt gekoppeld aan de waarde van de verschillende gewassen en uiteindelijk meegeteld als batenpost in de kosten- en batenanalyse voor de waterbeheerder.

7.6.3 Toepassen schaduwprijsmethode

De schaduwprijsmethode kan worden ingezet om te komen tot het daadwerkelijk waarderen van inlaatwater in de Nederlandse polders. Het belang van de methode wordt geïllustreerd door het keuze dilemma van veel waterbeheerders hoe zij in droge perioden het water verdelen over de polders. Gebruik van schaduwprijzen is een goede methode om dit proces te ondersteunen. Omdat iedere polder uniek is in termen van doorspoelregime en teeltplannen is er een grote variatie van resultaten. De uit dit onderzoek voortkomende aanbeveling is om deze methode verder uit te werken binnen een grotere casestudie. Dit biedt de mogelijkheid een volgende stap te zetten: verfijning van de resultaten door te bepalen hoe hoog het daadwerkelijke alternatieve watergebruik per polder is en voor welke gewassen dit water wordt gebruikt, zoals gevisualiseerd voor de Anna Paulownapolder en de Oostpolder in Figuur 69.

Conclusies Economie en Beleid

- De binnen Spaarwater ontwikkelde nieuwe methodiek van zoutschade- en droogteschadebepaling maakt het mogelijk om de Spaarwaterbaten bij verzilting respectievelijk bij een specifiek neerslagtekort te bepalen.

Eigen Watervoorziening:

- Het vermijden van droogteschade door de eigen watervoorziening in de pootgoedteelt levert in het huidig klimaat een aanzienlijke deel van benodigde baten om de kosten te dekken. Het investeringsgat om de eigen watervoorziening te realiseren kan in de nabije toekomst worden overbrugd doordat de droogteschade bij klimaatverandering toeneemt, zekerheid van water groter is, ziektes beperkt worden en een duurzaam imago versterkt wordt.
- In de bollenteelt dekt de vermeden droogteschade de volledige kosten nu en in de toekomst.
- De kosten voor eigen watervoorziening hangen af van bodemopbouw, al dan niet aanwezige drainage, schaalvoordelen, marktwerking en innovatie. Voor een '100-hectare-systeem' liggen de kosten nu tussen de €800.000,- en de €500.000,-. De verwachting is dat, door o.a. het doorontwikkelen van de techniek, reductie van de kosten tot een maximum van €350.000,- haalbaar is.
- De mogelijkheid om in water te voorzien door het waterschap is sterk bepalend of er tot een investeringsbeslissing voor 'eigen watervoorziening' wordt overgegaan. Als de waterbeheerder in voldoende zoetwater kan blijven voorzien voor irrigatie zal de agrariër beduidend minder prikkels hebben tot investeren.

Anti-verziltingsdrainage:

- De baten voor antiverziltingsdrainage, de vermeden zoutschade, dekken de kosten (€255 /ha/jaar), nu en in de toekomst. De belangrijke volgende stap is het bewustzijn over verzilting en over de toepassing van anti-verziltingsdrainage te vergroten.

Druppelirrigatie:

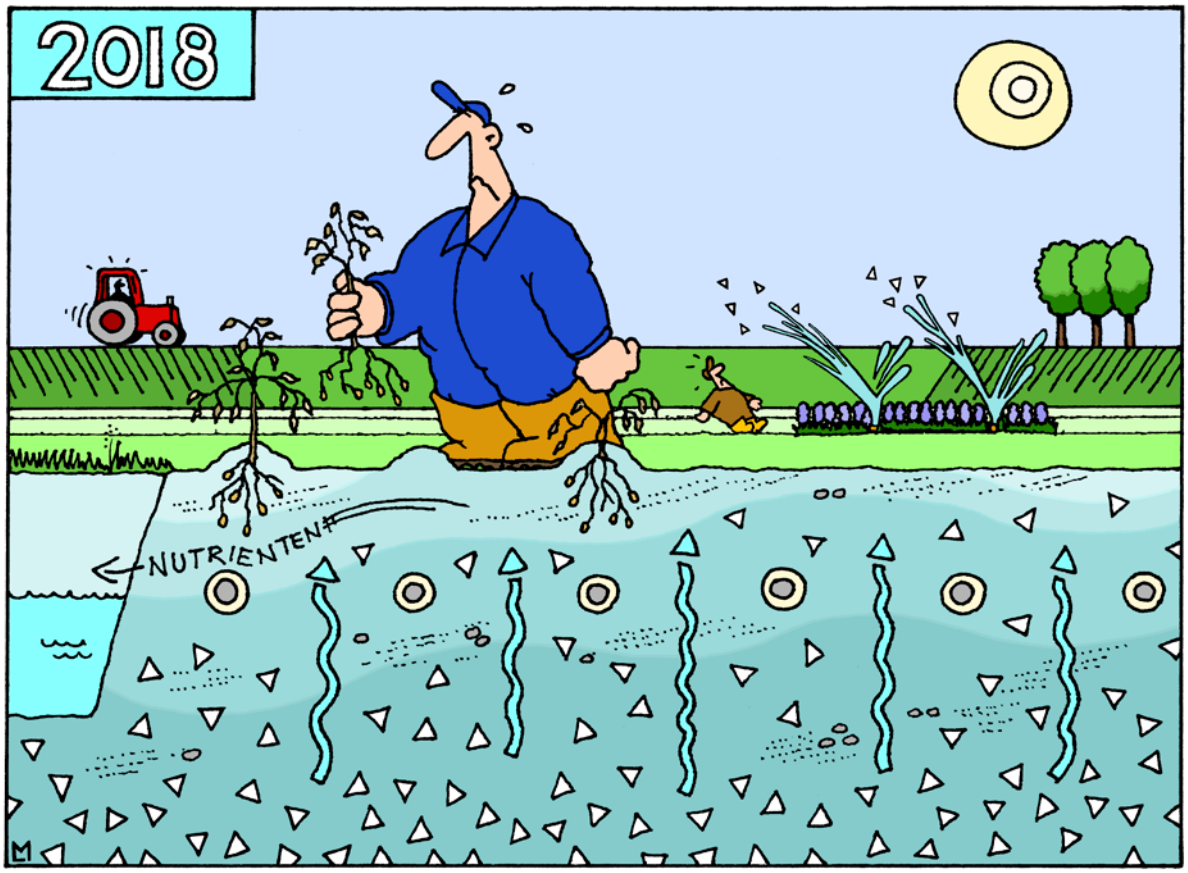
- Op dit moment wegen de baten onvoldoende op tegen de extra kosten. De verwachting is dat de kosten in de toekomst dalen door lagere materiaalkosten, efficiëntere plaatsingstechnieken en opkomende concurrentie. Aanbeveling is daarom deze techniek verder te ontwikkelen.

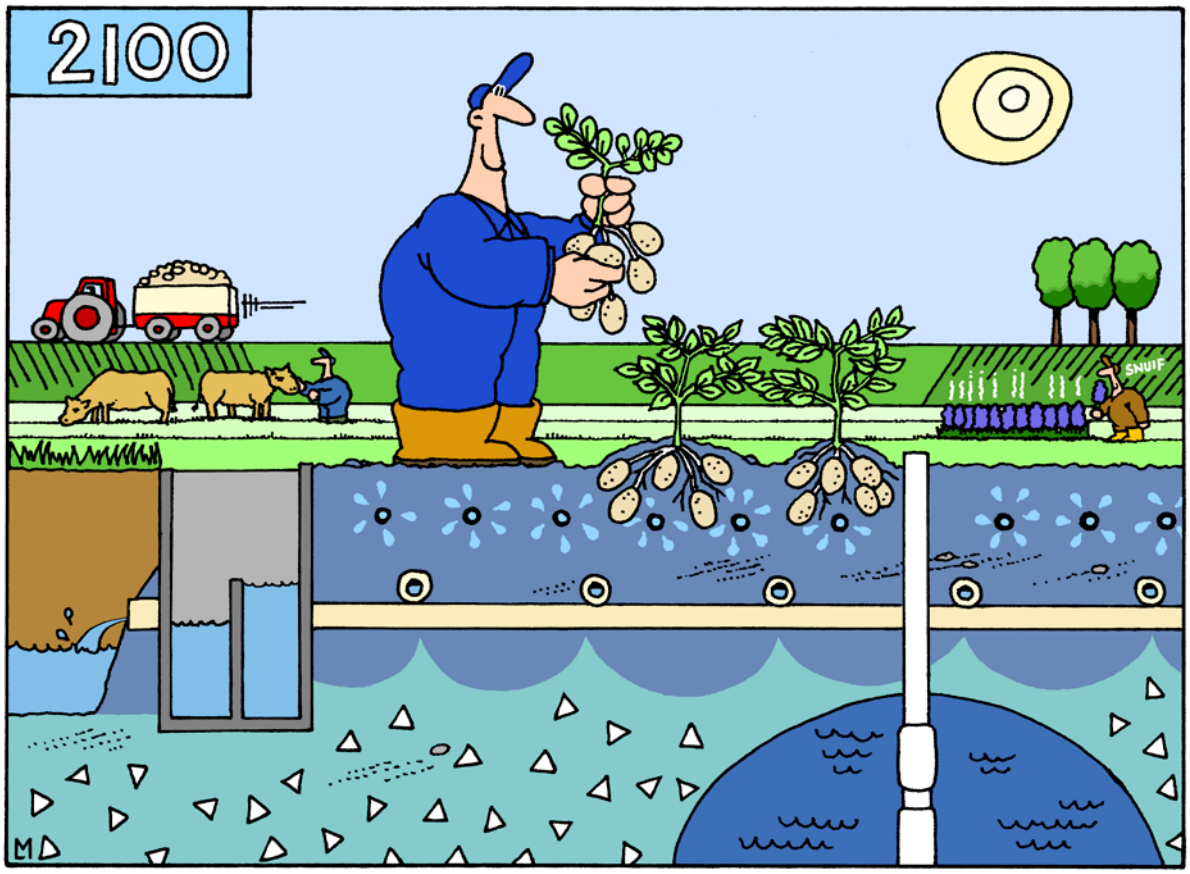
Kosten baten voor de waterbeheerder:

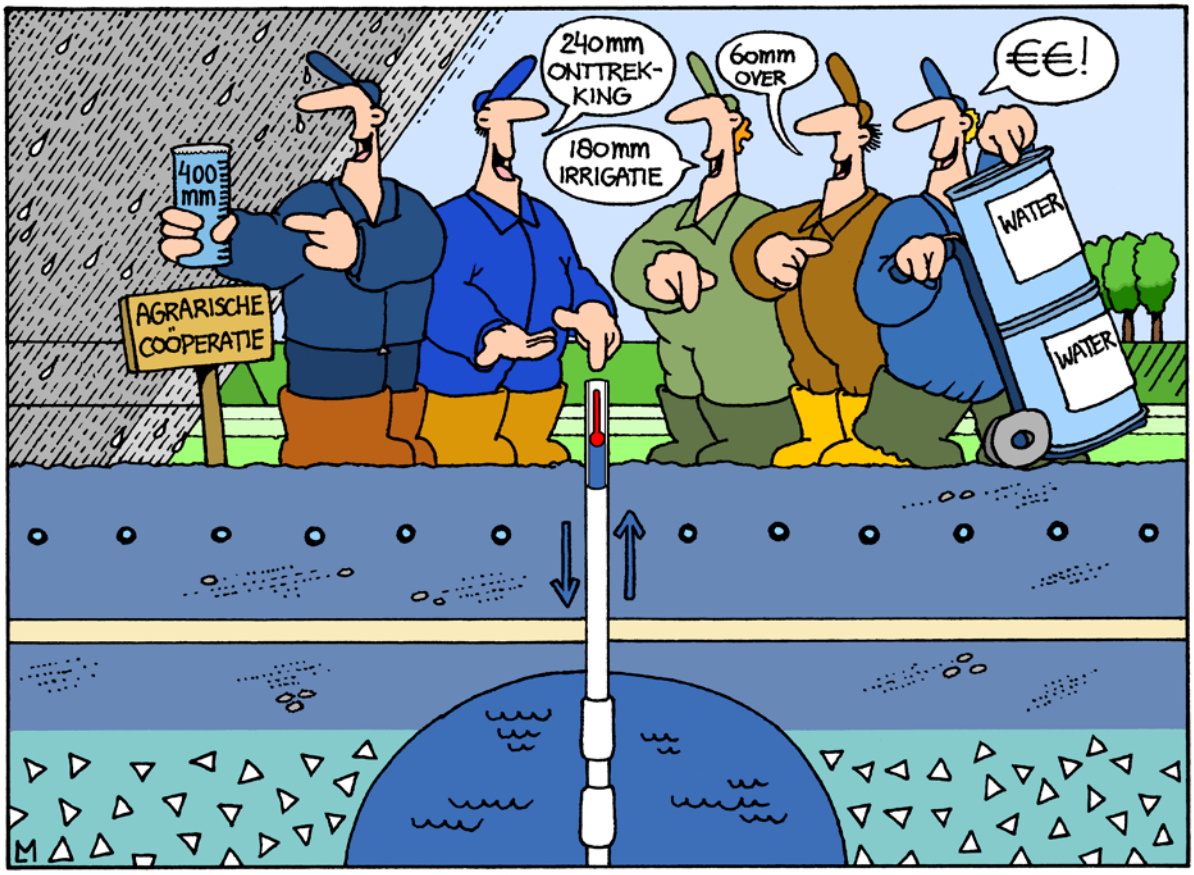
- De waterbeheerder ondervindt positieve externe effecten als de agrariërs in Spaarwatermaatregelen investeren. De waarde van inlaatwater kan bepaald worden door dit water als irrigatiewater te beschouwen en de droogteschade als schaduwprijs te gebruiken. Deze waardering biedt inzicht in wat het water eigenlijk waard is en kan gebruikt worden om keuzes te maken in het zoetwatervraagstuk. Het verdient de aanbeveling om in vervolgonderzoek de kosten van het waterbeheer en de winst voor de waterkwaliteit voor de KRW te onderzoeken en mee te nemen in de waardering.
- Implementatie van Spaarwatermaatregelen op korte termijn kan gestimuleerd worden door financiële prikkels (zoals subsidies, financiering banken) en/of door kosten omlaag te brengen door bijvoorbeeld doorontwikkeling van de techniek.

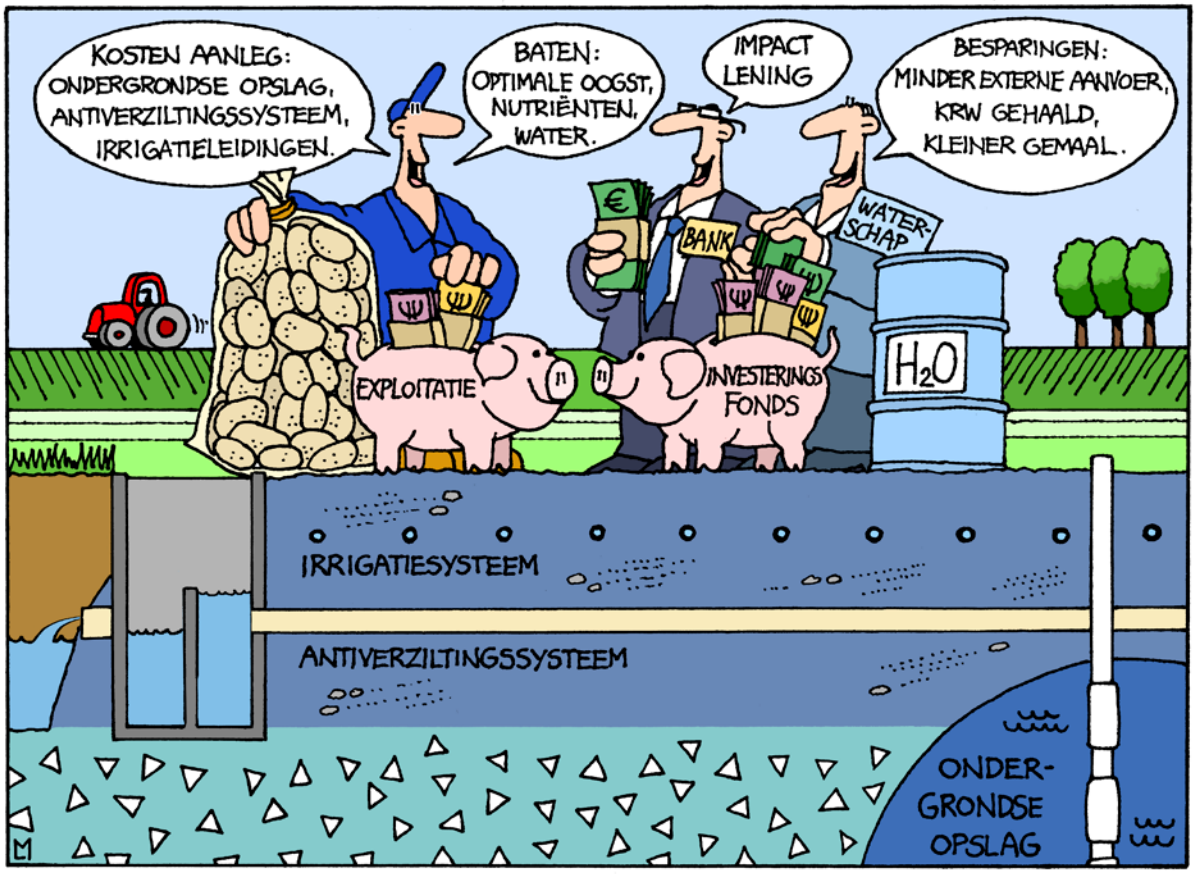
8

DE POLDER VAN 2100


2018
NUTRIENTEN


2100
SNUIF


240mm ONTTREK-KING
60mm OVER
€€!
180mm IRRIGATIE
400 mm
AGRARISCHE COÖPERATIE
WATER
WATER


KOSTEN AANLEG: ONDERGRONDSE OPSLAG, ANTIVERZILTINGSSYSTEEM, IRRIGATIELEIDINGEN.
BATEN: OPTIMALE OOGST, NUTRIËNTEN, WATER.
IMPACT LENING
BESPARINGEN: MINDER EXTERNE AANVOER, KRW GEHAALD, KLEINER GEMAAL.
BANK
WATER-SCHAP
EXPLOITATIE
INVESTERINGS FONDS
H2O
IRRIGATIESYSTEEM
ANTIVERZILTINGSSYSTEEM
ONDER-GRONDSE OPSLAG

REFERENTIES

Acacia Water, Alterra, Aequator en IVM (2011). Klimaatverandering, toenemende verzilting en landbouw in Noord-Nederland. Hoofdrapport en drie deelrapporten. Uitgevoerd binnen het programma "Klimaat voor Ruimte".

Acacia Water (2013). Verziltingsstudie Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Uitgevoerd binnen het programma "Leven met Zout Water".

Acacia Water (2018). Technische deelrapporten van het Spaarwater Project, te weten: Anti-verziltings-Drainage, Eigen Watervoorziening, Zuinig met Zoetwater, Spaarwater Economische Haalbaarheid. Acacia Water, Gouda.

Agrarisch West Friesland (AWF). (2018). Kop van Noord-Holland heeft grootste aaneengesloten bollengebied van de wereld. AWF [online]. Geraadpleegd van: https://www.agwf.nl/bollen/kop-van-noord-holland-heeft-grootste-aaneengesloten-bollengebied-van-de-wereld op 20 september 2018.

Bakker, M. (2010). Radial Dupuit interface flow to assess the aquifer storage and recovery potential of saltwater aquifers. Hydrogeology journal, 18(1), 107-115.

Brouwer, G. (2015). Druppelirrigatie in de aardappelteelt op zandgronden. Afstudeerwerk CAH Vilentum.

Centraal Bureau voor de Statistiek. (2018, 28 maart). Akkerbouwgewassen; productie naar regio [Dataset]. Geraadpleegd van http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=7100OOGS&D1=a&D2=17&D3=0-1,5-6,12&D4=6,11,16,21-22&HDR=G2,G3,T&STB=G1&VW=T op 9 mei 2018.

Haasnoot, M., Bouwer, L., Diermanse, F., Kwadijk, J., van der Spek, A., Oude Essink, G., Delsman, J.,Weiler, O., Mens, M., ter Maat, J., Huismans, Y., Sloff, K., Mosselman, E. (2018). Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma. Een verkenning. Deltares, in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur & Water - staf Deltacommissaris en Rijkswaterstaat - Water Verkeer en Leefomgeving, Delft.

van den Hurk, B., Siegmund, P., & Tank, A. K. (Eds.). (2014). KNMI'14: Climate Change Scenarios for the 21st Century – a Netherlands Perspective. KNMI.

Groen, M en H. Savenije (2003). Interceptie als functie van de maandelijkse regenval, Stromingen (2003), nummer 2: blz 45 – 48.

IPCC (Allen, M., Dube, O.P., Solecki, W. eds.) (2018). Global Warming of 1.5 degrees Celsius. First Joint Session of Working Groups during 48th session of the IPCC, Incheon, Republic of Korea.

Massop, H. Th. L., P.J.T.van Bakel, T. Kroon, J.G.Kroes, A.Tiktak & W.Werkman, 2005. Op zoek naar de 'ware' neerslag en verdamping.

van Meijeren, S.J. (2017). Ondergrondse druppelirrigatie in een verziltende omgeving in Noord-Nederland. MSc Stageverslag. Acacia Water & Wageningen Universiteit.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Ministerie van Economische Zaken (2014). Deltaprogramma IJsselmeergebied: Een veilig en veerkrachtig IJsselmeergebied. Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Den Haag.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit & Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (2010). Werk aan de delta: investeren in een veilig en aantrekkelijk Nederland, nu en morgen: Deltaprogramma 2011. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag.

Oord, A.L., Kolkman, R., Kuijper, R. (2016). "Proef met zelfvoorzienende zoetwaterberging op Texel". H2O [online; 23 juni 2016]. Geraadpleegd van: https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/532-proef-met-zelfvoorzienende-zoetwaterberging-op-texel op 18 september 2018.

RIZA, 2005. Droogtestudie Nederland. Aard, ernst en omvang van watertekorten in Nederland. Eindrapport RIZA-2005.016 - 104p.

Schoot, J.R., K.H.Wijnholds en J.J. de Haan (2012). Beregening en bemesting zetmeelaardappelen. Meerjarenanalyse veldproeven op PPO-locatie 't Kompas 007-2011 binnen het Project WaterSense. Wageningen: Wageningen UR Praktijkonderzoek Plant en Omgeving PPO 479.

Schreijer, M., Komen, S.J., Poort, M., Vingerhoed, E., Ney, N. (2012). Een Deltavisie voor Hollands Noorderkwartier – Noord-Holland voorbereid op klimaatverandering. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Heerhugowaard.

Sluiter, R. en Homan, C. (2017). Winter 2014-2015 en 2016-2017 (december, januari, februari). KNMI [online; 2 maart 2017]. Geraadpleegd van: https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maand-en-seizoensoverzichten/2017/winter op 7 november 2018.

Tolk, L. en Velstra, J. 2016. Spaarwater, pilots rendabel en duurzaam agrarisch watergebruik in een verziltende omgeving van de waddenregio. Hoofdrapport, Acacia Institute.

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

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

39 44 96 Waddinxveen
www.groeireberegening.nl

www.spaarwater.com

BETROKKEN PARTIJEN

Financiers: Waddenfonds, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Wetterskip Fryslân, Waterschap Noorderzijlvest, Waterschap Hunze en Aa's, Provincie Noord-Holland, Provincie Fryslân, Provincie Groningen, STOWA, LTO Noord fondsen, Achmea Agro, Rabobank.

Uitvoerende partijen: Penvoerder Acacia Institute i.s.m. Acacia Water, Delphy, Wageningen Universiteit (Wageningen Economic Research), Vrije Universiteit Amsterdam, Technische Universiteit Delft, SEO Economisch Onderzoek, Broere Beregening, Combi Drain, YARA, Netafim, Han de Kreuk, CaTeC, METER Group, Vermaire Breezand.

Betrokken landbouwbedrijven: Langeveld VOF - locatie Breezand, Teeuwen en Zonen B.V. - Locatie Breezand, Maatschap Noordam ten Have - locatie Borgsweer, Maatschap J.W. Oosterhuis - locatie Hornhuizen, Maatschap A. Hofstra - locatie Herbaijum.

Overige betrokken partijen: LTO Noord, KAVB (Koninklijke Algemene Vereniging voor Bloembollencultuur), Nederlandse Voedsel en Warenautoriteit (NVWA) en Pootgoedacademie.

Speciale dank gaat uit naar de volgende mensen die zo goed hebben meegeholpen: Annemarie en Erica Noordam, Ruud van Grieken, Yke Rodenhuis en Gerbrig Huizenga, Martin van der Maar

JAN
2019

SPAARWATER