

MEER WATER MET REGELBARE DRAINAGE?



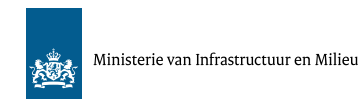
stowa

WERKING, PRAKTIJKERVARINGEN,
KANSEN EN RISICO'S

MEER WATER MET REGELBARE DRAINAGE?



stowa



STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) is het kenniscentrum van regionale waterbeheerders in Nederland. STOWA ontwikkelt, verzamelt en implementeert kennis die nodig is om de opgaven waar de waterbeheerders voor staan, goed uit te voeren. Denk aan goede afvalwaterzuivering, klimaatadaptatie, het halen van waterkwaliteitsdoelstellingen en veilige regionale waterkeringen. De kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch en sociaalwetenschappelijk gebied.

Voor het bepalen van de kennisdoelen stelt STOWA samen met de waterbeheerders periodiek een strategienota op. Hierin worden voor een periode van vijf jaar de hoofdlijnen van kennisontwikkeling vastgesteld. Deze worden uitgewerkt in een aantal kennisprogramma's. Het voor deze programma's benodigde onderzoek laat STOWA uitvoeren door gespecialiseerde instituten en bureaus. Jaarlijks wordt de strategienota op relevantie getoetst en zonodig herzien.

Programma- en begeleidingscommissies - bemenst met vertegenwoordigers uit de achterban - spelen binnen STOWA een belangrijke rol. Programmacommissies als medebepalers van kennisprogramma's, begeleidingscommissies als begeleiders van uit te voeren onderzoek. Op deze manier waarborgt de stichting de kwaliteit én toepasbaarheid van de ontwikkelde en bijeengebrachte kennis.

STOWA werkt samen met ministeries en andere kennisinstellingen, maar ook binnen grote kennisprogramma's om onderzoek op elkaar af te stemmen, of gezamenlijk uit te voeren. De redenen voor samenwerking zijn grotere wetenschappelijke slagkracht, synergie en financiële voordelen.

Naast het ontwikkelen en bijeenbrengen van kennis, werkt STOWA actief aan het ontsluiten, verspreiden, delen en verankeren ervan. Dat doen we via het uitgeven van kennisrapporten, handreikingen, modelinstrumenten, stappenplannen, wegwijzers, e.d. Maar ook door publicaties in vakbladen en via onze eigen website, speciale themasites, (digitale) nieuwsbrieven, databases, folders en brochures. We organiseren bijeenkomsten over specifieke kennisonderwerpen. Verder faciliteren we deskundigenplatforms waar STOWA-deelnemers en vertegenwoordigers van

kennisinstituten, universiteiten en andere externe adviseurs kennis en ervaringen kunnen uitwisselen.

Deelnemers aan STOWA zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, provincies en Rijkswaterstaat. Gezamenlijk brengen zij het benodigde geld bijeen voor het werk van de stichting.

➔ DE MISSIE VAN STOWA

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften en kennisleemten op het gebied van het waterbeheer en het voor en met deze beheerders ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen en verankeren van de benodigde kennis.

➔ STOWA

Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

Bezoekadres

Stationsplein 89, vierde etage
3818 LE Amersfoort

t. 033 460 32 00
e. stowa@stowa.nl
i. www.stowa.nl

COLOFON

Amersfoort, oktober 2012

Uitgave Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort

Auteurs L.C.P.M. Stuyt (redactie), F.J.E. van der Bolt, W.B. Snellen, P. Groenendijk, P.N.M. Schipper en J. Harmsen (allen Alterra).

Met bijdragen van P.J.T. van Bakel (de Bakelse Stroom), de Stuurgroep Peilgestuurde Drainage en R. Ruijtenberg (STOWA).

Stuurgroep Peilgestuurde Drainage D.A. Jonkers (ministerie Infrastructuur en Milieu), J.M.P.M. Peerboom (Waterschap Peel en Maasvallei), A. de Buck (Praktijkonderzoek Plant en Omgeving), J.T.M. Huinink (ministerie Economische zaken, Landbouw en Innovatie), M. Rijken (Waterschap Brabantse Delta), A.A. van der Straat (Provincie Zeeland) en M.J.G. Talsma (STOWA).

Financiers Interactief Waterbeheer, STOWA, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Waterschap Peel en Maasvallei, Waterschap Brabantse Delta, Provincie Zeeland, Europese Unie en Rabobank.

Fotografie WUR, STOWA en Istockphoto

Vormgeving Shapeshifter, Utrecht

Druk Libertas, Bunnik

STOWA 2012-33

ISBN 978.90.5773.570.7

Op stowa.nl kunt u een exemplaar van dit rapport bestellen, of een pdf van het rapport downloaden.

Kijk onder de kop Producten | Publicaties.

Copyright De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

Disclaimer Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

Dit rapport is CO₂ neutraal geproduceerd.

INHOUD

STOWA in het kort	02
Ten geleide	06
Samenvatting	08

1 INLEIDING 12

2 WAT IS REGELBARE DRAINAGE? 16

3 WAAROM REGELBARE DRAINAGE? DE KANSEN 26

3.1	Waterkwantiteit	27
3.2	Waterkwaliteit	28
3.3	Productieomstandigheden	29
3.4	Natuur	30

4 ERVARINGEN MET REGELBARE DRAINAGE 32

4.1	Praktijkproeven	33
4.2	Het agrarisch perspectief	34
4.2.1	Het vasthouden van water	34
4.2.2	De zoetwatervoorziening	36
4.2.3	De reductie van piekafvoeren	37
4.2.4	De uitspoeling van nutriënten	40

5 RISICO'S, BEPERKINGEN EN KOSTEN VAN REGELBARE DRAINAGE 48

5.1	Risico's bij de aanleg	49
5.2	Risico's ten aanzien van het onderhoud	50
5.3	Risico's bij het operationeel beheer	51
5.4	Beperkingen	53
5.5	Kennisontwikkeling	54
5.6	Kostenaspecten bij regelbare drainage	57

6 CONCLUSIES 58

TEN GELEIDE



De aanleg van sloten, greppels en buisdrainage heeft de ontwatering van landbouwpercelen de afgelopen decennia sterk verbeterd. Hierdoor is het mogelijk geworden hoogsalderende gewassen te telen op locaties die van nature te nat zijn. De keerzijde is dat door de snelle afvoer van neerslagoverschotten beken en rivieren buiten hun oevers kunnen treden, terwijl in de zomerperiode beregening met grondwater of kunstmatig aangevoerd water noodzakelijk is om vochttekorten aan te vullen.

De huidige wijze van ontwatering heeft meer nadelen. Het kan bijdragen aan verdroging van natuurgebieden, en via drains kan met name stikstof uitspoelen naar het oppervlaktewater. Bovendien lijkt deze wijze voor de landbouw zelf niet toereikend om de effecten van klimaatverandering het hoofd te bieden. De boer is steeds meer gebaat bij het structureel vergroten van de waterbeschikbaarheid in tijden van droogte, via het langer vasthouden van water en waterconservering.

Tegen deze achtergrond wordt er volop nagedacht over, en geëxperimenteerd met alternatieve vormen van drainage die zoveel mogelijk rekening houden met de wensen en behoeften vanuit de landbouw, natuur, milieu en waterbeheer. En dat tegen de achtergrond van klimaatverandering.

Een veelbelovende nieuwe vorm in dit opzicht is (samengestelde) regelbare drainage, ook wel peilgestuurde drainage genoemd. Uit buitenlands onderzoek blijkt dat hiermee veel meer water kan worden vastgehouden dan met conventionele drainage en dat het systeem ook milieukundige voordelen heeft. Bovendien kan het een belangrijke bijdrage leveren aan het vergroten van de zoetwaterzelfvoorzienendheid in de regio, een belangrijke pijler voor klimaatbestendig waterbeheer.

In dit rapport lichten we de resultaten toe van vijf in Nederland gehouden praktijkproeven naar de werking van regelbare drainagesystemen. Wij hopen met dit rapport meer inzicht te geven in de mogelijkheden van peilgestuurde drainage.

JACQUES LEENEN

Directeur STOWA

Handwritten signature of Jacques Leenen in black ink.

ELAINE ALWAYN

Directeur Water en Bodem,
ministerie van Infrastructuur en Milieu

Handwritten signature of Elaine Alwayn in black ink.

SAMENVATTING

Regelbare drainage (RD) wordt gezien als een belangrijk instrument om zowel het waterbeheer als de landbouwkundige productieomstandigheden te verbeteren, omdat het mogelijkheden biedt te anticiperen en/of te reageren op veranderende omstandigheden. (Grond-)water kan worden vastgehouden om te gebruiken in droge perioden; bij een overschot aan water kan versneld worden ontwaterd. In situaties waarbij omgevingspeilen worden opgezet (vernatting), biedt het agrariërs flexibiliteit op perceelsniveau. RD lijkt ook een positief effect op de waterkwaliteit te hebben en kan daarmee bijdragen aan het behalen van waterkwaliteitsdoelen (KRW).

Modelstudies en sommige praktijkproeven in Europa en Noord Amerika laten zien dat regelbare drainage in beginsel hydrologische en waterkwaliteitsvoordelen biedt, zowel voor agrariërs als voor waterbeheerders. Door netto meer water vast te houden nemen de benutting en retentie van mineralen toe en neemt de belasting van het oppervlaktewater af. Er zijn situaties waarin de zoetwatervoorziening kan worden verbeterd, sommige piekafvoeren kunnen worden gereduceerd, water kan worden vastgehouden en de uitspoeling van nutriënten kan worden verminderd.

Tegelijkertijd laten diverse studies en de resultaten van de vijf in dit rapport geëvalueerde Nederlandse praktijkproeven grote variatie in resultaten zien. Deze variatie wordt veroorzaakt door de complexe werkelijkheid. Omdat waterkwaliteit de resultante is van een groot aantal factoren die elkaar beïnvloeden, is het lastig het effect van één enkele maatregel via veldonderzoek te achterhalen. Om de invloed van regelbare drainage - los van die andere factoren - op de waterkwaliteit goed te kunnen vaststellen, is een meer integrale manier van onderzoek nodig.

Regelbare drainage kan risico's met zich meebrengen. Er kan sprake zijn van ongeschikte percelen, er kunnen fouten worden gemaakt bij ontwerp en aanleg, het beheer kan niet adequaat worden uitgevoerd, of de agrariër en waterbeheerder hebben tegengestelde belangen. Het laatstgenoemde risico is meestal vermijdbaar als op de juiste wijze wordt gecommuniceerd en onderling goede afspraken worden gemaakt.

De geschiktheid van conventionele drainage (CD), regelbare drainage (RD) en samengestelde regelbare drainage (SRD) voor het realiseren van actuele beleidsdoelstellingen

gen, en (al dan niet) beoogde effecten van CD, RD en SRD op landbouw en natuur zijn ondergebracht in [Tabel 1](#). De beoordeling is gebaseerd op de resultaten van praktijkproeven in Nederland, praktijkproeven elders, modelstudies en/of expertoordeel.

Tabel 1 GESCHIKTHEID VERSCHILLENDE DRAINAGE VORMEN

De geschiktheid van conventionele (CD), regelbare (RD) en samengestelde regelbare drainage (SRD) voor het realiseren van diverse doelstellingen, en al dan niet beoogde effecten op landbouw en natuur. Referentie bij de weergave van geschiktheden is de ongedraineerde situatie.

De criteria op grond waarvan de geschiktheid van RD en SRD wordt beoordeeld zijn:

A = Praktijkproeven in Nederland

B = Praktijkproeven elders

C = Modelstudies

D = Expertoordeel

+ = positief effect 0 = neutraal - = negatief effect

Doelstelling	CD	RD				SRD					
	Gesch.	Gesch.	A	B	C	D	Gesch.	A	B	C	D
ontwateren	++	++	x	x	x	x	++	x	x	x	x
vergroten van waterbeschikbaarheid	-	+ ²	x	x	x	x	++ ² / +++ ^{1,2}	x	x	x	x
reduceren van afvoerpieken	+	++			x	x	++ / +++ ¹			x	x
water aanvoeren via infiltratie	0/+ ²	0/+ ²	x	x	x	x	0/+ ²	x	x	x	x
reductie van afspoeling N	+	++			x	x	++	x		x	x
reductie van uitspoeling N	-	+		x	x	x	++	x	x	x	x
reductie van afspoeling P	+	++			x	x	++			x	x
reductie van uitspoeling P	+	++				x	++				x
vergroten van draagkracht	+	++				x	++				x
reductie mineralisatie van veen	-	++	x			x	+				x
effect op landbouw (gewasproductie)	+	+		x		x	++		x		x
effect op natuur	--	-				x	-/0 ³ + ³				x

¹ Bij toepassing van Klimaat Adaptieve Drainage (KAD) (expertoordeel)

² Afhankelijk van lokale omstandigheden, waaronder bodemtype

³ Bij strikte beheersafspraken tussen waterbeheerder en agrariër

LEESWIJZER

In het eerste hoofdstuk beschrijven we kort de achtergronden van het onderzoek naar regelbare drainage. Daarna bespreken we meer in detail wat regelbare drainage is en welke configuraties mogelijk zijn ([hoofdstuk 2](#)). Vervolgens zetten we de argumenten op een rij die worden gebruikt om voor regelbare drainage te kiezen ([hoofdstuk 3](#)). In [hoofdstuk 4](#) beschrijven we de opgedane ervaringen met regelbare drainage. In [hoofdstuk 5](#) bespreken we de risico's en beperkingen van regelbare drainage, met name wat betreft aanleg, operationeel beheer en onderhoud. In [hoofdstuk 6](#) gaan we in op de kosten en in [hoofdstuk 7](#) trekken we conclusies over de inzetbaarheid.

H1 INLEIDING



Het Nederlandse waterbeheer is van oudsher gericht op een snelle ont- en afwatering ten behoeve van de landbouw. De conventionele drainage (hierna aangeduid als CD) die we al heel lang kennen, vermindert de natschade en verhoogt in sommige gevallen de gewasproductie.

In het vroege voorjaar droogt de bouwvoor door drainage sneller op en kan deze eerder bewerkt worden, zodat het groeiseizoen wordt vervroegd en wordt verlengd. Door de snelle afvoer van neerslagoverschotten kan in perioden met overvloedige neerslag stroomafwaarts echter wateroverlast ontstaan, vooral als de (gedraineerde) bodem met regenwater verzadigd is geraakt.

Als het langere tijd niet of nauwelijks regent, kan CD leiden tot droogteschade aan landbouwgewassen en verdroging van natuurgebieden. Eventuele watertekorten worden aangevuld door te beregenen. De verwachting is echter dat de beschikbare hoeveelheid beregeningswater in de toekomst afneemt door klimaatverandering. Daarnaast is het besef gegroeid dat conventionele drainage van landbouwgronden nadelig kan zijn voor nabijgelegen natuurgebieden. Het regelbaar maken van drainage is mogelijk een interessante maatregel om landbouw en andere gebiedsopgaven met elkaar te verenigen.

Bij regelbare drainage (hierna aangeduid als RD) wordt grondwater niet meteen afgevoerd, maar (deels) vastgehouden in de bodem. Er zijn twee vormen van regelbare drainage. In de meest eenvoudige vorm, een vorm die direct aansluit bij conventionele drainage, wordt het peil van de sloot waarin het drainagewater terecht komt door een stuw ingesteld.

Regelbare drainage wordt daarom ook vaak 'peilgestuurde drainage' genoemd. In dit rapport hanteren wij echter uitsluitend de term regelbare drainage. Dit is gedaan om de nadruk te leggen op de essentie van deze vorm van drainage, zijnde het operationele beheer, i.c. het regelen van de 'ontwateringsbasis'.

Een meer geavanceerde vorm van regelbare drainage is die waarbij de drainbuizen niet direct op een sloot uitmonden, maar ondergronds zijn aangesloten op een verzamelbuis. Het peil wordt in een op deze buis aangesloten 'regelput' ingesteld. We spreken dan van samengestelde regelbare drainage (hierna aangeduid als SRD).

In 2008 heeft Alterra in opdracht van waterschap Peel en Maasvallei, waterschap Brabantse Delta en DLG een modelstudie naar SRD verricht (van Bakel, van Boekel en Noij, 2008¹). Hierin zijn de effecten van (S)RD op de hydrologie en de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater berekend. De studie concludeerde dat met (S)RD zowel hydrologische, landbouwkundige als waterkwaliteitsvoordelen te behalen zijn: (S)RD kan bijdragen aan verdrogingsbestrijding, piekreductie en vermindering van af- en uitspoeling van nutriënten².

Fig 1 AANLEG VAN REGELBARE DRAINAGE

Voor een praktijkproef op een perceel in Ospel (Noord Limburg).



- 1 Bakel, P.J.T. van, E.M.P.M. van Boekel & G.J. Noij; *Modelonderzoek naar effecten van conventionele en samengestelde, peilgestuurde drainage op de hydrologie en nutriëntenbelasting*. Alterra-rapport 1647, april 2008.
- 2 Van Bakel, Peerboom en Stuyt. Drainage tegen verdroging en voor een beter milieu: paradox of werkelijkheid. *H₂O* 2007(1): 25-28.

Mede naar aanleiding van deze resultaten werden diverse praktijkproeven (S)RD (Figuur 1) gestart om te onderzoeken in hoeverre de door het modelonderzoek gewekte verwachtingen in praktijksituaties worden waargemaakt. Het modelonderzoek leidde tot praktijkproeven in Ospel (2008), Colijnsplaat (2010), Haghorst (2010) en Hupsel (2011). Onafhankelijk van het modelonderzoek van Alterra werden praktijkproeven uitgevoerd in Moerstraten (2008), Heerle (2008) en Rilland (2008). Inmiddels zijn deze praktijkproeven afgerond en gerapporteerd zodat we antwoord kunnen geven op vragen als: wat is er uit deze praktijkproeven gekomen, sluiten de resultaten aan bij de verwachtingen en welke rol kunnen de praktijkproeven spelen bij verdere ontwikkeling van (S)RD in Nederland?

Het beleid wil op grond van de resultaten van deze proeven graag worden geadviseerd over de meerwaarde van (S)RD ten opzichte van conventionele drainage (CD), als mogelijke maatregel voor het behalen van waterkwaliteits- en waterkwantiteitsdoelstellingen. Zo bepleiten WB21 en het Nationaal Waterplan 2009-2015 het vasthouden van water, ook in landbouwgebieden. In het Nationaal Waterplan wordt 'peilgestuurde' drainage zelfs specifiek genoemd als maatregel om watertekorten te voorkomen en versnelde drainage en afvoer tegen te gaan.

Met het oog op het realiseren van de doelen van de Kaderrichtlijn Water moeten er aanvullende maatregelen worden genomen. Ook in dit verband wordt regelbare drainage genoemd als mogelijk effectief instrument ter vermindering van de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten. Het langer vasthouden en beter benutten van water stimuleert namelijk de benutting van mineralen en de natuurlijke (zuiverende) processen in grond- en oppervlaktewater.

Regelbare drainage biedt boeren de mogelijkheid om flexibel in te spelen op veranderende klimatologische omstandigheden, omdat water langer kan worden vasthouden en/of waterconservering ('vernatting') kan plaatsvinden ten behoeve van droge perioden. Dit heeft wellicht ook een gunstige uitwerking op natuur. Via RD in beschermingszones rond natuurgebieden zou maximaal vernat kunnen worden, en tegelijkertijd de landbouwkundige productie op peil kunnen blijven.

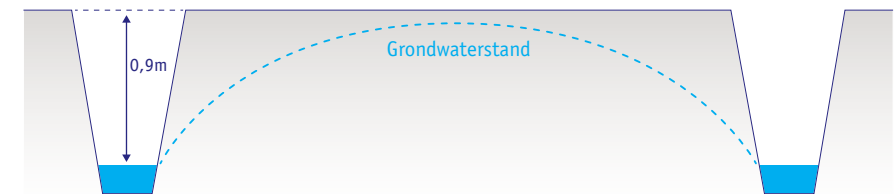
H2 WAT IS REGELBARE DRAINAGE?



Het begrip 'drainage' betekent letterlijk ontwatering en wordt internationaal ook als zodanig gebruikt. In Nederland wordt 'drainage' doorgaans geassocieerd met uitsluitend buisdrainage. Een perceel heet ongedraineerd wanneer geen buisdrainage is geïnstalleerd, ook al wordt dit perceel via perceelssloten en vaak ook greppels wel ontwaterd (Figuur 2). Ook in deze managementrapportage wordt drainage geassocieerd met buisdrainage en niet met de ontwatering van landbouwpercelen via greppels en kavelsloten.

Fig 2 ONGEDRAINEERDE SITUATIE

Een 'ongedraineerd' perceel zonder buisdrains, met perceelssloten, waarbij de grondwaterstand is weergegeven tijdens een natte periode. De sloten hebben (net als greppels en buisdrainage) een ontwaterende werking en kunnen daarnaast een belangrijke rol spelen bij de aanvoer, afvoer en berging van oppervlaktewater.



Percelen worden via buisdrainage gedraineerd wanneer deze 'drainagebehoefstig' zijn, i.e. wanneer er structureel langdurig en/of frequent sprake is van wateroverlast doordat de grondwaterstand tot aan of vlak bij het maaiveld stijgt doordat het neerslag- en/of kwelwater niet snel genoeg door de bodem kan worden verplaatst richting sloten (Figuur 2). Door de aanleg van buisdrainage wordt de weerstand van de bodem omzeild, wordt het water sneller afgevoerd, zal de grondwaterstand minder snel stijgen en zal de gemiddelde grondwaterstand dalen. Bij het ontwerp van een drainagesysteem worden op basis van onder meer de stromingsweerstand van de bodem, de bodemopbouw en het landgebruik de draindiepte (de diepte van de drainbuizen ten opzichte van maaiveld) en de drainafstand (de afstand tussen de buisdrains) bepaald (Cultuurtechnisch Vademecum, 1988, pp 513-534).

De volgende vormen van drainage worden onderscheiden:

- 1 **Conventionele drainage (CD)** is ontworpen om overtollig water uit de wortelzone van landbouwpercelen te verwijderen ('ontwatering'). Alle drainbuizen kunnen vrij uitstromen in een perceelsloot³, de drains monden boven het gehanteerde waterpeil uit in de sloot (Figuur 3, links). Conventionele drainage (CD) is in Nederland na de tweede wereldoorlog op grote schaal aangelegd: Nederland moest de voedselproductie weer op gang brengen en daarom moest landbouwgrond grootschalig worden gedraineerd. Deze vorm van drainage heeft uitstekend aan dit doel voldaan. Doel van dit concept was vooral een structurele verlaging van de grondwaterstand⁴ door ondiep grondwater, ongewenst op een landbouwperceel, snel 'kwijt te raken'. Waterkwaliteit, conserveren van water en inspelen op kortetermijnveranderingen van het weer stonden toen niet op de agenda.

De stromingsweerstand voor grondwater bepaalt de drainafstand (de afstand tussen twee naastgelegen drainbuizen). Daarnaast is de 'ontwateringsbasis' van belang: de grondwaterstand waarbij de drainafvoer stopt. De gangbare drainagepraktijk op Nederlandse zandgronden is dat drains worden gelegd op dieptes tussen 80 en 120 cm (bouwland) en 70 à 90 cm (grasland) beneden maaiveld op een onderlinge afstand tussen ca. 8 en 20 m. Indien de drains - zoals gewoonlijk - boven het slootpeil uitmonden, stagneert de drainafvoer zodra de grondwaterstand tot de draindiepte is gedaald. Voortschrijdend inzicht heeft er inmiddels toe geleid dat we beseffen dat een vaste ontwateringsbasis lang niet altijd nodig en zinvol is. Ondiep grondwater kan (op bepaalde momenten) schaars zijn, en dan is het aantrekkelijk om dit water (en meegevoerde nutriënten) zo veel en zo lang mogelijk in het perceel vast te houden (ondiepe ontwateringsbasis). Anderzijds is het aantrekkelijk om voorafgaand aan-, en tijdens extreem natte omstandigheden een perceel extra goed te ontwateren om de waterbergingscapaciteit in de bodem te vergroten en daarmee afvoerpieken te verlagen.

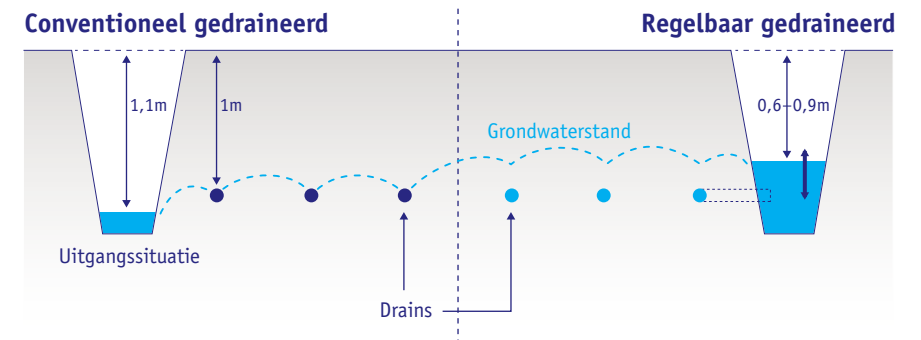
- 2 **Regelbare drainage (RD)** is uitgerust met een technische voorziening waarmee de grondwaterstand in een gedraineerd perceel - binnen een bepaald bereik - op elk

3 Soms zijn de drains aangesloten op een buis ('verzameldrain'), die op zijn beurt weer vrij uitstroomt in een sloot.
4 Door verlaging van de ontwateringsbasis en/of de drainageweerstand

gewenst niveau kan worden ingesteld, dus ook boven de uitstroomopeningen van de drains in de sloot⁵. Als de ingestelde hoogte samenvalt met het gemiddelde maaiveld is de drainage in feite uitgeschakeld; als we deze hoogte erg laag, in casu beneden het niveau van de drains instellen, creëren we in feite een conventioneel werkend drainagesysteem. In het regelbereik tussen deze twee uitersten zal de drainage alleen water afvoeren als het grondwaterniveau boven de ingestelde hoogte van een stuwte in een perceelsloot of een stelpijp in een regelput uitkomt. Deze hoogte wordt in beginsel zó ingesteld dat natschade aan gewassen wordt voorkomen. Zo'n voorziening is als een gestuwd (=verhoogd) peil in een nabijgelegen perceelsloot weergegeven in Figuur 3⁶ (rechts).

Fig 3 **CONVENTIONELE DRAINAGE / REGELBARE DRAINAGE**

Conventionele drainage, zoals we die in Nederland kennen (links); deze kan op eenvoudige wijze regelbaar worden gemaakt door het peil in de perceelsloot waarin de drains uitmonden, 'op te zetten' (stuwpeil omhoog).



- 5 Een veelgebruikte en bekende vorm van regelbare drainage is onderbemaling. Deze vorm van RD werkt tussen een aan- en afslagpeil. Regelbare drainage kan ook worden gerealiseerd door alle drainuitmondingen van een conventionele drainage te voorzien van verstelbare en/of draaibare eindbuizen. Beide vormen van RD blijven hier onbesproken.
- 6 Figuur 3, Figuur 4 en Figuur 5 zijn vereenvoudigingen van de werkelijkheid. De suggestie wordt gewekt dat de drains (weergegeven als o) evenwijdig aan sloten zijn geïnstalleerd. Dit is niet zo; de drains worden (min of meer) haaks op de sloten geïnstalleerd.

Bij regelbare drainage (RD) kan een agrariër een peil tussen draaindiepe en maaiveld (of bovengrens van de voorziening) instellen. Hiermee beïnvloedt hij de grondwaterstand en daarmee de hoeveelheid water die via drainage uit zijn percelen wordt afgevoerd. Dit beïnvloedt in belangrijke mate de hoeveelheid nutriënten die naar het oppervlaktewater af- en uitspoelen.

Onder natte omstandigheden kan de ontwateringsbasis (tijdelijk) worden verlaagd om de berging in de bodem te vergroten en ook om de draagkracht van de bodem te vergroten wanneer zware landbouwmachines moeten worden ingezet.

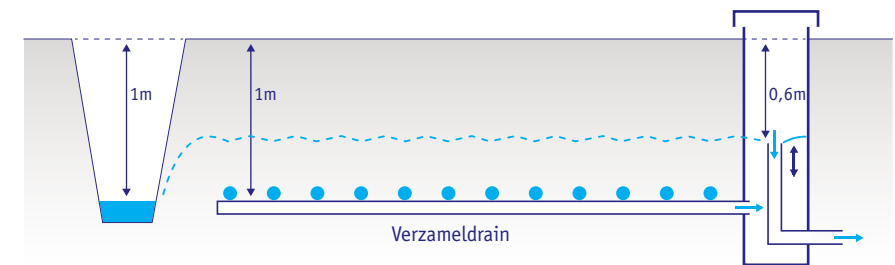
Wanneer op een droge periode moet worden geanticipeerd kan de ontwateringsbasis (tijdelijk) worden verhoogd om zoveel mogelijk water vast te houden. Wanneer onder droge omstandigheden zoet water van elders kan worden aangevoerd, kan een regelbaar drainagesysteem worden gebruikt om dit water ondergronds, via de drains, naar de wortelzone te brengen en hogere grondwaterstanden te realiseren. In veenweidegebieden kan regelbare drainage worden gebruikt om oxidatie van veen - en daarmee verdere bodemdaling - tegen te gaan.

- 3 **Samengestelde regelbare drainage (SRD)** is regelbare drainage die is uitgerust met een regelput met daarin een verticaal geplaatste overstroompijp om het gewenste peil in te kunnen stellen. In plaats van gebruik te maken van een stuw in een perceelsloot zijn de drains ondergronds aangesloten op een buisvormige verzameldrain (de 'collectorbuis') die in de regelput uitstroomt; we spreken dan van *samengestelde regelbare drainage* (hierna 'SRD'), zie [Figuur 4](#). De put loost vervolgens zijn water op de perceelsloot. Het voordeel van SRD ten opzichte van RD (een stuw in een sloot) is dat het peil autonoom, perceelsgewijs kan worden ingesteld zonder dat aangrenzende percelen hier last van ondervinden.

Het actieve regelbereik van SRD wordt uiteindelijk bepaald door de aanlegdiepte van de drains en de peilen die een waterschap in de omgeving handhaaft. Bij hoge slootpeilen kan water vanuit de put worden afgevoerd met een eenvoudige pompvoorziening. Om water vast te houden kan het putniveau boven het slootpeil worden gezet, de resulterende grondwaterstanden worden dan (passief) bepaald door het neerslagoverschot en door de stromingsweerstand in de bodem. Door water aan te voeren en de regelput in te pompen kan ook in het bereik boven het slootpeil actiever worden gestuurd.

Fig 4 SAMENGESTELDE, REGELBARE DRAINAGE

Samengestelde, regelbare drainage waarbij de drains ondergronds zijn aangesloten op een verzameldrain en het peil wordt geregeld door de hoogteinstelling van een verticale pijp in de regelput (rechts), en niet door het peil in een mogelijk ook aanwezige waterloop (links).



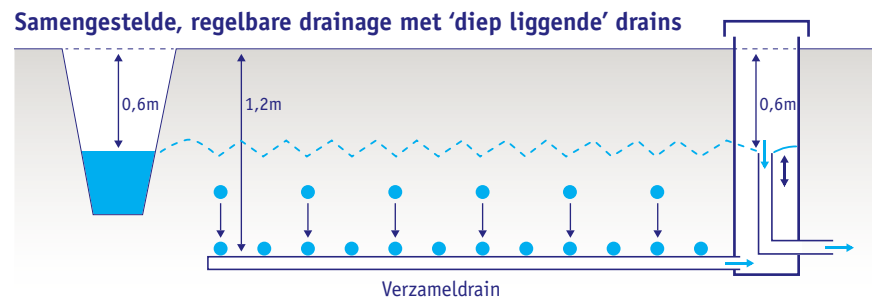
Uit de praktijk blijkt dat de gebruiker van (S)RD praktische ervaring moet opdoen met het operationele beheer van zijn systeem om dit optimaal te kunnen inzetten. Dit blijkt vrij snel te gaan; de meeste agrariërs zijn (mede afhankelijk van de lokale situatie) al binnen enkele maanden redelijk bedreven in het beheer van hun systeem, en hun ervaring neemt snel toe. Elke situatie is echter anders: als (S)RD bijvoorbeeld in een perceel is geïnstalleerd waar sprake is van sterke neerwaartse grondwaterbeweging ('wegzijing') valt er weinig te regelen en kan ondiep grondwater moeilijk worden vastgehouden.

Verschillende vormen van samengestelde regelbare drainage zijn mogelijk, afhankelijk van de uitgangssituatie. Bij nieuw aangelegde (S)RD worden de drains dieper en dichter bij elkaar (kleinere drainafstand) in de bodem gelegd dan bij CD; zie [Figuur 5](#). Door de kleinere drainafstand neemt de drainageweerstand af; dit gebeurt om grondwater sneller af te voeren dan bij CD. Als een perceel al conventioneel gedraineerd is, kunnen de bestaande drains aan een gemeenschappelijke verzameldrain worden gekoppeld en benedenstrooms van een regelput worden voorzien. De instelmogelijkheden zijn dan echter minder groot dan bij een nieuw ontworpen (S)RD als de bestaande drains minder diep zijn geïnstalleerd dan bij een nieuw ontworpen (S)RD zou worden gedaan. Daarnaast is de responstijd langer als gevolg van de grotere stromingsweerstand veroorzaakt door de grotere drainafstand.

Bij SRD kan de perceelsloot in principe worden gedempt, waardoor de kans op afspoeling van nutriënten vanaf het maaiveld naar het oppervlaktewater afneemt. Dempen van sloten is natuurlijk niet aan de orde als deze een waterbergende of waterdoorvoerende functie hebben.

Fig 5 RD VERGELEKEN MET SRD

Links: regelbare drainage (RD), die ontstaat door het stuwpeilbeheer bij conventionele drainage (CD) aan te passen. Bij RD wordt het peil van een sloot met een stuw verhoogd tot boven het niveau waarop een serie 'ondiepe' drains in deze sloot uitmondt; de drainuitmondingen 'verdrinken'. Rechts: nieuw aangelegde, samengestelde regelbare drainage (SRD) waarbij de drains dieper in de grond worden geïnstalleerd en worden aangesloten op een verzameldrain die uitmondt in een regelput. Deze regelput lost het drainagewater vervolgens alsnog in een nabijgelegen sloot. In beide gevallen wordt hetzelfde peil (de 'drainagebasis') gehandhaafd, zijnde 60 cm beneden maaiveld.



In Nederland worden sinds 2011 op drie locaties praktijkproeven gedaan met een innovatieve vorm van sturing van SRD, die inmiddels bekend staat als Klimaat Adaptieve Drainage (KAD)⁷; zie [Figuur 6](#). Bij KAD kan de hoogtestelling in de regelput op afstand, draadloos worden geregeld, bijvoorbeeld met een smartphone. De regelput is dan niet, zoals bij SRD, uitgerust met een PVC regelpijp maar met een flexibele, uittrekbare buisvormige rubberen manchet die via een mechanisch regelmechanisme op de gewenste hoogte wordt ingesteld. Deze vorm van 'real time control' is in het oppervlaktewaterbeheer in opkomst en kan in beginsel ook bij RD worden gerealiseerd (regeling van stuwstijtes).

Fig 6 INSTALLATIE VOOR KLIMAAT ADAPTIEVE DRAINAGE (KAD)

Deze wordt ontwikkeld in het kader van drie praktijkproeven.



Omdat de drainagebasis dan wel de bodemvochthuishouding in de wortelzone met KAD online, real time, en op termijn ook geautomatiseerd kan worden gestuurd, kan de ondiepe grondwatervoorraad in de bodem zo goed mogelijk (anticiperend) worden afgestemd op de weersomstandigheden, de weersverwachting en de waterbehoefte. KAD geeft de agrariër in beginsel de mogelijkheid om het beheer van zijn landbouwwater te optimaliseren.

KAD kan wellicht ook zó worden beheerd dat een opwaartse kwelstroom van brak grondwater via RD of SRD meer richting open water wordt geleid zodat de zoete regenwaterlens op de kavel maximaal in dikte kan groeien. Hierdoor kan in droge tijden meer zoet water voor het gewas beschikbaar komen en kan de kans op zoutshade afnemen. Zo'n toepassing van KAD in een brakke of zilte veldsituatie is vooralsnog gebaseerd op expert judgement en in de praktijk nog niet gerealiseerd. Onderzocht wordt in hoeverre de geavanceerde sturingsmogelijkheden en -opties van KAD meerwaarde biedt ten opzichte van SRD-systemen (Eertwegh *et al.*, 2012)⁸.

⁷ www.futurewater.nl/kad

⁸ KlimaatAdaptieve Drainage: een innovatief middel voor waterschap en agrariër tegen piekafvoeren en watertekorten als gevolg van klimaatverandering. H₂O 18/2012.

Regelbare drainage in de landbouw mag dan onlangs opnieuw in Nederland zijn geïntroduceerd; nieuw is het niet. Al in 1953 betreurt drainagedeskundige Visser⁹ het dat SRD in Nederland lang niet zo veel ‘medestanders’ vindt als in het buitenland. In de jaren 80 van de vorige eeuw heeft het toenmalige ILRI (=International Institute for Land Reclamation and Improvement) onderzoek verricht naar de effecten van SRD in de geïrrigeerde landbouw. Ten opzichte van conventionele drainage werden waterbesparingen tot 50% gerealiseerd, zonder significante opbrengstverliezen en met voordelen in de vorm van waterbesparing en verbetering van de waterkwaliteit. De conclusie na vele onderzoeksprojecten was duidelijk: draineer niet meer dan noodzakelijk! (Vlotman, 2002).

In Noord-Amerika is al ruim dertig jaar onderzoek gedaan naar de effecten van (S)RD, met als doel om zowel de belasting van oppervlaktewater met nutriënten te verminderen als water te conserveren. Bij alle (8) praktijkproeven nam het gedraineerde watervolume af met percentages variërend tussen 17 en 90%. De effecten van de verschillende proeven wijzen in dezelfde richting en daarom wordt (S)RD al sinds 2003 in een aantal Amerikaanse staten aanbevolen als maatregel om de belasting van oppervlaktewater te verminderen en de gewasopbrengst te verhogen.

9 De grondslag voor de keuze van de buiswijdte bij enkelvoudige en samengestelde drainage. Voordracht, gehouden op 29 juni 1953 door Ir. W.C. Visser. Cultuurtechnische Dienst, Afdeling Onderzoek.

H3 WAAROM REGELBARE DRAINAGE?



3.1 WATERKWANTITEIT

Argumenten om in Nederland te overwegen om (S)RD toe te passen:

- 1 Waterschappen kunnen hun missie beter vervullen als zij agrariërs stimuleren over te schakelen op (S)RD. Meer specifiek:
 - a Met (S)RD kan aan de wens van voldoende drooglegging worden voldaan wanneer dat nodig is, terwijl de waterbeschikbaarheid op jaarbasis toeneemt door het minimaliseren van de afvoer wanneer de situatie dit toelaat.
 - b Wateroverlast door (laagfrequente) extreme neerslaggebeurtenissen kan worden teruggedrongen als (S)RD met kleine drainafstanden wordt aangelegd (waardoor de drainage snel reageert), en proactief wordt geanticipeerd op weersverwachtingen.
- 2 Waterbeschikbaarheid is niet overal en altijd vanzelfsprekend. Waterbeheer aan de bron via (S)RD stelt agrariërs in staat om zelf, min of meer autonoom en 'complementair' aan het regionale waterbeheer, actief op waterkwantiteit op zijn bedrijf te sturen. Hieronder enkele voorbeelden, variërend van bewezen functionaliteit tot veronderstelde, maar nog niet in de praktijk getoetste functionaliteit.
 - a (S)RD maakt het mogelijk om bij juist beheer voorafgaand aan perioden van droogte, via het verondiepen van de drainagebasis meer grondwater vast te houden en te benutten. Hierdoor wordt de vochtthuishouding van de bodem verbeterd en neemt het risico op droogteschade aan gewassen af, zij het dat het risico op natschade bij onverwachte extreme neerslaghoeveelheden toeneemt.
 - b Wanneer bij (S)RD gewerkt wordt met kleine drainafstanden is de drainageweerstand (aanzienlijk) lager dan bij CD; hierdoor kan met (S)RD snel worden geanticipeerd op voorspelde neerslagpieken en kan snel worden gereageerd op onverwachte buien en kan natschade worden voorkomen.
 - c (S)RD kan worden gebruikt om dikkere neerslaglenzen te creëren en interne verzilting via de ondergrond tegen te gaan.
 - d Met (S)RD kan de ontwateringsdiepte bij gewasrotaties worden aangepast aan het geteelde gewas.
 - e (S)RD is te prefereren boven CD als het gewenst is om grondwaterstanden nauwkeurig in te stellen zoals bijvoorbeeld in de bollenteelt.
 - f Klimaat Adaptieve Drainage (KAD) kan, desgewenst in combinatie met een beslissing ondersteund systeem, worden gebruikt om in (S)RD de drainagebasis op basis van de actuele vochttoestand en weersverwachting op het scherpst van de snede in te stellen.

g (S)RD kan, wanneer water van elders kan worden aangevoerd (Schoondijke¹⁰, Haghorst¹¹, USA¹²), worden gebruikt voor ondergrondse irrigatie, tegen lagere kosten en met efficiënter watergebruik dan bij beregening.¹³

- 3 (S)RD kan bij juist beheer zonder dat dit de agrarische bedrijfsvoering in de weg staat een structurele bijdrage leveren aan de bestrijding van verdroging in naburige natuurgebieden als de gemiddelde grondwaterstand, ten opzichte van die bij CD, structureel wordt verhoogd.

3.2 WATERKWALITEIT

Agrariërs willen zo goed mogelijk omgaan met de voor hen essentiële maar schaarse(r wordende) productiemiddelen water en nutriënten. Die moet je verstandig beheren en niet verspillen en/of onnodig weg laten lopen. (S)RD kan hier aan bijdragen door:

- 1 De ontwateringsbasis zó in te stellen dat water in grotere mate wordt vastgehouden. Hierdoor wordt de grond natter, neemt de kans op denitrificatie in de bodem en rond de drains toe en neemt de belasting van stikstof naar het grond- als oppervlaktewater af ten opzichte van conventionele drainage met een diepere ontwateringsbasis. Een beter op de behoefte afgestemde vochtshouwing zorgt voor een beter groeiend, en dus een meer nutriënten opnemend

10 In Schoondijke (Zeeland) is in juni 2010 een praktijkproef infiltratie op kleigrond uitgevoerd. De bodemopbouw is een 3 meter dikke, zwakzandige kleilaag op een ca. 7m dikke laag matig fijn zand. Het peil in de regelput werd opgezet tot een niveau van 30cm boven de drainagebasis in het perceel, ca. 40cm boven de grondwaterstand van dat moment. De metingen lieten zien dat de grondwaterstand gelijk begon te stijgen. Binnen 4 dagen is de grondwaterstand gelijkmatig over het perceel 20 tot 30 cm gestegen. De 'overdruk' van het inlaatwater ten opzichte van de gerealiseerde grondwaterstand bedraagt slechts 10-20 cm. Na 10 dagen is de inlaat van water gestopt. De grondwaterstand zakt dan ook snel weer uit. Dit experiment toont aan dat infiltratie ook op zware gronden mogelijk is.

11 Op infiltratieproefveld Haghorst is wellicht 'te laat' begonnen met infiltratie via het samengestelde, peilgestuurde drainagesysteem, waardoor het infiltratiewater wellicht moeilijk in de bodem kon infiltreren.

12 Prof. Dr. R. Wayne Skaggs (NCSU), persoonlijke mededeling dd. 7 november 2011.

13 Diverse boeren die betrokken waren bij het communicatieproject dat gekoppeld was aan het project 'Samengestelde, peilgestuurde drainage' gaven aan met veel succes water via hun samengestelde, peilgestuurde drainagesysteem te infiltreren. Hiervoor hadden zij geen dure apparatuur en brandstof nodig (dit laatste geldt overigens alleen als de peilen in de sloten via welke water wordt aangevoerd, hoog genoeg zijn zodat niet gepompt hoeft te worden).

gewas. Als gevolg van de betere benutting en de grotere kans op denitrificatie spoelen minder nutriënten uit en neemt de emissie naar grond- en oppervlaktewater af.

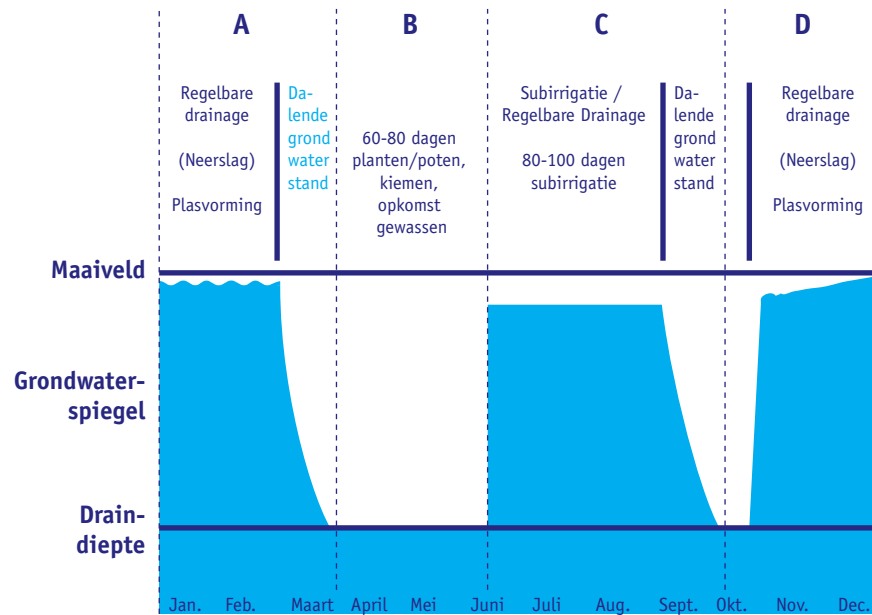
- 2 Als de drains diep en met een kleine drainafstand zijn aangelegd kan de grondwaterstand zó nauwkeurig en snel worden gestuurd dat de kans toeneemt dat de grondwaterstand beneden de onderkant van de fosfaatverzadigde laag blijft, waardoor de uit- en afspoeling van fosfor gelijk blijven of afnemen.
- 3 Wanneer een dusdanig beheer wordt gevoerd dat de emissie van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater afneemt draagt (S)RD bij aan de realisatie van KRW-doelen.

3.3 PRODUCTIEOMSTANDIGHEDEN

- 1 Met behulp van (S)RD kunnen agrariërs, complementair aan het peilbeheer van waterschappen (bijvoorbeeld bij vernatting) en min of meer autonoom, het waterbeheer van hun percelen zelf actief regelen/beïnvloeden; zie [Figuur 7](#).
- 2 Met (S)RD kan een meer uniformere grondwaterstand in een perceel worden gerealiseerd waardoor agrariërs bij een gemiddeld hogere grondwaterstand het land op kunnen. Ook leidt dit waarschijnlijk tot een gelijkmatiger gewasgroei op het perceel.
- 3 Door het vasthouden van water worden droogteschade en beregeningsbehoefte verminderd of voorkomen.
- 4 Door het via actief beheer anticiperen op hevige buien worden wateroverlast en natschade verminderd of voorkomen.
- 5 De meeste 'drainagebehoefte' landbouwpercelen - percelen met structurele wateroverlast - zijn in Nederland gedraineerd. Omdat met (S)RD echter niet alleen overtollige neerslag kan worden afgevoerd maar ook water desgewenst kan worden vastgehouden komen meer percelen in beeld voor aanleg van (S)RD als maatregel om te sturen bij de bron. 'Drainagebehoefte zijn' is daarmee niet langer het enige criterium om aanleg van (S)RD op een perceel te overwegen.
- 6 Door de aanleg van een verzameldrain bij SRD zijn geen kavelsloten meer nodig en kunnen deze - voor zover ze geen waterbergende, of -transportfunctie hebben - worden gedempt. Hiermee wordt het agrarisch productiepotentieel vergroot en bovendien nemen ook de directe afspoeling van N, P via het maaiveld (en de drift naar open water van bestrijdingsmiddelen) af waardoor een aanvullende verbetering van de waterkwaliteit wordt gerealiseerd.

Fig 7 BEHEER VAN (S)RD-SYSTEMEN

Ganesan et al. (1998) beschrijft de perioden tijdens gewasproductie: water vasthouden tot 1 april, drainage tot de zomer, subirrigatie via de drains tot aan de oogst, gevolgd door verhoging van de drainagebasis om water tijdens de komende winter vast te kunnen houden.



3.4 NATUUR

(S)RD kan in landbouwkundig gebruikte beschermingszones rond natuurgebieden helpen verdroging tegen te gaan door (gemiddeld) ondiepere grondwaterstanden te realiseren. Hier kan ook de landbouw baat bij hebben, want agrariërs hebben immers in veel gevallen belang bij waterconservering, terwijl ze een teveel aan water snel willen kunnen afvoeren. (S)RD biedt de mogelijkheid om in vernattings-situaties (hogere omgevingspeilen) rond natuur effectief te blijven boeren. Indien gewenst kunnen grondwaterstanden immers tijdelijk worden verlaagd, ondanks het feit dat deze op jaarbasis zijn verhoogd en per saldo op nabijgelegen natuur een positief effect hebben. In situaties waar CD door (S)RD wordt vervangen is dit evident, maar wanneer (S)RD op ongedraineerde percelen wordt aangelegd is dat minder vanzelfsprekend. Ook bij introductie van (S)RD op ongedraineerde

percelen kunnen onder bepaalde voorwaarden nattere omstandigheden worden gecreëerd waar zowel natuur als landbouw voordeel van hebben. De drainagebasis kan relatief hoog worden ingesteld zonder het risico dat dit bij hevige neerslag tot overlast leidt. Dat geldt vooral voor Brabant en Limburg, waar soms sprake is van wateroverlast, maar veel vaker van droogte. (S)RD fungeert in zulke situaties als 'noodvoorziening' en draagt bij aan de realisatie van ondiepere grondwaterstanden.

Introductie van (S)RD op ongedraineerde percelen kan echter bij tekort schietend ontwerp, aanleg en/of beheer op nabijgelegen natuurgebieden uiteindelijk een verdrogend (uitstralings)effect hebben. Daarom moet een besluit om (S)RD op ongedraineerde percelen in landbouwkundig gebruikte beschermingszones te introduceren weloverwogen worden genomen. Door (S)RD niet dieper aan te leggen dan bestaande CD of door een maximaal in te stellen diepte aan (S)RD in de beschermingszones voor te schrijven, bijvoorbeeld identiek aan het oppervlaktewaterpeil, kunnen risico's op verdroging door onzorgvuldig beheer worden voorkomen. Ook moet worden voorkomen dat SRD wordt gecombineerd met onderbemaling.



H4 ERVARINGEN MET REGELBARE DRAINAGE

4.1 PRAKTIJKPROEVEN

In Nederland ontstond rond 2007 grote behoefte te onderzoeken of de veelbelovende effecten van (S)RD die in de modelstudie van Alterra (Van Bakel, van Boekel en Noij, 2007) naar voren waren gekomen, ook in praktijksituaties zouden kunnen worden vastgesteld. In dat geval zou (S)RD daadwerkelijk een goede en duurzame maatregel zijn voor een beter beheer van landbouwwater aan de bron. Hoewel opdrachtgevers en kennisinstituten de risico's van praktijkproeven vooraf onderkenden, blijkt het, achteraf gezien, nog lastiger de onder praktijkomstandigheden waargenomen effecten van (S)RD-systemen te duiden dan in eerste instantie was verondersteld.

Het moeizame karakter van praktijkonderzoek aan drainage werd decennia geleden al onderkend door de Wageningse hoogleraar Agrohydrologie Prof. Dr. W.H. van der Molen. Hij leerde zijn studenten dat praktijkproeven rond landbouwdrainage onvermijdelijk behept zijn met onzekerheden en daarom niet meer kunnen opleveren dan indicaties (signalen) van het gedrag van de onderzochte systemen. De werkelijkheid is meestal complexer dan kan worden gevat in de aannames waar bij onderzoek vanuit moet worden gegaan en waar computersimulatiemodellen op zijn gebaseerd. De waterkwaliteit wordt bijvoorbeeld niet alleen bepaald door de wijze waarop wordt gedraineerd. Er spelen veel meer factoren een rol, zoals ruimtelijke en temporele variabiliteit, snelheid van reactie van het watersysteem op veranderingen, wisselende klimaatomstandigheden, gewaskeuze, tijdstip van bemesting, de toepassing bestrijdingsmiddelen en dergelijke. Deze factoren worden in de proefopzet idealiter als 'vaste factoren' worden meegenomen.

Deze complexe werkelijkheid geldt voor meer processen. In een onderzoek naar het verspreiden van bagger (Harmsen *et al.*, 2012¹⁴) kon bijvoorbeeld niet worden vastgesteld dat de waterkwaliteit verbeterde, hoewel de randvoorwaarden voor een goede waterkwaliteit wel aantoonbaar verbeterden.

Een belangrijke les die hieruit valt te trekken is dat onderzoek naar maatregelen die de waterkwaliteit zouden kunnen sturen, een meer integraal karakter moet

14 Harmsen, J., R.P.J.J. Rietra, J. E. Groenenberg, J. Lahr, A van der Toorn, en H.J. Zweers, 2012. Het verspreiden van bagger op het land in klei- en veengebieden, Alterra-rapport 2282 /STOWA-rapport 2012-22.

krijgen, waarbij rekening wordt gehouden met alle sturende factoren. De verdienste van de serie praktijkproeven met (S)RD van de afgelopen jaren is dat deze - naast alle informatie die zij hebben opgeleverd en de lessen die we hieruit kunnen trekken - veel in beweging hebben gebracht en een platform hebben gecreëerd waarop het denken over (S)RD en SRD in Nederland in een stroomversnelling is geraakt.

4.2 HET AGRARISCH PERSPECTIEF

4.2.1 Het vasthouden van water

In niet-gedraineerde en conventioneel gedraineerde situaties is van het bewust vasthouden van water geen sprake. In een niet-gedraineerde situatie zal de agrariër geneigd zijn een relatief dieper peil in zijn sloten aan te houden om ook in het midden van het perceel voldoende drooglegging te hebben. Van Bakel, Van Boekel en Noij (2008) concluderen op grond van modelonderzoek dat de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) na introductie van een ondiep ingestelde (S)RD op een niet gedraineerd perceel ongeveer gelijk blijft en dat de gemiddelde grondwaterstand en GLG tegelijkertijd stijgen. Na aanleg van (S)RD in niet gedraineerde percelen moet 'vasthouden' actief worden nagestreefd via operationeel beheer door de agrariër.

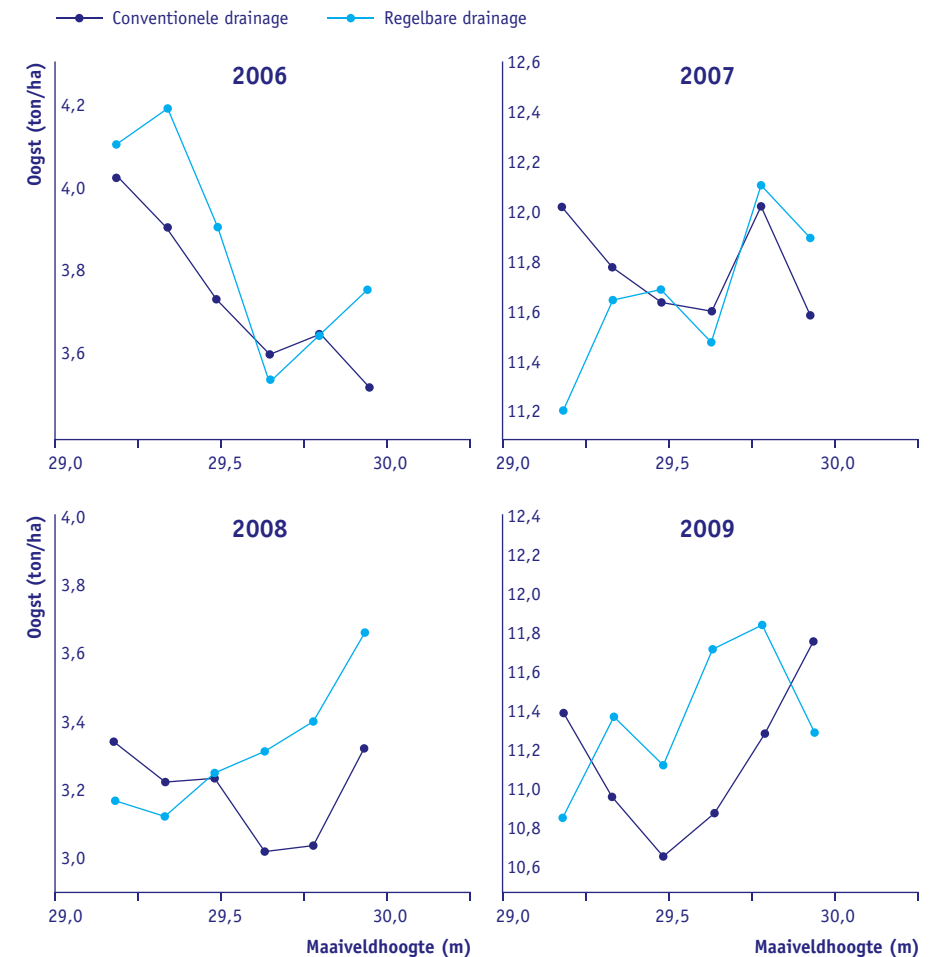
Door de aanleg van (S)RD op conventioneel gedraineerde percelen komt een instrument beschikbaar dat kan worden gebruikt om water in de bodem vast te houden, door de ontwateringsbasis (grondwaterstand) aan te passen aan de vochtthuishouding en de waterbehoefte aan te passen. Heel simpel, door de regelmogelijkheid van (S)RD te benutten; in dit geval door 'omhoog te regelen'. De winst van het vasthouden van water moet tot uitdrukking komen in hogere gewasopbrengsten of minder beregening, maar zal niet altijd even gemakkelijk kunnen worden vastgesteld. Het effect zal locatiespecifiek zijn, want regelen van de (S)RD betekent dat alle componenten van de waterbalans worden beïnvloed. Ten opzichte van CD is er geen sprake van extra risico's, omdat de hogere grondwaterstand snel kan worden verlaagd voor bijvoorbeeld gewas- of oogstwerkzaamheden.

Gerapporteerde praktijkervaringen met het vasthouden van water via (S)RD zijn schaars. Op het melkveebedrijf van Martijn Tholen te Veldhoven is in 2009 in samenwerking met Waterschap De Dommel, ZLTO en Provincie Brabant SRD aangelegd. Tholen is positief over de landbouwkundige voordelen. 'Ik ben vooral blij dat

ik nu meer grip heb op de watervoorziening van mijn percelen. Op de droogste percelen levert het me een extra snede gras op. Daarnaast heb ik er een hoop gemak van, het spaart me elk seizoen zeker een keer beregenen uit.'¹⁵ De verwachting van hogere gewasopbrengsten bij grotere waterbeschikbaarheid wordt ondersteund door eerder buitenlands onderzoek (USA); zie [Figuur 8](#)¹⁶.

Fig 8 MAISOOGSTEN UIT VELDPROEVEN

De proeven zijn gehouden in zware zavelgronden in Hume (Illinois), tussen 2006 en 2009. De oogst is gerelateerd aan de hoogte van de ontwateringsbasis die bij regelbare drainage (lichtblauw) wordt gehandhaafd.



Bij Nederlandse veldproeven bleek het beheer van SRD-systemen gericht op optimalisatie van de waterbeschikbaarheid op percelen nog niet zo eenvoudig. In het vroege voorjaar wordt het ontwateringsniveau doorgaans omlaag gebracht om (conform de algemene richtlijn) voorjaarswerkzaamheden mogelijk te maken. Na het uitvoeren van deze werkzaamheden wordt het ontwateringsniveau weer ondiep ingesteld. Wanneer vervolgens onvoldoende neerslag valt om de watervoorraad in de bodem weer aan te vullen stijgen de grondwaterstanden niet of nauwelijks en wordt er bijna geen extra water vastgehouden. Het effect en succes van (S)RD wordt dus bepaald door de weersomstandigheden en de (eisen van) de landbouwkundige bedrijfsvoering. Bij het al dan niet aanleggen van (S)RD moet de inpasbaarheid in de bedrijfsvoering daarom worden meegewogen.

Los hiervan lijkt het erop dat veel zandgronden in Limburg in Noord-Brabant zó goed doorlatend zijn dat het niet lukt om in de zomer water vast te houden. Niet elk perceel is daarom geschikt voor (S)RD; regelbare drainage biedt alleen perspectief als er voldoende water beschikbaar is dat via buisdrainage kan worden afgevoerd. Als op een perceel sprake is van aanzienlijke wegzijging (=neerwaartse beweging van grondwater) valt er met (S)RD weinig te sturen. Proeflocatie Ospel is hiervan een voorbeeld.

Het hoeft geen betoog dat een beheerder maximaal kan sturen op een perceel waar sprake is van netto aanvoer van water. Dat kan zijn in de vorm van neerslag, opkwellend grondwater of infiltratie van oppervlaktewater vanuit omringende sloten. (S)RD zal onder zulke omstandigheden zeker een effectieve maatregel kunnen zijn. Een besluit tot aanleg van (S)RD moet op grond van dit soort criteria zorgvuldig worden overwogen. De drainage moet een significante post zijn in de waterbalans van het perceel. Niet alleen in het najaar en de winter, maar zeker ook in die van het voorjaar (april tot en met juni).

4.2.2 De zoetwatervoorziening

Aanleg van (S)RD betekent dat de bodemvochthuishouding beter kan worden be-

heerd dan voorheen. Als het regelbaar gedraineerde perceel zich in een regio bevindt waar zoet water van elders kan worden aangevoerd kan het geïnstalleerde buizenstelsel niet alleen worden gebruikt om te draineren maar ook om dit 'externe' water tijdens droge perioden naar de wortelzone van de gewassen te transporteren (Stuyt (1998)¹⁷, Haghorst (2012)). Deze verwachting wordt ondersteund door praktijkervaringen van agrariërs in Limburg, die rapporteren over de vele kuubs ingelaten water die zij via de regelputten van hun SRD hun drainagesysteem zien en horen instromen (bronnen). Een pluspunt van SRD ten opzichte van CD is de mogelijkheid die de agrariër krijgt om in de regelputten te 'monitoren' en zo nodig in te grijpen. Daarmee worden de betrokkenheid en het bewustzijn van agrarische ondernemers met betrekking tot het schaarser wordende productiemiddel 'landbouwwater' vergroot.

Op percelen die gevoelig zijn voor verzilting door opkwellend brak grondwater, voert ondiep aangelegde CD ook neerslagwater af. De kans op zoutschade neemt hierdoor toe. De draandiepte bepaalt in zulke situaties bij een neerslagoverschot de diepte van de brakke mengzone. In dergelijke gevallen kan (S)RD vermoedelijk zó worden aangelegd en beheerd, dat de opwaartse stroom van brak grondwater de wortelzone van de landbouwgewassen zo weinig mogelijk belast, en de zoete regenwaterlens in het perceel in perioden met neerslagoverschot in dikte kan groeien. De drains moeten daartoe diep worden aangelegd om het brakke water af te voeren en de bovenste grondwaterstand van de zoete neerslaglens op het gewenste niveau te houden. Hierdoor neemt de kans op zoutschade voor gewassen af. Ook hier zou het effect tot uitdrukking moeten komen in hogere gewasopbrengsten. De hier beschreven verwachtingen worden overigens (nog) niet ondersteund door praktijkervaringen van agrariërs.

4.2.3 De reductie van piekafvoeren

Conventionele drainage (CD) zorgt ervoor dat snel een aanzienlijke verlaging van de grondwaterstand kan worden gerealiseerd om gewenste drooglegging te krijgen. Hierdoor wordt tegelijkertijd de berging in de bodem vergroot, waardoor piekafvoeren worden voorkómen of afgevlakt en vertraagd. Met dieper aangelegde

15 www.ppo.wur.nl/nl/nieuwsagenda/archief/nieuws/2010/veldsymposium020610.htm

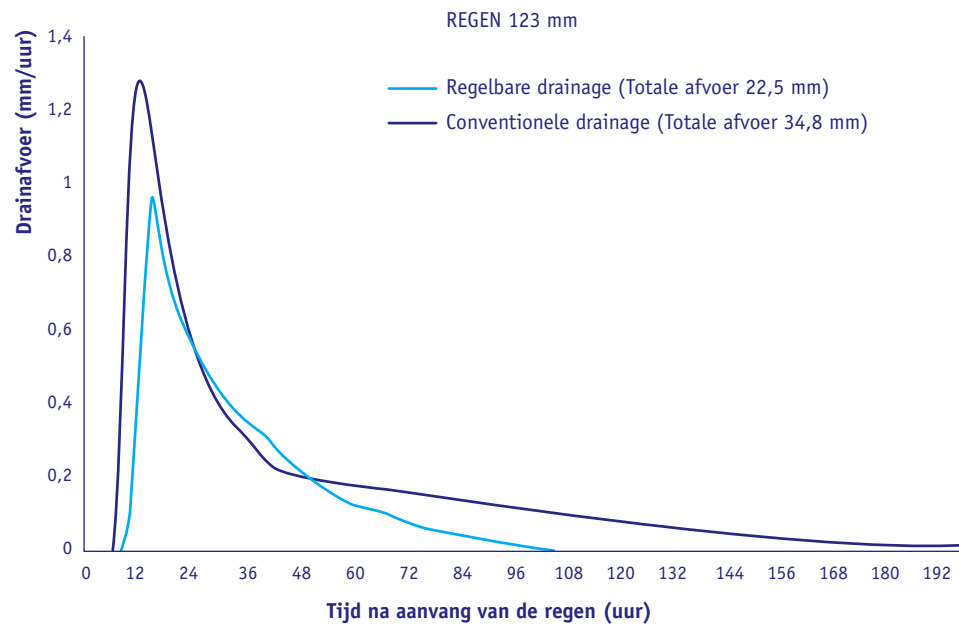
16 Drainage Water Management for Midwestern row crop agriculture (Hume north, Illinois, USA). Agricultural Drainage Management Coalition, P.O. Box 592, Owatonna, MN 55060 USA.

17 Stuyt, L.C.P.M. 1998. Schade aan onderlopende buisdrainage Literatuurstudie - State-of-the-Art - Onderzoeksvorstel. DLO-Staring Centrum, Wageningen.

(S)RD kan - ten opzichte van CD - doelbewust worden geanticipeerd op verwachte zware neerslag door het creëren van extra bergingscapaciteit in de bodem, net zoals een waterschap aan risicobeheer kan doen door in zulke gevallen te gaan voor malen. Deze vorm van actief beheer via drainage moet nog worden ontwikkeld. Er is in Nederland geen veldonderzoek bekend waar dit operationeel is 'gemonitord'. In de USA wel (Evens *et al.*, 1995¹⁸). Het effect dat peilgestuurde drainage op piekafvoeren heeft is, vergeleken met het effect van conventionele drainage, situatieafhankelijk; zie [Figuur 9](#) en [Figuur 10](#).

Fig 9 **PIEKAFVOEREN TIJDENS DROGE PERIODEN**

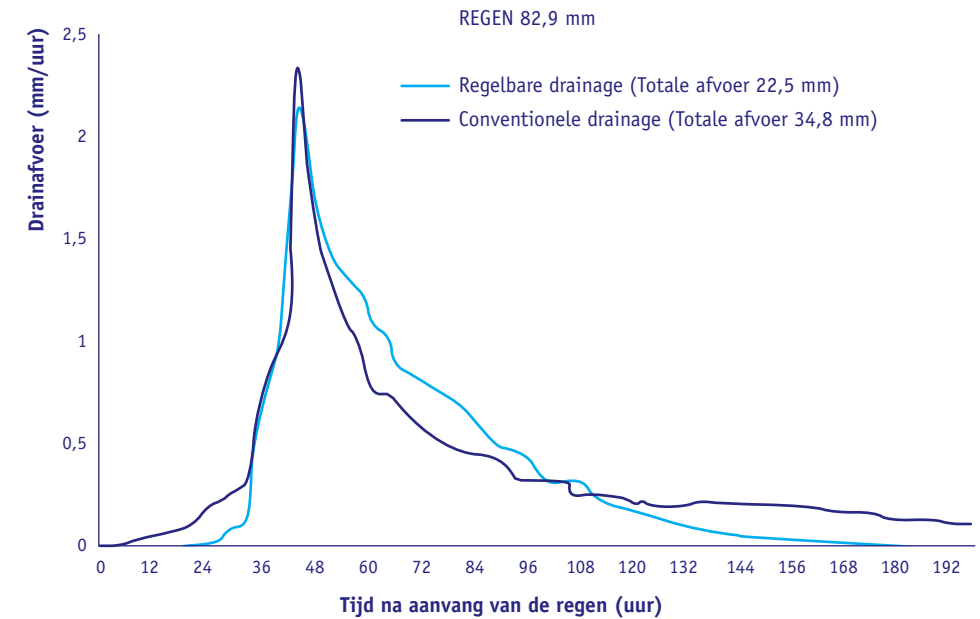
Vergelijking van piekafvoeren uit conventionele en regelbare drainagesystemen; tijdens droge perioden kunnen piekafvoeren gereduceerd of zelfs geheel onderdrukt worden (Naar Evens *et al.*, 1995).



18 Robert O. Evans, · R. Wayne Skaggs and J. Wendell Gilliam, 1995. Controlled versus conventional drainage effects on water quality. *Journal Of Irrigation And Drainage Engineering* / July/August 1995/271.

Fig 10 **PIEKAFVOEREN TIJDENS NATTE PERIODEN**

Vergelijking van piekafvoeren uit conventionele en regelbare drainagesystemen; onder natte omstandigheden zijn de effecten op piekafvoeren gering; afvoerpieken kunnen zelfs toenemen (Naar Evens *et al.*, 1995).



De kunst zal zijn om de risico's die met het beheer van (S)RD samenhangen te minimaliseren, zoals het voorkómen van natschade wanneer bij een hoge ontwateringsbasis onverwacht een hevige bui valt, maar ook het voorkómen van droogteschade wanneer - anticiperend op voorspelde grote hoeveelheden neerslag - het ontwateringsniveau wordt verlaagd, zonder dat er uiteindelijk veel neerslag valt.

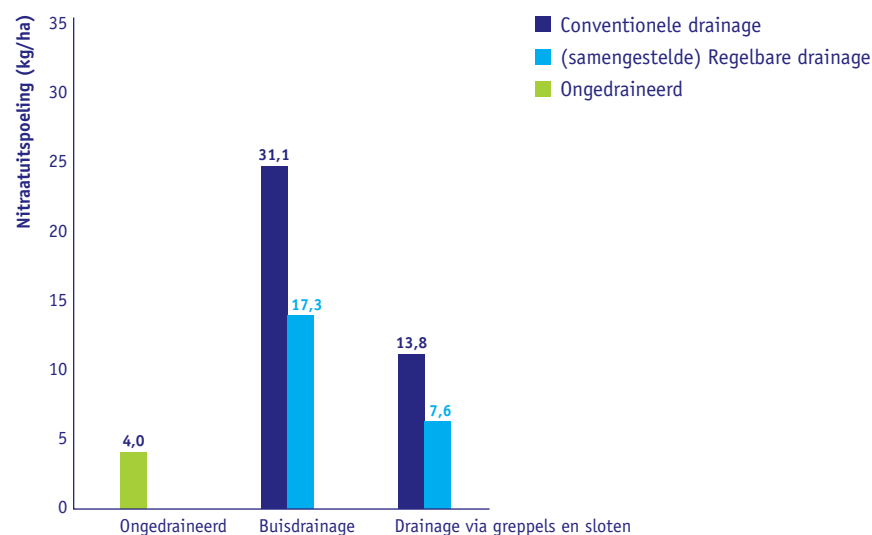
In het eerste geval moet snel worden gereageerd en dat kan beter wanneer sneller kan worden ontwaterd. Dat wil zeggen: bij een kleine drainafstand. In de tweede situatie is het gewenst om de ontwateringsbasis weer snel op het gewenste ondiepe niveau te hebben; hetzij 'passief': door aanvulling via neerslag en/of kwel met alle risico's van dien, hetzij 'actief': door water aan te voeren. Dat laatste is niet overal en niet altijd mogelijk.

4.2.4 De uitspoeling van nutriënten

Met de aanleg van (S)RD wordt de waterbalans van een perceel via de drainage stuurbaar. Hiermee stuurt een agrariër ook de nutriëntenbalans, zij het doorgaans niet bewust. Uit vele onderzoeksprojecten en waarnemingen is inmiddels bekend dat de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten (met name N) gerelateerd is aan de grondwaterstand. Die is weer gerelateerd is aan het ingestelde drainageniveau bij CD en (S)RD; zie [Figuur 11](#) en [Figuur 12](#).

Fig 11 EFFECT VAN DRAINAGE OP DE NITRAATUITSPOELING UIT DE DRAINS

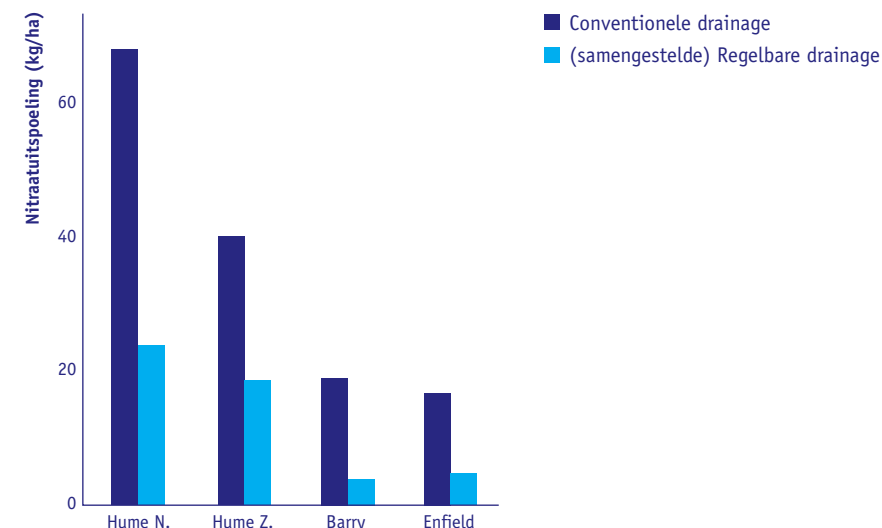
Gegevens samengevat uit acht onderzoeksprojecten, uitgevoerd in de USA, Canada en Zweden tussen 1979 en 2007.



Bij lagere grondwaterstanden neemt de stikstofbelasting toe, omdat de denitrificatie in de wortelzone niet wordt gestimuleerd en omdat de minerale stikstof met de neerslag snel via drainage wordt afgevoerd. De fosforvrucht neemt af, omdat in de (droge) bodem de grondwaterstand nauwelijks aan maaiveld kan komen en afspoeling wordt voorkomen. Bij een ingestelde hoge grondwaterstand neemt de kans op belasting met P juist toe door de grotere oppervlakkige afspoeling.

Fig 12 EFFECT VAN DRAINAGE OP DE NITRAATUITSPOELING UIT DE DRAINS

Bron: waarnemingen in Illinois (USA), gedaan in 2009¹⁹.



Bewust sturen op uitspoeling van nutriënten maakt geen deel uit van de bestaande landbouwpraktijk. Sturen op waterkwaliteit lijkt sowieso moeilijker dan sturen op waterbeschikbaarheid. Dit zowel vanwege het grotere aantal factoren dat de waterkwaliteit beïnvloedt als door de vereiste meetinspanning. (S)RD biedt echter mogelijkheden om uitspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater terug te dringen door vermindering van drainafvoeren. Recente praktijkproeven in Nederland getuigen hiervan. Een conclusie die kan worden getrokken is dat de belasting van het oppervlaktewater via de drainage, de zogenoemde ‘vrachten’, vooral geassocieerd is met de hoeveelheid afgevoerd drainagewater; zie [Tabel 2](#) (praktijkproef ‘Rilland’²⁰) en [Figuur 13](#) (praktijkproef ‘Rusthoeve’²¹). De beoogde effecten worden

19 Drainage Water Management for Midwestern row crop agriculture (Hume north, Illinois, USA). Agricultural Drainage Management Coalition, P.O. Box 592, Owatonna, MN 55060 USA.

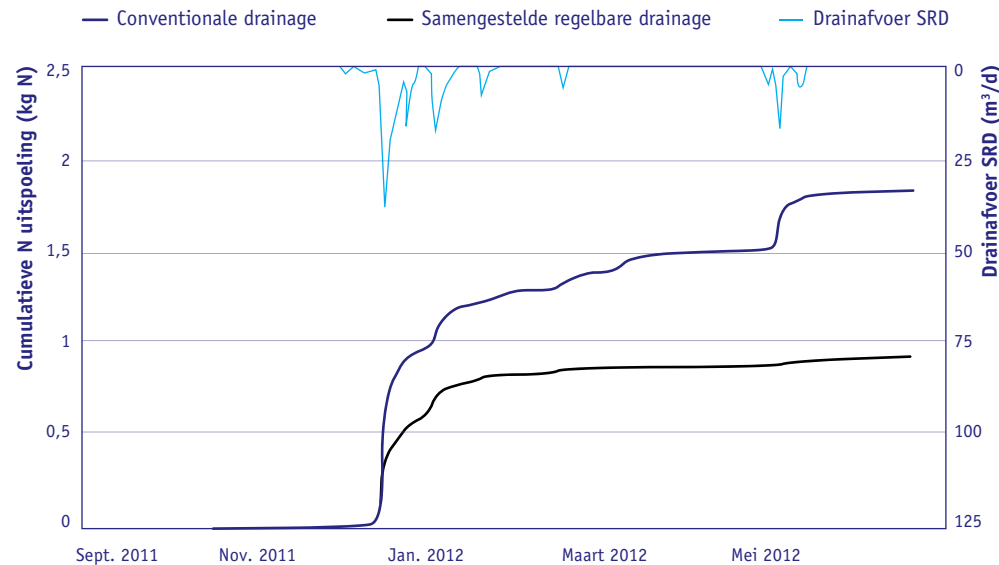
20 Proeflocatie drainage van project ‘Stikstof op het juiste peil’ van waterschap Brabantse Delta.

21 Proeflocatie drainage van project Waterkwaliteitseffecten van samengestelde, peilgestuurde diepe drainage op kleigrond in de provincie Zeeland’.

gerealiseerd door het verhogen van de waterstand in controleput(ten) of ontvangende sloten. (S)RD biedt daarmee in beginsel de mogelijkheid om de uitspoeling van nutriënten uit een perceel te verminderen en bij te dragen aan de realisatie van de doelen van de KRW.

Fig 13 CUMULATIEVE STIKSTOFUITSPOELING

Waargenomen tijdens praktijkproeven op locatie 'Rusthoeve' gedurende het winterseizoen 2011-2012; vergelijking conventionele drainage (CD) met samengestelde regelbare drainage (SRD).



Tabel 2 BEREKENDE VRACHTEN N- EN P-TOTAAL

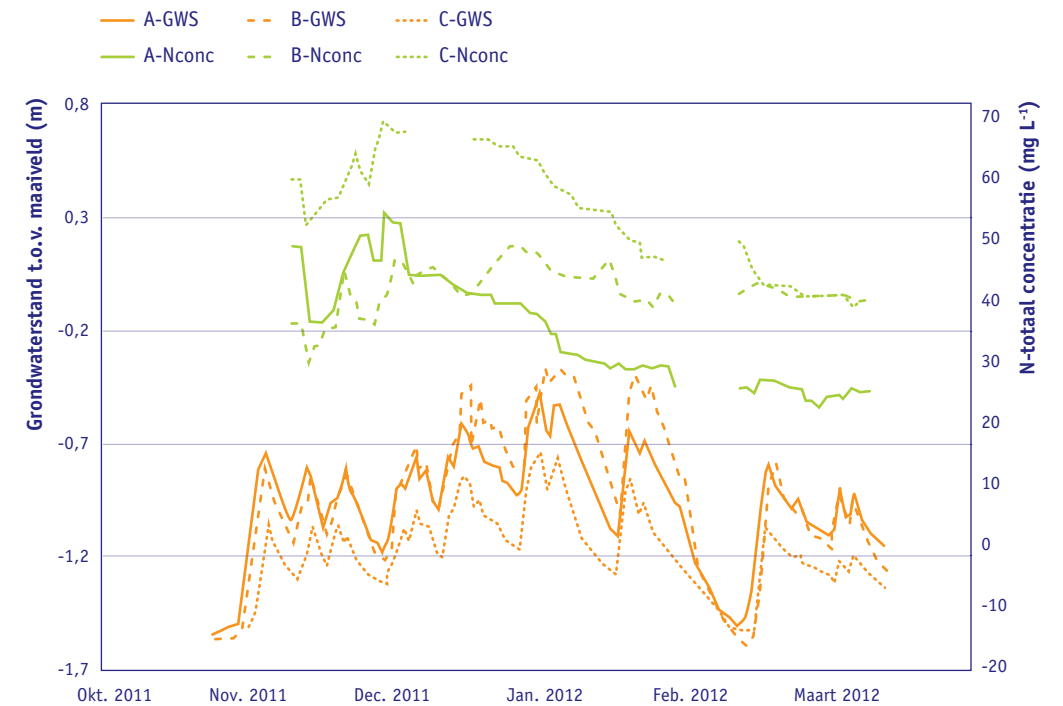
Op locaties met cumulatieve debietmetingen, waargenomen op proeflocatie Rilland.

PERCEEL / DRAINAGEVORM	PEIL, CM - MV	N-TOTAAL VRACHT	P-TOTAAL VRACHT
Rilland SRD	70	4,0 kg/ha	44 gram/ha
Rilland CD	90	5,3 kg/ha	225 gram/ha

Waarnemingen - gedaan tijdens recente praktijkproeven te Ospel en Hupsel - die waren gericht op het vaststellen van veronderstelde relaties tussen het beheer van drainagesystemen (i.c. het verhogen van de waterstand in controleput(ten) of ontvangende sloten) enerzijds, en concentraties van nutriënten in het drainagewater anderzijds, hebben echter niet tot overtuigende resultaten geleid; zie [Figuur 14](#) en [Figuur 15](#).

Fig 14 GRONDWATERSTANDEN EN NITRAATCONCENTRATIES IN DRAINAGEWATER

Op proeflocatie Ospel gedurende de winter 2011-2012. A = CD, B = SRD met diepgelegen drains en C = SRD met ondiep gelegen drains. De laagste nitraatconcentraties zijn, in tegenstelling tot de verwachting, niet geassocieerd met de hoogste grondwaterstanden (blok B).

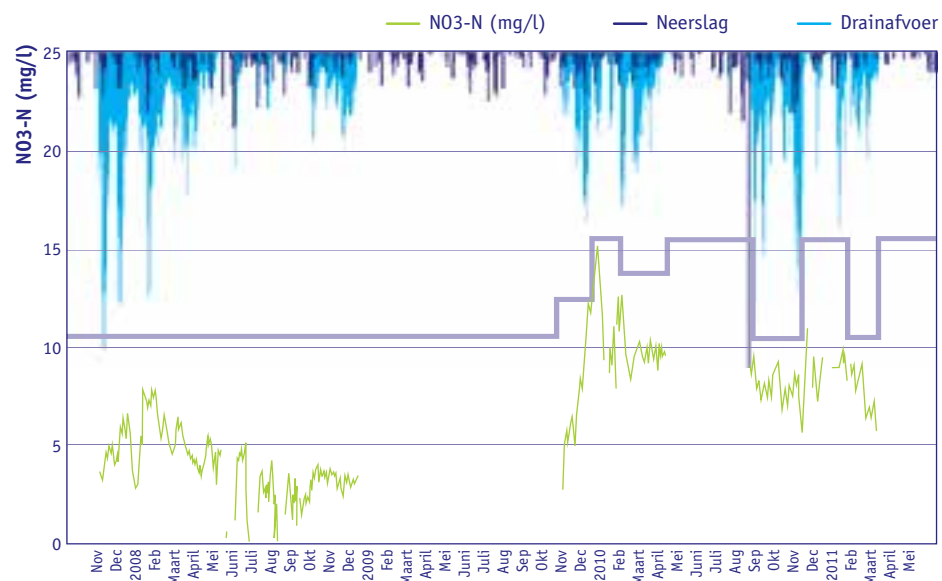


Uit eerdere in Nederland uitgevoerde praktijkproeven bleek het al niet of nauwelijks mogelijk om concentraties van nutriënten in drainagewater te relateren aan de configuratie en het beheer van drainagesystemen, de toediening van meststof

fen en dergelijke (Hoeksche Waard²²). Ook tijdens de praktijkproef te Ospel kon niet worden aangetoond dat de uitspoeling van nutriënten met drainagewater bij (S)RD kleiner is dan bij conventionele drainagesystemen. Dit resultaat moet worden toegeschreven aan vooraf onderschatte effecten van een slecht doorlatende leemlaag op ondiepe grondwaterstromingen, waardoor goede onderlinge vergelijking van drie configuraties van drainage niet mogelijk bleek. De mate van uitspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater was echter ook in Ospel gekoppeld aan het ingestelde ontwateringsniveau.

Fig 15 NEERSLAGPATRONEN EN NITRAATCONCENTRATIES IN DRAINAGEWATER

Op proeflocatie Hupsel tussen najaar 2007 en het voorjaar van 2011. In de herfst van 2009 wordt peilsturing geïntroduceerd; de nitraatconcentraties zijn vervolgens, in tegenstelling tot de verwachting, hoger dan gedurende het jaar 2008.

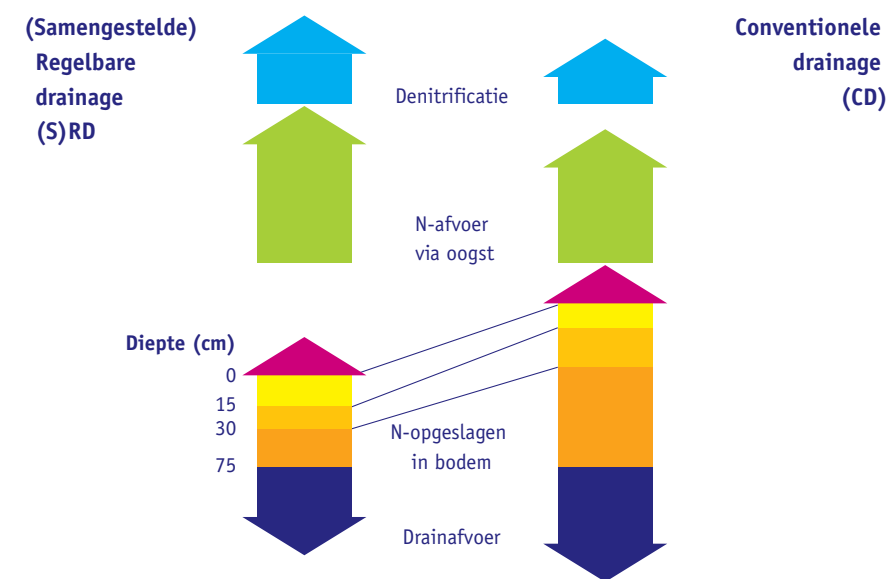


22 Resultaat van vier jaar lang (1993-1997) wekelijks onderzoek naar de chemische samenstelling van drainagewater op 13 klei-akkerbouwbedrijven in de Hoeksche Waard. Bron: Huinink, J.Th.M. en T. de Waard, 1997. *Drainwatermonitoringproject Hoeksche Waard*. Informatie en Kennis Centrum Landbouw, Ministerie van LNV, Ede.

Aanleg van (S)RD op conventioneel gedraineerde percelen betekent dat de ontwateringsbasis traploos kan worden gestuurd. De nutriëntenbalans wordt hierdoor ook beïnvloed, de uitspoeling van stikstof kan sterk afnemen en Amerikaanse onderzoekers stellen dan ook de vraag: Where does the nitrogen go? Wordt er meer stikstof opgenomen door het gewas, denitrificeert er meer stikstof, of wordt stikstof via andere transportroutes afgevoerd? Met andere woorden: hoe beïnvloedt het beheer van (S)RD de water- en nutriëntenbalans (zie [Figuur 16](#))?

Fig 16 SCHEMATISCHE, GRAFISCHE WEERGAVE VAN DE NUTRIËNTENBALANS

Schematische, grafische weergave van de nutriëntenbalans op een landbouwperceel bij conventionele drainage (CD), rechts; en (samengestelde) regelbare drainage ((S)RD), links. De verschillende posten van de balans 'verschuiven' met vorm en beheer van de drainage.

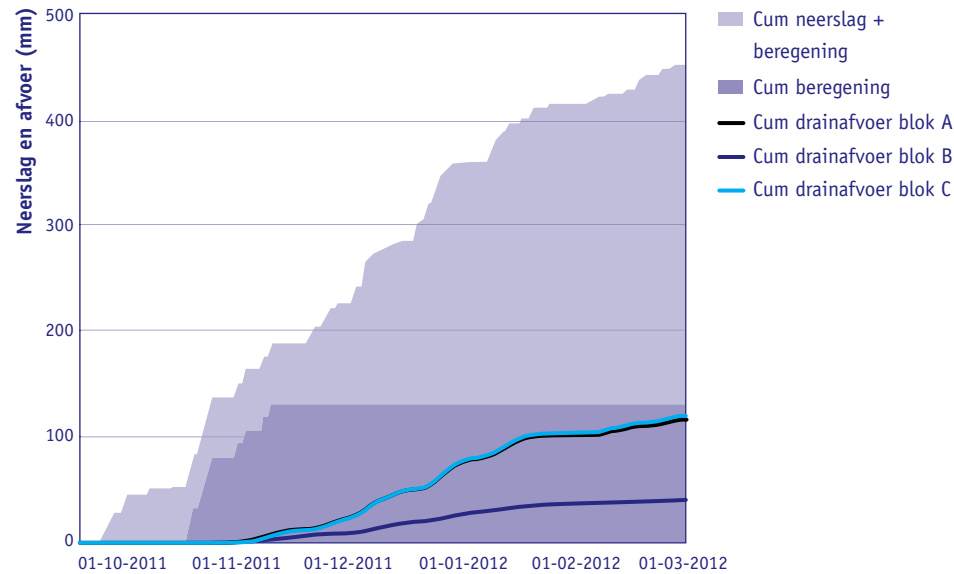


De vraag 'waar blijft het nitraat?' is in de praktijkproef te Ospel (L) beantwoord door het opstellen van een nutriëntenbalans. Het verloop van de cumulatieve neerslag en de cumulatieve drainafvoer gedurende de winter van 2011-2012 is weergegeven in [Figuur 17](#). De drainafvoer blijkt maar een betrekkelijk klein deel

van het neerslagoverschot te omvatten. De drainafvoer van blok B (SRD met 'diep' liggende drains) is bovendien veel kleiner dan de drainafvoer van blok A (CD) en C (SRD met 'ondiep' liggende drains)²³.

Fig 17 CUMULATIEVE NEERSLAG EN DRAINAFVOER

Tijdens de winter 2011-2012 in de praktijkproef te Ospel (L). wegens de droogte tijdens de herfst van 2011 is besloten te gaan beregenen; in totaal meer dan 100 mm (oranje segment).



Aan de hand van de berekende en gemeten afvoeren en nitraatconcentraties in het drainagewater in Ospel is een schatting gemaakt van de hoeveelheid stikstof die rechtstreeks - dat wil zeggen: niet via de drainagesystemen maar via de bodem - in het oppervlaktewater terecht is gekomen, en de resterende hoeveelheid nitraat waarvan de 'bestemming' minder duidelijk is (afgezien van eventuele extra opname door gewassen; deze zijn experimenteel vastgesteld). Op dit perceel is

23 Het verschil wordt toegeschreven aan de bodemopbouw in combinatie met de installatiediepte van de drains; die van blok B zijn geïnstalleerd in een slechtdoorlatende leemlaag.

een deel van de nitraat vermoedelijk door wegzijging naar het diepe grondwater 'verdwenen'²⁴ (zie Tabel 3), maar zeker is dat niet. In het algemeen wordt in het diepe grondwater immers weinig stikstof aangetroffen. Om te kunnen vaststellen in hoeverre stikstof (uiteindelijk) elders alsnog het oppervlaktewater bereikt, zullen tijdgerelateerde waarnemingen moeten worden gedaan. Van belang is immers te weten in welke hoeveelheden en wanneer dit gebeurt: continu, na heftige neerslag en dergelijke.

Tabel 3 STIKSTOFVRACHTEN PER AFVOERCOMPONENT

Stikstofvrachten (kg/ha) in de periode 4/11/2011 t/m 7/03/2012 per afvoersysteem, waargenomen op de praktijkproef te Ospel (L). De drainafvoer bedraagt 40% van het netto neerslagoverschot en de stikstofafvoer via de drainbuis 32% van de totale N-afvoer; minder dan werd verondersteld. Dit komt overeen met een verlies van 55 à 70 kg/ha)²⁵. Blok A = CD; Blok B = SRD met 'diep' liggende drains en Blok C = SRD met 'ondiep' liggende drains.

AFVOERCOMPONENT UIT DRAINAGEBLOK	BLOK A	BLOK B	BLOK C	GEMIDDELD
Afvoer naar sloot via drainbuis (kg N/ha)	38	16	62	39
Directe afvoer naar sloot via de bodem (kg N/ha)	17	8	28	18
Wegzijging naar het diepe grondwater (kg N/ha)	64	26	103	64
Totaal	121	50	193	121

24 Verondersteld is dat de concentratie van het water dat direct naar de sloot stroomt en de concentratie van het water dat via wegzijging verdwijnt gelijk is aan de gemiddelde gemeten waarden in het drainagewater i.e. 35,6 mg L-1 in blok A, 42,3 mg L-1 in Blok B en 55,0 mg L-1 in Blok C.

25 Dit verlies komt daarmee hoger uit dan het berekende bodemoverschot in 2010 (44 kg ha-1) en zou alleen te verklaren zijn uit de nalevering van het bodemoverschot in 2009 en voorgaande jaren.

H5 RISICO'S, BEPERKINGEN EN KOSTEN VAN REGELBARE DRAINAGE

Zoals in [hoofdstuk 3](#) is aangegeven, biedt (S)RD goede kansen om het waterbeheer op perceelsniveau beter te reguleren. Ondanks het feit dat de techniek goede kansen biedt, is het niet vanzelfsprekend dat er massaal wordt overgeschakeld op (S)RD. Op locaties waar men goed zonder drainage uit de voeten kan, ligt draineren immers niet voor de hand.

Introductie van (S)RD heeft zijn beperkingen en kan risico's met zich meebrengen. Hieronder geven wij een opsomming van de risico's, zonder de pretentie volledig te zijn. Aansluitend wordt ingegaan op de fouten die kunnen worden gemaakt bij aanleg, waardoor de nuttige effecten teniet worden gedaan.

5.1 RISICO'S BIJ DE AANLEG

Een risico bij de aanleg van SRD is ondeskundige/slechte installatie; de aanleg van SRD is aanzienlijk moeilijker dan de aanleg van RD en CD. Draineerbedrijven hebben hier over het algemeen nog weinig ervaring mee.

Toen de aanleg van SRD-systemen enkele jaren geleden in Nederland begon, was er sprake van een enorme variëteit in het soort materialen dat werd gebruikt voor buizen, putten, hulpstukken e.d. en in de gehanteerde afmetingen. Sinds kort is er een Nationale Beoordelingsrichtlijn Drainage (BRL 1411)²⁶: *Grondwaterbeheersystemen door middel van drainage*, noodzakelijk voor het verkrijgen van het KOMO^{®27} procescertificaat of KOMO[®] attest-met-productcertificaat door drainagebedrijven.²⁸ In deze beoordelingsrichtlijn wordt aandacht besteed aan ontwerpcriteria, drainageplan, aanleg, installatie, draineermachines, diepteligging, producteisen, interne kwaliteitsbewaking en certificering.

26 Nationale Beoordelingsrichtlijn Drainage (BRL 1411): *Aanleg van samengestelde peilgestuurde drainagesystemen voor de ontwatering en/of infiltratie van gronden*, noodzakelijk voor het verkrijgen van het KOMO[®] procescertificaat of KOMO[®] attest-met-productcertificaat door drainagebedrijven.

27 www.komo.nl/over-komo De bouw is een van de belangrijkste economische sectoren van Nederland. De belangen zijn groot. De financiële investeringen navenant. Daarom zoeken de partijen in die sector naar maximale zekerheid. Die zekerheid is er: KOMO. Met het KOMO-keurmerk kan de bouwsector van de kwaliteit van producten, processen, systemen en diensten op aan. KOMO is een collectief keurmerk. KOMO staat voor onbetwiste kwaliteit. Gebruik van KOMO-gecertificeerde producten en processen verhoogt de efficiency in het bouwproces en verlaagt de faalkosten.

28 www.komo.nl/files/101_nieuwsflits-nr-16.pdf.

Nog meer dan bij conventionele drainage moet bij een SRD-systeem aandacht worden besteed aan het op de juiste diepte installeren van drains, verzameldrainen en putten. Bij SRD luistert dit heel nauw. Hoogteliggingfouten van enkele centimeters kunnen al snel tot het slecht functioneren leiden van (delen van) drainage-systemen en zijn later heel moeilijk - of alleen tegen hoge kosten - op te sporen, laat staan te herstellen. Als dat niet gebeurt zal de ontwatering van (delen van) een landbouwperceel sterk te wensen over kunnen laten.

Het risico op de vorming van zogenoemde luchtsloten in drainbuizen (bij CD, RD en SRD), die de waterstroming in deze buizen ernstig hindert en geregeld blokkeert, kan worden gereduceerd door drainbuizen te installeren met een uitwendige diameter van 80 mm of groter (in plaats van de in Nederland tot gebruikelijke 60 mm). Dan zijn tevens grotere lengtes van de drainbuizen mogelijk omdat de afvoercapaciteit aanzienlijk groter is.

Een SRD moet qua ontwerp (en dus qua bediening) inzichtelijk, bedrijfszeker en voor de beheerder begrijpelijk zijn. Een belangrijk advies aan draineurs is: houd het ontwerp simpel.

5.2 RISICO'S TEN AANZIEN VAN HET ONDERHOUD

Agrariërs zijn bezorgd dat het moeilijker zal zijn om SRD te controleren en te onderhouden dan CD, omdat de drains niet meer in een perceelsloot uitmonden maar in een ondergrondse verzameldrain ('collectorbuis'). Bij CD kun je de eindbuizen van de drains visueel inspecteren en kun je de buizen doorspuiten etc. In de praktijk is bij CD echter vaak sprake van achterstallig onderhoud: sloten groeien 's zomers dicht, eindbuizen kunnen kapot worden gemaaid, sloottaluds verzakken waardoor de drainuitmondingen op de slootbodem komen te liggen, en dergelijke.

SRD heeft andersoortige onderhoudsproblemen. De buizen monden uit in een collectorbuis en kunnen zonder extra voorzieningen niet worden geïnspecteerd of doorgespoten. Bij het ontwerp en de aanleg kan (S)RD van aansluitingen worden voorzien waarop een buis wordt aangesloten die langs de perceelrand aan de oppervlakte komt of boven de grond uit komt. Ook de bovenstroomse einden van drainbuizen dienen bij voorkeur boven het maaiveld te eindigen. Op deze manier kunnen de drains en de verzameldrain worden geïnspecteerd en doorgespoten. Qua onderhoudsvriendelijkheid ontlopen de systemen elkaar in de praktijk weinig.

5.3 RISICO'S BIJ HET OPERATIONEEL BEHEER

(S)RD stelt de agrariër bij goed beheer in staat te reageren op de actuele weersituatie en daarop te anticiperen op basis van de weerverwachting. Na aanleg van (S)RD moet de agrariër wel praktijkervaring opdoen met het operationele beheer. Dat klinkt moeilijker dan het is, getuige de positieve reacties en de ervaringen van diegenen die (S)RD hebben laten installeren en ermee werken. De kans dat boeren het operationeel beheer van (S)RD niet (goed) onder de knie krijgen, kan worden verkleind door 'nieuwkomers' goed op weg te helpen, liefst door ervaren collega's. In 2009 hield Wageningen UR een enquête onder agrariërs met (S)RD. Er werden vier bedrijven bezocht in Zeeland en 15 in Noord Brabant en Limburg.

Een aantal van de ondervraagde agrariërs in Noord Brabant en Limburg kon nog weinig zeggen over hun ervaringen, omdat (S)RD bij hen pas recent was aangelegd en zij tevens te maken hadden gehad met de extreem droge zomer van 2009. De gedraineerde percelen varieerden sterk in o.a. omvang, vorm en hoogteligging; dit is bepalend voor draindiepte en -afstand. De mogelijkheden voor peilopzet en sturing werden tevens bepaald door het waterpeil in de afwaterende sloot of beek.

Een aantal van hen was zeer tevreden over de drainage, maar gaven aan het peil nooit aan te passen. Het betrof veelal percelen die voorheen niet waren gedraineerd. De noodzaak van intensief draineren op 4 of 6 meter is niet altijd duidelijk; dit bepaalt wel in belangrijke mate de kosten. Het is daarom belangrijk dat objectieve criteria voor peilsturing worden opgesteld en dat eisen aan de aanleg worden gesteld. Ook voor overheden is het van belang dat peilsturing daadwerkelijk tot de beoogde voordelen leidt. Dit betekent dat zij ervan op aan moeten kunnen dat agrariërs peilsturing goed onder de knie krijgen. Infiltratie is een belangrijk onderwerp waar telers vragen over hebben, vooral wat betreft de voor- en nadelen t.o.v. berekening.

In Zeeland was net als in Noord Brabant en Limburg behoorlijk wat variatie in de aangelegde (S)RD-systemen. Bij de eind 2008 aangelegde systemen was, mede vanwege het droge jaar 2009, nog geen ervaring opgedaan met waterberging. De ene teler gebruikte het systeem om (zout) water in te laten, waarbij hij zich wel afvroeg wat dit voor consequenties kan hebben. Een ander gebruikte het systeem om zoet drainwater in een bassin te pompen om van daaruit te beregenen. Weer een ander had het aangelegd vanwege de grote afstanden tot de afwaterende sloot.

De ondervraagden gaven aan geïnteresseerd te zijn in het plaatsen van peilbuizen, om te weten wat er in hun perceel gebeurt bij peilverandering, waaronder infiltreren. De bezochte telers hadden verschillende meningen over samengestelde regelbare drainage. Sommigen waren zeer te spreken over het systeem en wisten het goed te gebruiken. Er werd wel betwijfeld of infiltratie op klei functioneert. Anderen zagen de voordelen van samengestelde drainage niet in. Bij een teler met grof zand in de ondergrond werkte het vasthouden van water niet. Een andere teler was er van overtuigd dat het water uit zijn perceel naar omliggende watergangen met een lager peil wegstroomde (wegzijging).

Los van deze specifieke ervaringen, kunnen (S)RD-gebruikers te maken krijgen met ongewenste effecten als het ontstaan van vochttekort, verdroging, wateroverlast en afvoerpieken. Meer specifiek:

- **Risico op vochttekort**

Wanneer anticiperend op voorspelde grote hoeveelheden neerslag het ontwateringsniveau wordt verlaagd zonder dat vervolgens daadwerkelijk veel neerslag valt, is de grondwaterstand verlaagd. In dat geval is het gewenst de ontwateringsbasis weer zo snel mogelijk op het gewenste ondiepe niveau te hebben. Dat kan (passief) via aanvulling door neerslag en/of kwel (met alle risico's van dien), of door actief water aan te voeren. Dat laatste is niet overal en niet altijd mogelijk. Om dit risico te verkleinen zou kunnen worden verkend of de ondiepe watervoorraden kunnen worden aangevuld uit diepere watervoerende pakketten (pompen om via (S)RD te infiltreren in plaats van het minder efficiënte beregenen).

- **Risico op verdroging in naast- of nabijgelegen natuurgebieden**

Peilen kunnen lager worden ingesteld dan bijvoorbeeld is overeengekomen met een waterbeheerder om (bijvoorbeeld) het drainageniveau in een beschermingsgebied rond een natuurgebieden te begrenzen. Het risico dat peilen te laag worden ingesteld kan bij (S)RD overigens gemakkelijk worden ondervangen door het hanteren van een maximale draindiepte en deze vast te leggen in het ontwerp van regelputten. De fysieke ondergrens van regelputten ten opzichte van het maaiveld kan worden voorgeschreven.

- **Risico op wateroverlast**

Wanneer onverwacht een bui valt bij een hoge ontwateringsbasis kan waterover-

last ontstaan. Op een dergelijke gebeurtenis moet snel worden gereageerd door het verlagen van het drainageniveau. Hierbij geldt: hoe kleiner de drainageafstand, hoe beter en sneller kan worden ontwaterd.

- **Risico op het ontstaan van een (piek)afvoergolf in het oppervlaktewatersysteem**

Wanneer anticiperend op of reagerend op een hevige neerslagbui grootschalig en gelijktijdig (S)RD wordt ingesteld op snelle afvoer naar het oppervlaktewater kan dit leiden tot een afvoergolf in het watersysteem die overlast kan veroorzaken in benedenstrooms gelegen oppervlaktewateren. Dit risico kan worden verkleind dan wel worden voorkomen door rekening te houden met de natuurlijke verschillen in reactietijd van de gedraineerde percelen van de agrariërs en de ligging in het watersysteem. Mocht dit te weinig perspectief bieden, dan kan worden overwogen afspraken te maken over coördinatie van maatregelen om piekbelasting van het oppervlaktewaterstelsel te minimaliseren, bijvoorbeeld door de drainagebasis geleidelijk te verlagen.

5.4 BEPERKINGEN

Een landbouwperceel is geschikt voor (S)RD als er geen factoren (topografie, bodem, hydrologie) zijn die de aanleg van drainage of de werking na aanleg sterk belemmeren. Als (S)RD wordt overwogen moet bij het ontwerp rekening worden gehouden met de volgende punten.

- Het bodemprofiel moet uniform en boven de drains en op draindiepte goed doorlatend zijn. Anders wordt de waterbeweging van en naar de drains (radiale- en intrestroming) sterk belemmerd en zal de drainage niet goed werken.
- Onder de draindiepte moet de bodem, tenzij er continue kwel optreedt, slecht doorlatend zijn (leem- of kleilaag) zodat (S)RD effectief kan worden beheerd. Intensieve wegzijging op een perceel is ongunstig omdat (S)RD dan nauwelijks effectief is; in een lekke emmer is een waterstand moeilijk te handhaven.
- Drains moeten op een diepte worden geïnstalleerd waar ze daadwerkelijk kunnen ontwateren. De optimale draindiepte wordt bepaald door de samenstelling van de ondiepe ondergrond op het te draineren landbouwperceel.
- De 'natuurlijke' grondwaterstanddynamiek (in casu de grondwaterstand in niet-gedraineerde situatie) moet voor (S)RD boven de beoogde draindiepte liggen om het drainageniveau effectief te kunnen instellen (vergelijk met het begrip 'beheersbare waterloop').

- 'Ijzer' in het te draineren perceel is een probleem, omdat dit in veel gevallen (bio)chemische verstoppingen veroorzaakt. Ijzer(hydroxide) dat aan het bodemprofiel is gebonden is na enkele jaren meestal wel uitgespoeld. Ijzer dat, opgelost, via kwelstromen wordt aangevoerd vormt een structureel probleem dat kan worden ondervangen door de onderdelen van het (S)RD die tegelijkertijd aan het ijzerrijke grondwater en aan zuurstof worden blootgesteld, regelmatig inwendig te reinigen ('doorspuiten'). Het risico op (verstoppingen door) ijzerneerslag is bij SRD kleiner dan bij RD en CD en het verwijderen van ijzerneerslag is bij SRD-systemen waarvan de drains permanent onder de grondwaterspiegel liggen gemakkelijker dan bij RD en CD. Bij SRD zal de ijzerneerslag namelijk voornamelijk in de regelput ontstaan. Dit is het enige onderdeel van SRD waar het grondwater in contact komt met zuurstof.

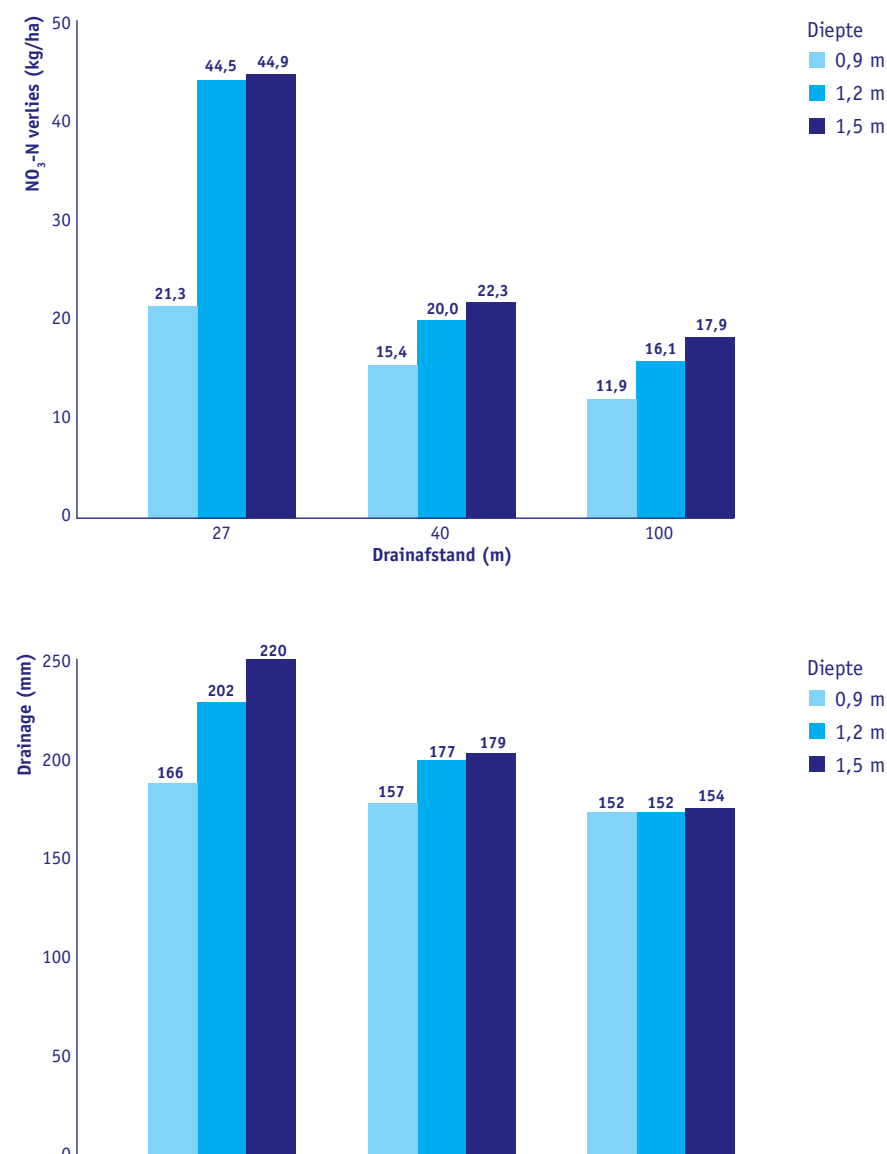
5.5 KENNISONTWIKKELING

Nieuwe gebruikers van (S)DR moeten zelf, maar ook met en van elkaar, leren hun systeem zo goed mogelijk te bedienen. Het is daarom zinvol informatie te verzamelen over de wijze waarop gebruikers (S)RD toepassen, wat dat oplevert en wat hun ervaringen met het systeem zijn. Hieruit kan worden gedestilleerd waaraan goed beheer (en een goed ontwerp) van (S)RD onder gegeven omstandigheden moet voldoen. Deze nieuwe kennis moet vervolgens worden gedeeld met zo veel mogelijk collega's en andere betrokkenen, bijvoorbeeld waterbeheerders, NGO's e.d.

Gegeven de natuurlijke ruimtelijke variabiliteit van de bodemopbouw, de hieraan gekoppelde hydrologische eigenschappen en de onvoorspelbaarheid van weersomstandigheden, moeten praktijkproeven met hoog ambitieniveau, gericht op het vaststellen van de effecten van configuratie en beheer van drainagesystemen op kwantiteit en kwaliteit van drainagewater, ten minste vijf jaar duren. En het liefst langer. Bovendien moet er de grootst mogelijke aandacht worden besteed aan het uitvoeren van accurate metingen die gericht zijn op het vastleggen van de balansen van waterkwantiteit en waterkwaliteit.²⁹ De complexe werkelijkheid noodzaakt tot een integrale benadering van praktijkproeven.

²⁹ Op één meetlocatie in de Atlantische kustregio van North Carolina (USA) worden al ruim 25 jaar permanent waarnemingen gedaan aan de uitspoeling van nutriënten (Prof. R. Wayne Skaggs (NCSU), persoonlijke mededeling).

Fig 18 AMERIKAANS AGRICULTURAL DRAINAGE AND PESTICIDE TRANSPORT MODEL
Modelresultaten van het Amerikaanse Agricultural Drainage and Pesticide Transport (ADAPT)-model. Een grotere drainafstand en ondiepere ligging van drains kunnen een gunstige uitwerking hebben op de uitspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater.



Bij de uitvoering van veldproeven is gedegen vooronderzoek op het beoogde proefperceel belangrijk. Tijdens praktijkproeven die tussen 2009 en 2012 werden uitgevoerd te Ospel (L) bleek de uitspoeling van nutriënten (stikstof) met drainagewater niet gerelateerd te zijn aan de installatiediepte van drainbuizen van de SRD-systemen, wellicht deels door de aanwezigheid van een leemlaag. Modelonderzoek door Alterra had deze suggestie echter wel gewekt³⁰ en ook in buitenlands modelonderzoek werd dergelijk verband berekend (Nangia *et al.*, 2004³¹); zie [Figuur 18](#).

Revitalisering van het zogenoemde drainagevooronderzoek³², algemeen toegepast ten tijde van de ruilverkavelingen in Nederland tijdens de tweede helft van de 20e eeuw, is gezien het bovenstaande geen overbodige luxe. Zeker als vermoed wordt dat zich in een te draineren perceel slecht doorlatende lagen bevinden.

30 Bakel, P.J.T. van, E.M.P.M. van Boekel & G.J. Noij; *Modelonderzoek naar effecten van conventionele en samengestelde, peilgestuurde drainage op de hydrologie en nutriëntenbelasting*. Alterra-rapport 1647, april 2008. Aanleg van drainage heeft veel (on)gewenste effecten op grondwaterstanden en op de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Door drainage peilgestuurd te maken in combinatie met een verhoging van de ontwateringsbasis en een intensivering zijn ongewenste hydrologische effecten voor een deel op te heffen. Door de drains dieper te leggen kan de nutriëntenbelasting worden gereduceerd. Met behulp van modelberekeningen zijn deze veronderstelde mogelijkheden tot reductie onderzocht en is een basis gelegd voor veldproeven.

31 Nangia, V., P. H. Gowda, D. J. Mulla,* and G. R. Sands, 2004. *Modeling Impacts of Tile Drain Spacing and Depth on Nitrate-Nitrogen Losses*.

32 Cultuurtechnisch Vademecum (1988): 529-531; zie <http://www.debaksestroom.nl/wp-content/uploads/Voorwoord-en-deel-III-Water.pdf>.

Meer, W. van der en G. Rutten, 1976. Drainage-vooronderzoek: ontwikkelingen in het drainage-vooronderzoek in de provincie Groningen met toepassing in het ruilverkavelingsgebied Harkstede. Cultuurtechnische Dienst, Afdeling Onderzoek; zie: http://books.google.nl/books/about/Drainage_vooronderzoek.html?id=238otwAACAAJ&redir_esc=y.

Lokhorst, G.N. 1954. Enkele aspecten over het drainage-vooronderzoek in Zeeland. Voordracht no. 81, gehouden op 1 October 1954. Voordracht / Cultuurtechnische Dienst, Afd. Onderzoek (no. 81); zie: http://books.google.nl/books/about/Enkele_aspecten_over_het_drainage_vooron.html?id=nkNdtwAACAAJ&redir_esc=y.

Maas, G.C. 1955. Enige gegevens betreffende drainage-vooronderzoek ten dienste van de organisatie van het onderzoek. Voordracht / Cultuurtechnische Dienst, Afd. Onderzoek (no. 83); zie <http://library.wur.nl/WebQuery/hydrotheek/lang/589028>.

5.6 KOSTENASPECTEN BIJ REGELBARE DRAINAGE

Omdat een (S)RD-systeem snel moet kunnen reageren op aanpassingen in de drainage-intensiteit (door de hoogte van de stelpijp in een put, of van het stuwteje aan te passen), wordt bij regelbare drainage een kleinere drainafstand aangehouden dan bij conventionele drainage. Hierdoor - en ook als besloten wordt een grotere buisdiameter toe te passen dan de gebruikelijke 60 mm - wordt het systeem duurder. De drainafstand bij Nederlandse SRD is nu, vergeleken met CD, aanzienlijk kleiner, maar het is de vraag of dat echt nodig is. Die drainafstand mag bij (S)RD misschien iets ruimer zijn, zonder dat dat wellicht nadelige gevolgen heeft voor de werking. Een nadere kosten-batenanalyse kan vrij eenvoudig worden gedaan op grond van een simpele modelanalyse. Bij SRD-systemen zorgen de benodigde verzamelrain ('collector') en één of meerdere controleput(ten) voor extra kosten.

In de praktijk blijkt (S)RD zeker duurder te zijn dan een conventionele drainage³³. De terechte vervolgvraag is: wat leveren deze extra kosten aan extra baten op, voor wie, en hoeveel geld wordt er bijvoorbeeld bespaard op beregening? Dit soort zaken wordt geregeld benoemd als *de sociaaleconomische impact van regelbare drainage*, maar daar blijft het bij. Steekhoudende calculaties zijn tot op heden nog niet gemaakt. Effecten op gewasopbrengsten kunnen met behulp van computermodellen inmiddels redelijk goed in beeld worden gebracht. Maar in hoeverre hoeveelheden geconserveerd water in termen van geld kunnen worden uitgedrukt is niet duidelijk; dit soort analyses staat nog in de kinderschoenen. Als de ambitie bestaat om (S)RD te onderwerpen aan een kosten-batenanalyse, moet deze niet beperkt zijn tot vergelijking van effecten van (S)RD ten opzichte van CD, maar ook tot effecten van CD ten opzichte van niet gedraineerde percelen.

Daarnaast is het belangrijk goed na te gaan wat de keuze voor het aanleggen voor (S)RD bepaalt; het uitsluiten van risico's door de aanleg van (S)RD (een soort verzekering dus) is een heel andere overweging dan een economisch kosten-baten analyse. Ter overdenking: voor beregening is in het verleden (eind jaren '70 begin jaren '80 van de 20e eeuw) ook uitgerekend dat de investeringen economisch gezien niet rendabel waren. Toch is op grote schaal apparatuur voor beregening aangeschaft.

33 Waterschap Peel en Maasvallei gaat uit van een meerprijs van 1000 per hectare (persoonlijke mededeling J. Peerboom).

H6 CONCLUSIES



(S)RD is - mits goed beheerd - een duurzamere vorm van drainage dan CD. (S)RD biedt de mogelijkheid om landbouw, water en natuur optimaal op elkaar af te stemmen, kan de realisatie van beleidsdoelstellingen bevorderen en kan gunstig zijn voor de bedrijfsvoering van agrariërs. Er zijn dus genoeg redenen om daar waar dit mogelijk is, over te schakelen op (S)RD.

Wat dat laatste betreft: (S)RD is alleen effectief op percelen waar geen sprake is van wegzijging van grondwater, omdat het effect van het regelen van peilen met deze drainagesystemen dan (zeer) beperkt is. Ook bij zeer ondiepe watervoerende pakketten valt er weinig 'te regelen'. Het realiseren van (S)RD op zulke locaties moet daarom worden afgeraden.

(S)RD kan waterschappen helpen om beleidsdoelen (bijvoorbeeld GGOR, KRW, anti-verdroging etc.) te realiseren. Een belangrijke vraag voor de waterschappen hierbij is: *hoe vertalen we deze beleidsdoelen naar technische eisen?* Indien waterschappen (S)RD willen stimuleren of voorschrijven, is een belangrijk aandachtspunt hoe de uitvoering van de overeenkomst of het voorschrift te controleren en te handhaven. Vraag is: hoe handhaaf je zoiets in de praktijk? Coaching van agrariërs is wellicht een goed idee. Het instellen van drainagepeilen is niet aan een datum te koppelen maar aan omstandigheden; dit vraagt een specifieke beoordeling die verder gaat dan handhaving.

Als er te weinig aandacht is voor voorlichting en handhaving, bestaat de kans dat er na een aantal jaren wordt geconcludeerd dat (S)RD niets heeft opgeleverd. (S)RD kan alleen een succes worden als gelijktijdig een uitvoeringsprogramma wordt opgetuigd, er een en ander wordt geregeld in Keur (ge- en verboden), (niet bindende) beleidsregels en vergunningen (wel bindend, toezicht en handhaving organiseren) en wanneer de effecten van de aanleg van SRD worden gemonitord en geanalyseerd.

Meer specifieke conclusies zijn:

- Vergeleken met CD kan door (S)RD in specifieke omstandigheden/locaties het vochttekort worden verkleind met een positief effect op de gewasproductie tot gevolg.
- Door de aanleg van (S)RD nemen de benutting en retentie van stikstof toe en neemt de belasting van het oppervlaktewater met stikstof af.

-
- Het succes / de meerwaarde van (S)RD ten opzichte van CD staat of valt met de (on)mogelijkheid die de gebruiker heeft om de waterbalans (lees: de waterhoeveelheden) op zijn landbouwperceel actief te beheren. Waterkwaliteitsaspecten, als het beheer van nutriënten, liften hier op mee.
 - De praktijk heeft geleerd dat drainage, en vooral (S)RD, maatwerk is. De agrariër heeft met (S)RD de mogelijkheid zijn drainagebeheer geleidelijk te 'optimaliseren'. Hij moet daarbij vertrouwd raken met de nieuwe mogelijkheden om zijn water te beheren. Hij kan de drainage in droge tijden zelfs 'uitschakelen', en zal zich uiteindelijk tot wellicht slechts 2 à 3 instellingen beperken waarvan hij uit ervaring weet, dat deze op zijn bedrijf het gunstigst uitwerken.
 - Drainage moet pas worden aangelegd na goed vooronderzoek. De profielopbouw bepaalt hoe diep en met welke drainafstand de drainage moet worden aangelegd. De bodemweestand bepaalt welke drainafstand wordt aangehouden. De variatie in hoogteligging van het maaiveld bepaalt hoeveel regelputten er moeten komen, enzovoort.
 - Bij aanleg van (S)RD kunnen kavelsloten worden gedempt als deze niet nodig zijn voor waterbergingsdoeleinden (vooral West Nederland) en geen functie hebben in de afvoer van water uit bovenstrooms gelegen percelen. Bij het dempen van sloten vermindert de kans op oppervlakkige afspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater onder (zeer) natte omstandigheden.
 - Resultaten van praktijkproeven, gericht op het vaststellen dan wel aantonen van effecten van de inrichting en/of het beheer van buisdrainage op het waterbeheer op perceelniveau en de uitspoeling van nutriënten met drainagewater, worden sterk beïnvloed door de bodemopbouw, kwel en wegzijging vanuit dan wel naar de omgeving en het gegeven dat drainagewater bestaat uit een mengsel van water met sterk uiteenlopende ouderdom. Deze complexe werkelijkheid bemoeilijkt de interpretatie van de uitkomsten van deze experimenten.

stowa

STICHTING
TOEGEPAST ONDERZOEK WATERBEHEER

stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 033 460 32 00 FAX 033 460 32 01
Stationsplein 89 3818 LE AMERSFOORT
POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

