

Duurzaam waterbeheer op agrarische bedrijven: Flexibel peilbeheer, drainage- en subinfiltratiesystemen & hergebruik drain- en afvalwater

✓ 333 / P. 324



BIBLIOTHEEK
PPO sector AGV
Postbus 430
8200 AK Lelystad
0320 291111

Dr. ir. O.A. Clevering

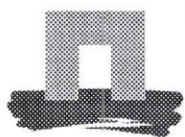


PPO 324



PRAKTIJKONDERZOEK
PLANT & OMGEVING

WAGENINGEN UR



Duurzaam waterbeheer op agrarische bedrijven: Flexibel peilbeheer, drainage- en subinfiltratiesystemen & hergebruik drain- en afvalwater

Dr.ir. O.A. Clevering

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
Business-unit Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroente
Januari 2004

PPO publicatie 324

151 1761852

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS



0000 0968 8280

© 2004 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van LNV/DWK onderzoeksprogramma 417
"Veranderd Waterbeheer"

PPO intern projectnummer: 510306

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Business-unit Akkerbouw, Groene ruimte en Vollegrondsgroente

Adres : Edelhertweg 1
: Postbus 430, 8200 AK Lelystad
Tel. : 0320 - 29 11 11
Fax : 0320 - 23 04 79
E-mail : infoagv.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

Samenvatting.....	5
1 Inleiding.....	7
2 Drainage- en infiltratiesystemen	9
2.1 Inleiding.....	9
2.2 Controlled drainage (CD)	9
2.3 Controlled drainage /subirrigationsystem (CDS)	9
2.4 Waterbeheer met CD en CDS.....	11
2.5 Werking van drains onder water	12
2.6 Subsurface dripirrigation (SDI).....	13
3 Water- en nutriëntenconservering met CD en CDS	15
3.1 Algemeen	15
3.2 Proefresultaten.....	16
3.3 Hergebruik van drainwater	19
3.3.1 Waterreservoirs	19
3.3.2 Zuiveringsmoerassen	20
3.4 Projecten met peilverhoging en subinfiltratie in Nederland	21
3.4.1 Fean-Wetter-Buorkje	21
3.4.2 Boer en Water	21
3.4.3 Watermanagement in het Benelux Middengebied (Interreg).....	22
3.4.4 Waterconservering 2 ^e Generatie (Interreg).....	22
4 Infiltratie van afvalwater	23
4.1 Inleiding.....	23
4.2 Voorbeelden	23
4.2.1 Voorbeelden uit Ayers & Westcot (1996)	23
4.2.2 Project effluentboeren.....	24
5 Verzilting en drainage- en infiltratiesystemen	25
5.1 Inleiding.....	25
5.2 Effecten verzilting	25
5.3 Methoden om verzilting tegen te gaan	26
5.3.1 Kwelschermen	26
5.3.2 Verticale drainage.....	26
5.3.3 Opzetten slootpeilen	27
5.3.4 Ondiepe horizontale drainage.....	27
5.3.5 Beregenen en (sub)infiltratie	28
6 Discussie.....	31
7 Conclusies.....	35
8 Referenties	37

Samenvatting

De landbouw is een van de belangrijkste gebruikers van water. In het landelijk gebied is de waterhuishouding dan ook vooral gericht op het optimaliseren van de vochtvoorziening voor de landbouw. In de winter worden neerslagoverschotten snel afgevoerd, in de zomer worden watertekorten aangevuld door te beregenen met grond- of oppervlaktewater. Verziltig in de kustprovincies wordt tegengegaan door watergangen met zoetwater door te spoelen. Het huidige watersysteem leidt echter tot ernstige verdroging van natuurgebieden, daarnaast is het niet toereikend om toekomstige problemen met de watervoorziening het hoofd te bieden.

Uit de onlangs (november 2003) door Alterra en PPO georganiseerde workshop: "Gaaf de landbouw nat?" blijkt dat er bij waterbeheerders grote behoefte is aan gebiedspilots, waarbij het waterbeheer op agrarische bedrijven centraal staat. Door in verschillende stroomgebieden voorbeeldbedrijven in te richten kan de Nederlandse landbouw anticiperen op de verwachte klimaatsveranderingen en daaruit voortvloeiende ingrepen in het watersysteem. Daarbij mogen hydrologische ingrepen niet nadelig uitpakken voor de waterkwaliteit. Bij het ontwikkelen van waterbedrijfssystemen zal, naast eventuele bouwplanwijzigingen, met name gekeken moeten worden naar flexibel peilbeheer en alternatieve vormen van drainage en infiltratie. In dit rapport worden binnen- en buitenlandse ervaringen beschreven.

Vooraf in Noord Amerika is veel onderzoek gedaan naar regelbare drainage (controlled drainage) afgekort als CD, regelbare drainage met subinfiltratie (controlled drainage-subirrigation) afgekort CDS. Deze beide systemen worden vergeleken met conventionele drainage ofwel vrije afwatering, afgekort als DR. Bij CD wordt in hoofddrains of sloten het waterpeil tussen drains en maaiveld geregeld middels stuwen of vlotters. Bij CDS worden neerslagoverschotten opgeslagen in waterreservoirs en vervolgens bij droogte via drains weer in het perceel gebracht. Zowel bij CD als CDS wordt vaak ondieper, maar altijd intensiever gedraineerd. Bij CDS wordt soms een tweedelig systeem aangelegd, met een dieper gelegen afwateringssysteem en een ondieper gelegen infiltratiesysteem. Bij CDS kan water tussentijds gezuiverd worden in zuiveringsmoerassen. Water kan ook via een in de bodem gelegen druppelirrigatiesysteem worden toegediend (subsurface drip irrigation), afgekort SDI. Dit systeem is echter gevoelig voor verstoppingen.

Met CD en CDS worden waterpeilen verhoogd in perioden dat lage waterpeilen voor de bedrijfsvoering niet noodzakelijk zijn. Meestal wordt direct na de voorjaarswerkzaamheden gekozen voor peilverhoging, waarbij indien noodzakelijk peilen voor de oogst worden verlaagd. In droge zomers is het opzetten van peilen alleen vaak niet voldoende voor een goede vochtvoorziening van het gewas. Hier biedt CDS voordelen. In natte zomers wordt soms teveel water vastgehouden, waardoor bij hevige regenval wateroverlastsituaties kunnen optreden. Met CDS kan op mogelijke neerslag geanticipeerd worden door water tijdelijk in een reservoir op te slaan. Peilen kunnen ook gedurende de winter tijdelijk worden opgezet. Op slempgevoelige gronden moet gezorgd worden dat dit niet ten koste van de bodemstructuur gaat.

Bij zowel CD als CDS komen drains gedurende kortere of langere tijd onder water te staan. Daarnaast worden er bij infiltratie en drainage andere eisen aan drains gesteld. Bij het onder water zetten van drains: (i) kunnen verontreinigen in het water tot verstoppingen in drains leiden; (ii) kan neerslag optreden van zwevende substanties en van microbiële omzettingen; en (iii) kan verslemping optreden in zavelgronden. In alle gevallen kunnen er problemen met de doorlatendheid ontstaan. Uit het literatuuroverzicht van Stuyt (1998) blijkt dat problemen in het algemeen sterk meevallen. De grootste problemen worden op zavelgronden verwacht.

Uit literatuuronderzoek blijkt dat met CD en CDS 15-30% minder water wordt afgevoerd dan met DR. Waterconservering leidt i.h.a. ook tot nutriëntenconservering, wel kunnen er verschuivingen in emissieroutes naar grond- en oppervlaktewater en lucht optreden.

In droge zomers zorgen CD en CDS voor een betere vochtvoorziening in de onverzadigde zone van de bodem hetgeen (i) tot een betere benutting van nutriënten door het gewas leidt, waardoor er na de oogst

minder nutriënten in de bodem achterblijven; (ii) ontstaan er in klei minder krimpscheuren, waardoor minder organisch gebonden N en P en landbouwchemicaliën bij een eerste regenbui na droogte via drains uitspoelen en (iii) worden chemicaliën mogelijk beter afgebroken. Onder Nederlandse omstandigheden is er in normale zomers vaak minder N beschikbaar voor het gewas. In natte zomers kan waterconservering, door de geringere waterbergend vermogen van de bodem, tot afspoeling van verontreinigingen leiden.

De hogere grondwaterpeilen bij CD en CDS leiden in het algemeen niet tot hogere nitraatemissies naar het oppervlaktewater. Uit de literatuur blijkt dat vooral denitrificatie, dus emissies naar de lucht, wordt gestimuleerd. Bij denitrificatie ontstaat echter ook het broeikasgas lachgas. Mogelijk kan door teelttechnische ingrepen de verhouding N_2/N_2O worden verhoogd. Hogere grondwaterpeilen leiden vooral in fosfaatverzadigde gronden tot hogere P-emissies naar het oppervlaktewater. Tot slot leiden peilverhogingen tot hogere emissies van chemicaliën naar het oppervlaktewater, vanwege een geringere verblijftijd in de bodem.

Bij CDS kunnen nutriënten opnieuw gebruikt worden. Onderzoek heeft vooral plaatsgevonden naar hergebruik van stikstof. De gewasrespons was niet eenduidig, hetgeen grotendeels samenhangt met het optreden van denitrificatie tijdens opslag. In het algemeen zijn de fosfaatconcentraties in het buitenlandse onderzoek zodanig laag, dat ook hiervan geen effecten op de gewasgroei te verwachten zijn. Hergebruik van agrarisch water zou in principe alleen plaats moeten vinden in perioden van verdampingsoverschot, zodat nutriënten middels capillaire opstijging de wortels bereiken en niet naar het grondwater uitspoelen. Hiervoor is een reservoir noodzakelijk.

In landbouwgrond kan ook effluent van zuiveringsinstallaties nagezuiverd worden, dit omdat bodempassage gunstig is voor de afbraak en vastlegging van verontreinigingen. Hierbij kan ook een subinfiltratiesysteem gebruikt worden, wel moet rekening gehouden worden met mogelijke fytosanitaire problemen. Een andere mogelijkheid is om bij 'veilige' gewassen effluent bovengronds te infiltreren en vervolgens na bodempassage het geïnfiltreerde water via drains op te vangen, en daarna te lozen op het oppervlaktewater. Een dergelijk systeem kan dan als een droge variant, gericht op het vastleggen van fosfaat en afbraak van organische verontreinigingen, van moeraszuiveringssystemen, worden gezien.

In de kustprovincies wordt verzilting tegengegaan door diepe ontwatering van landbouwgronden en het doorspoelen van watergangen met zoetwater. In de toekomst zal door zeespiegelstijging gecombineerd met bodemdaling en een tekort aan zoetwater op een andere manier met verzilting moeten worden omgegaan. Een van de mogelijkheden is om het winterse neerslagoverschot beter vast te houden, door ondieper maar intensiever te draineren. Als echter de zoetwatervoorraad verbruikt is, kan ondieper draineren, vanwege capillaire opstijging, tot meer zoutschade kan leiden. Bij hoogsalderende gewassen is het dan ook zinvol de zoetwatervoorraad aan te vullen middels in reservoirs opgeslagen water. Bij laagsalderende gewassen lijkt het in een dergelijke situatie zinvoller het waterpeil langzaam te laten zakken en het zoute water via dieper gelegen drains af te voeren.

In de toekomst zullen steeds hoge eisen aan het watergebruik van agrariërs worden gesteld. Het verbeteren van het waterbeheer op landbouwbedrijven middels het gebruik van alternatieve drainagesystemen al dan niet in combinatie met hergebruik van water resulteert niet alleen in waterconservering, maar kan ook tot verminderde emissies van verontreinigingen naar het grond- en oppervlaktewater leiden. Bij het verminderen van emissies naar het oppervlaktewater kunnen maatregelen in sloten en (moeras)zuiveringssystemen zorgdragen voor verminderde afwenteling naar de grotere oppervlaktewateren.

In Nederland wordt momenteel een aantal projecten uitgevoerd met regelbare drainage en subinfiltratie. Deze systemen zijn niet optimaal ingericht om alle vragen op het gebied van integraal waterbeheer op agrarische bedrijven te beantwoorden. In verschillende regio's zouden dan ook voorbeeldbedrijven ingericht moeten worden, waarbij technische innovaties op het gebied van waterbeheer, weersvoorspellingen en agrarische bedrijfsvoering zijn geïntegreerd.

1 Inleiding

De landbouw is een van de belangrijkste gebruikers van water. In het landelijk gebied is de waterhuishouding dan ook vooral gericht op het optimaliseren van de vochtvoorziening voor de landbouw. De ontwateringcriteria (droogleggingswens) voor de landbouw zijn geformuleerd in een tijd dat er in het landelijk gebied nog geen sprake was van verdroging en verweving van functies (Stuyt, 1998). Deze criteria zijn dan ook vooral gebaseerd op het zo snel mogelijk afvoeren van neerslagoverschotten om schade door wateroverlast te vermijden. Watertekorten in het zomerseizoen worden zoveel mogelijk aangevuld door te beregenen met grond- of oppervlaktewater. Beregenen uit grondwater heeft echter geleid tot ernstige verdroging van waterafhankelijk natuurgebieden. Om verzilting te voorkomen is in laaggelegen polders langs de kust de aanvoer van zoetwater nodig om het watersysteem door te spoelen. Zowel voor beregenen als doorspoelen wordt water uit de grote rivieren en/of het IJsselmeer gebruikt.

Het watersysteem voldoet niet meer aan de eisen die in de toekomst daaraan worden gesteld. Dit is te zien aan de (recente) perioden van grote wateroverlast en droogte, de tekortschietende kwaliteit van grond- en oppervlaktewater en de aantasting van grondwatervoorraden. Bovendien is de waterhuishoudkundige inrichting niet berekend op de te verwachten klimaatsveranderingen.

Om anders om te gaan met water wordt momenteel zowel landelijk als EU-beleid ontwikkeld en geïmplementeerd. Dit beleid is onder meer beschreven in de Vos e.a. (2003). In het kort komt dit erop neer dat hydrologische ingrepen moeten leiden tot het vasthouden van water in (stroom)gebieden en tot piekberging van neerslagoverschotten op landbouwgronden (WB21 en vervolgsbeleidsnotities). Daarnaast zullen forse ingrepen noodzakelijk zijn om emissies uit landbouwgronden naar het oppervlaktewater te verminderen (EU Kaderrichtlijn Water). Een van de grootste uitdagingen is om tot integraal waterbeheer te komen, waarbij hydrologische ingrepen (WB21) niet ten koste gaan van de waterkwaliteit (KRW). Afwenteling dient dus te worden voorkomen (zie ook van Beek e.a., 2003).

Voor de landbouw heeft het veranderd waterbeleid verstrekende gevolgen. Voor optimale agrarische bedrijfsvoering zal in de toekomst adequate aan- en afvoer van water minder goed mogelijk zijn. Er zal dus niet altijd aan de gewenste drooglegging kunnen worden voldaan. In het uiterste geval kan dit betekenen dat bepaalde teelten vanwege droogte of wateroverlast niet meer mogelijk zijn. Daarnaast zal de realisering van de KRW er toe leiden dat binnen stroomgebieden maatregelenpakketten worden opgesteld, die o.a. tot doel hebben emissies uit landbouwgronden te verminderen. Als meest vergaande doel kan worden gesteld dat de landbouw de kwaliteit van het oppervlaktewater (binnen een bepaalde bandbreedte) niet mag verslechteren.

Uit de onlangs (november 2003) door Alterra en PPO georganiseerde workshop: Gaat de landbouw nat? blijkt dat erbij de waterbeheerders behoefte aan stroomgebiedspilots bestaat waarbij het waterbeheer op agrarische bedrijven centraal staat. Door in verschillende stroomgebieden waterbedrijfssystemen te ontwikkelen kan de Nederlandse landbouw anticiperen op de verwachte klimaatsveranderingen en daaruit voortvloeiende ingrepen in het watersysteem. Door een integrale aanpak wordt zorggedragen dat hydrologische ingrepen niet nadelig uitpakken voor de waterkwaliteit. Bij het ontwikkelen van waterbedrijfssystemen geldt als belangrijke randvoorwaarde dat de agrarische bedrijfsvoering ook in de toekomst rendabel blijft.

Bij het ontwikkelen van waterbedrijfssystemen zal vooral kritisch gekeken moeten worden naar het ontwerp van het afwateringssysteem en mogelijkheden om water op agrarische bedrijven beter te benutten, zonder dat dit ten koste gaat van de waterkwaliteit. In dit rapport worden binnen- en buitenlandse ervaringen beschreven met alternatieve vormen van watergebruik. Hierbij staan de volgende vragen centraal:

- In hoeverre kan de agrarische bedrijfsvoering middels peilbeheer en innovatieve drainage-subinfiltratiesystemen inspelen op veranderingen in het watersysteem? Kunnen middels deze systemen water en nutriënten geconserveerd en gerecicleerd worden?
- Is het mogelijk effluent van zuiveringsinstallaties in landbouwgrond te infiltreren?

2 Drainage- en infiltratiesystemen

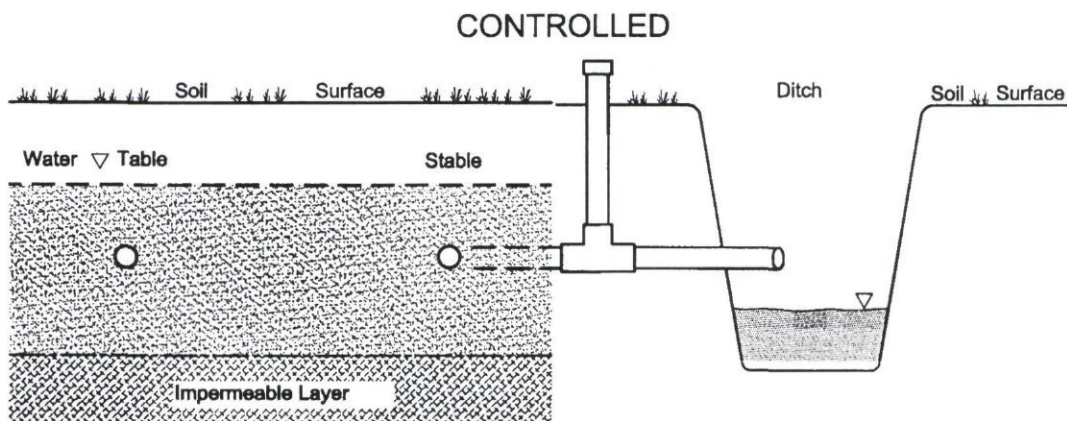
2.1 Inleiding

In Noord-Amerika is de afgelopen decennia uitgebreid onderzoek gedaan naar de voor- en nadelen van drainage. In Noord-Amerika, net zoals in Nederland, heeft drainage gezorgd voor (i) verminderde wateroverlast, (ii) verhoogde beluchting; (iii) verminderde bodemverdichting bij gebruik van zware machines en (iv) verlenging van het groeiseizoen. Buisdrainage heeft geleid tot minder oppervlakkige afspoeling (erosie), maar meer uitspoeling van water en verontreinigingen naar het oppervlaktewatersysteem.

Vooral in het zuidoosten van de VS wordt de laatste jaren steeds meer gebruikgemaakt van regelbare drainage of gecombineerde drainage-infiltratiesystemen. Met deze systemen wordt het grondwaterpeil gekoppeld aan het slootwaterpeil. Bij deskundig gebruik kan met deze systemen niet alleen water, maar ook nutriënten worden geconserveerd (Hfst 3).

2.2 Controlled drainage (CD)

Regelbare drainage (CD) houdt in dat water vastgehouden kan worden door tijdelijk de drainafvoer te verminderen, terwijl er geen extra water wordt ingelaten (Figuur 1). Hierbij komen de eindbuizen onder water te staan. Nadeel van het onderwater zetten van drainbuizen is dat de voor drainage beschikbare drukhoogte van drains afneemt. Bij CD-systemen is dus een hogere draindichtheid nodig dan wanneer drains boven het wateroppervlak afwateren. Het waterniveau tussen maaiveld en drains wordt geregeld met stuwen of vlotters (Evans & Skaggs, 1996 op www.bae.ncsu.edu/programs/extension/evans/ag356.html).



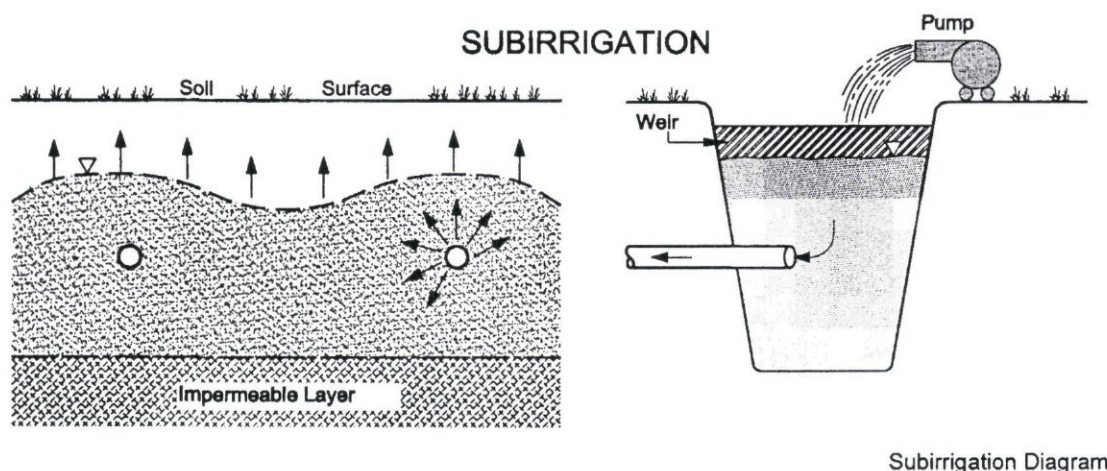
Controlled Drainage Diagram

Figuur 1. Regelbare drainage. (Overgenomen van Drainage Factsheet of British Columbia, Ministry of Agriculture and Food).

2.3 Controlled drainage /subirrigationsysteem (CDS)

Met een regelbare drainage/subinfiltratiesysteem (CDS) kan water via een hoofddrainstelsysteem of sloot zowel af- als aangevoerd worden. Door middel van een stuw of overstort kan het systeem of in een regelbare drainage- of subinfiltratiestand functioneren (Figuur 2). Subinfiltratie houdt in dat gedurende droge perioden water ingelaten wordt in het systeem. Water wordt dan van elders aangevoerd en in het slootsysteem gepompt. Met subinfiltratie kan een vast of fluctuerend grondwaterpeil worden gecreëerd. Buiten het

groeiseizoen zal vooral water worden afgevoerd. Gedurende het groeiseizoen zal het systeem een aantal keren wisselen tussen vrije afwatering, gecontroleerde afvoer en subinfiltratie (Evans & Skaggs, 1996 op www.bae.ncsu.edu/programs/extension/evans/ag356.html).



Figuur 2. **Subinfiltratie.** (Overgenomen van Drainage Factsheet of British Columbia, Ministry of Agriculture and Food).

Bij CDS wordt onderscheid gemaakt tussen dual purpose systems (enkelvoudige systemen waarbij infiltratie en drainage via dezelfde buizen plaatsvindt) en dual layer systems (tweedelige systemen waarbij drainage en infiltratie via verschillende buizen plaatsvindt). Bij tweedelige systemen liggen de afvoerbuizen dieper in de bodem dan de infiltratiebuizen. In het algemeen wordt een tweedelig systeem aanbevolen. Nadeel van enkelvoudige systemen zijn: (i) verstopping van drains door sedimentatie ten gevolge van veranderingen in stroomrichting bij drainage en infiltratie (ii) het niet tegelijkertijd uit kunnen voeren van drainage en infiltratie t.b.v. een optimale herverdeling van nutriënten in de wortelzone en (iii) het verlies aan nutriënten en water als het systeem omgezet wordt van drainage naar infiltratie en visa versa (Melvin & Kanwar, 1995)

Bij de aanleg van een CDS-systeem moet rekening gehouden worden met de te telen gewassen, bodemeigenschappen zoals watervasthoudend vermogen, capillaire opstijging, doorlatendheid en de aanwezigheid van verschillende bodemlagen, en gewasverdamping. Daarnaast is de neerslagverdeling over het jaar van belang. De voor subinfiltratie vereiste drainafstand is afhankelijk van de doorlatendheid van de bodem en is altijd kleiner dan nodig voor drainage (Skaggs, 1981 geciteerd in Stuyt, 1998). Bij een nieuw aan te leggen CDS-systeem worden drains dan ook vaak ondieper en dichter bij elkaar gelegd dan bij conventionele drainage. Het regelsysteem moet vervolgens zo aangelegd worden dat er voldoende mogelijkheden zijn voor piekafvoer. Bij systemen die oorspronkelijk alleen bedoeld zijn voor afwatering worden vaak extra drains tussen de oude buizen gelegd. Deze systemen werken vaak slechter dan nieuw aangelegde systemen.

Een subinfiltratiesysteem werkt het beste als de bodem onder de drains weinig doorlatend is, zodat er weinig wegzijging optreedt. Als de laterale wegzijging hoog is, kan veel water langs de perceelsranden verdwijnen. Op kleigrond kan de laterale doorlatendheid beperkend zijn voor het goed functioneren van subinfiltratiesystemen. Ook kunnen er bij subinfiltratie problemen met de bodemstructuur ontstaan (Evans & Skaggs, 1987). Het langdurig handhaven van hoge waterpeilen tot structuurschade leiden. Hierbij neemt het aantal macroporiën af, maar het aantal microporiën toe. Ook de hoeveelheid lucht in de bodem neemt af (van Hoorn, 1958). Een CDS-systeem werkt in het algemeen goed op fijnzandige gronden.

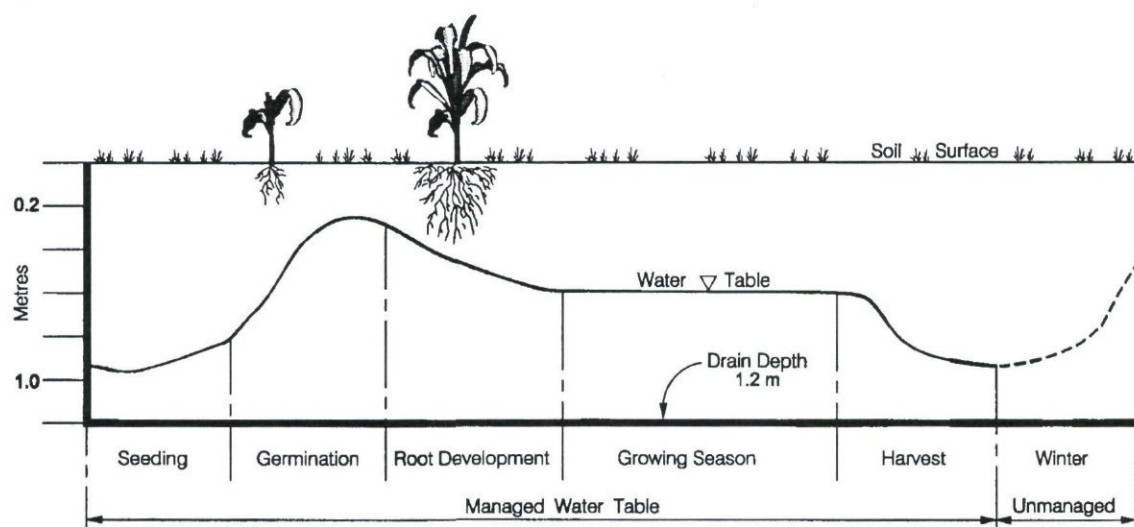
Het installeren van een drainage-subinfiltratiesysteem is goedkoper dan alleen een drainagesysteem gecombineerd met een beregeningsinstallatie (Brown, e.a op www.ag.ohio.state.edu/~mseawtm.html).

Voordeel van subinfiltratie boven beregenen is dat het bladoppervlak niet nat wordt, hetgeen ten goede komt aan de kwaliteit. Ook zijn vaak minder landbouwchemicaliën nodig (Melvin & Kanwar, 1995). Nadeel kan zijn dat de vochtverdeling in de bodem minder homogeen is en dat de bovenste bodemlaag minder vochtig wordt dan bij beregenen.

2.4 Waterbeheer met CD en CDS

Vaak is het afvoeren van een wateroverschot belangrijker dan wateraanvoer gedurende droge perioden. In relatief natte gebieden werkt het systeem dan ook vooral als drainagesysteem. Gedurende een groot deel van de winter kan door regelbare drainage water vastgehouden worden, waardoor er minder nitraat uitspoelt (Hfst 3). In het vroege voorjaar zal vrije afwatering vaak nodig zijn i.v.m. met de eisen die gesteld worden aan de drooglegging voor de voorjaarswerkzaamheden. Belangrijke vragen zijn dus: (i) wanneer moet het peil verlaagd of verhoogd worden; (ii) op welk niveau moet het peil gehandhaafd worden en (iii) wanneer moet water worden aangevoerd?

Het vasthouden van water is meest kritisch wanneer er geen wateraanvoer mogelijk is. Wanneer droogte verwacht wordt, zal de stuwhoogte direct na planten verhoogd moeten worden. Daarbij mag het peil niet te hoog opgezet worden. Te hoge peilen kunnen tot ondiepe beworteling leiden, waardoor het gewas later in het groeiseizoen meer droogtestress kan krijgen (Figuur 3). Hoge peilen in het voorjaar kunnen ook leiden tot verhoogde denitrificatie en vervolgens een tekort aan N voor de gewasgroei. Indien het systeem gedurende natte perioden te weinig afvoercapaciteit heeft, heeft regelbare drainage vooral voordeel als kleine regenbuien (< 25 mm) worden afgewisseld worden met korte perioden van droogte. In natte jaren kan dan natschade optreden. In normale zomers zal bij voldoende afvoer in natte perioden het systeem grote voordelen bieden. In droge zomers zal echter extra water aangevoerd moeten worden (Evans & Skaggs, 1987; Evans e.a., 1989).



Managing the Water table depth for plant development
Note: appropriate depths for specific crops should be calculated.

Figuur 3. Voorbeeld van waterbeheer gedurende het groeiseizoen (Overgenomen van Drainage Factsheet of British Columbia, Ministry of Agriculture and Food).

Het vasthouden van water vroeg in het groeiseizoen is minder belangrijk als water aangevoerd kan worden via subinfiltratie. Belangrijk daarbij is of de stuwhoogte flexibel ingesteld kan worden. Bij droogte moet niet te laat met subinfiltratie worden begonnen. Als de grond te droog is, neemt ook de doorlatendheid af en moet veel meer water aangevoerd worden dan onder minder droge omstandigheden. Om goed te kunnen

anticiperen kunnen weergegevens van voorgaande jaren van belang zijn. Bij subinfiltratie kan gekozen worden voor een systeem met vaste of fluctuerende waterpeilen. Het beste is een flexibel systeem te gebruiken waarbij het grondwaterpeil binnen bepaalde marges mag fluctueren. Dit systeem heeft meer potentie als het gaat om het verhogen van het waterbergend vermogen vlak voordat veel regenval wordt verwacht (Evans & Skaggs, 1987; Evans e.a., 1989).

In de eerste jaren dient het verloop van de grondwaterstand middels het plaatsen van peilbuizen gevolgd te worden. Automatische systemen om het waterpeil te regelen worden aanbevolen. Met deze systemen kan ook geanticipeerd worden op piekafvoeren.

2.5 Werking van drains onder water

Bij CD en CDS komen drains gedurende kortere of langere tijd onder water te staan. Het langdurig onder water staan van drainage kan een nadelige invloed hebben op de mechanische en de hydraulische eigenschappen van de grond nabij de drains. De structuur van de grond kan verslechteren (verslumping) en er kan biologische verstopping optreden. Door Stuyt (1998) werd literatuuronderzoek verricht naar ervaringen met het onder water zetten van drains (Tabel 1).

Tabel 1. **Ervaringen met het onder water zetten van drains (Uit Stuyt, 1998).**

Project	Grondsoort	Verstopping in drain	Type omhulling of bedekking	Afname van doorlatendheid grond rond de drain
Infiltratie bloembollen	duinzand	ja	cocos	nee
Bodemprofiel Nieuw-Beerta	zware klei			ja
Onderzoek U.S. Salinity Lab	verschillend			ja (door org. stof)
De waternoodsramp van 1953	zavel/klei	nee		nee
Subinfiltratie Noordoostpolder	grofzandig	nee	heide en stro of turfmolm	ja (bij turfmolm)
Proefveld P103 te Ens (NO-polder)	zand/zavel		turfmolm	ja
Infiltratie proefveld 'Vredepeel'	fijn zand	ja	turfmolm of grind	onduidelijk
Doorlatendheid sleuven O-Flevoland	zware zavel		vulling zware zavel	ja
-Sleuven Kavel R18			bedekking heide	
-Sleuven Kavel B70				
-Drains Kavel G25			glasvlies – turfmolm	
Drains onder water in Drenthe	zand en veen	nee		nee
Onderzoek poreuze subinfiltratiepijp				
Doorlatendheid sleuven Lauwersmeer	middelfijn kleiarm zand			ja
Infiltratie via drains in kassen		nee		nee
Infiltratieproefveld 'de Groeve'	veengrond en moerige grond	ja	polystyreenkorrels in draka-folie	nee
Subinfiltratie op veengrond, Engeland	veen op vrij zware grond		grind	ijzerverstoppingen
Drainage/infiltratiesysteem USA	lemig en goeddoorlatend iets zwaardere grond	nee		nee
				ja
Infiltratie NW Oostelijk Flevoland	vrij licht	nee	turfmol	ja (ijzerneerslag)
Buisdrainage komgrond Tielerwaard	zeer zwaar			nee
Onderzoek drainsleuven D.C.G.	vrij grofzandig zavel		cocos	nee
				onduidelijk
Infiltratie-praktijkproef Kapelle		ja (verticaal filter)		
Drainage/infiltratie Valtermond		onduidelijk	verschillend	onduidelijk
Subinfiltratie pindas USA		nee		nee
Vochtleverantie subinfiltratie Georgia	zandig	nee		nee

Vervolg tabel 1.

Proeven subinfiltratie Quebec		ja	polyester kous	nee
Proeven 'Staverense Noordermeer'	drechtvaaggrond met ijzerrijk en zoute kwel	onduidelijk	polystyreenkorrels in net het beste; cocos het slechtst	nee
Proefgebied 'de Veenkampen'	veen- en vaaggronden	nee	cocus?	nee
Proeven subinfiltratie New York				onduidelijk
Proeven subinfiltratie British Columbia	lichte klei			ja
Proeven subinfiltratie Cambridge (UK)	veen met klei en leem			ja (ijzerneerslag)
Subinfiltratie North Carolina (USA)				ja
Waterschap 'De Drie Ambachten'	zand en lichte zavel	nee	cocos	nee
Diepveenweidegebied Oud-Kamerik	veen	nee		nee
Rundveeoproefbedrijf 'Cranendonk'	zand	nee		nee

Door Stuyt (1998) werden de navolgende conclusies getrokken:

1. Het permanent onder water staan van drains op stabiele zandgronden heeft in principe geen nadelige uitwerking op de doorlatendheid van de grond rondom drains.
2. Het permanent onder water staan van drains op zware kleigronden hoeft geen nadelige uitwerking op de doorlatendheid van de grond rondom de drains te hebben. Staan de drains niet langer dan enkele maanden achtereenvolgend onder water dan lijkt het risico gering. Worden de drains jarenlang permanent onder water gezet dan is een grote doorlatendheid op de lange termijn echter niet vanzelfsprekend.
3. Het permanent onder water staan van drains op slempgevoelige gronden heeft in het verleden minder vaak tot problemen met de doorlatendheid geleid dan algemeen werd verondersteld. Als er sprake is van verslechtering van de doorlatendheid, kan dat ook worden veroorzaakt doordat de grond rondom de drain tijdens het onderlopen van de drainage nog niet gestabiliseerd was. Ook kan neerslag van zwevende substanties uit het infiltrerende water in de grond een rol spelen. Afvalstoffen van micro-organismen kunnen een nadelige invloed hebben op de doorlatendheid van grond rondom de drains die, in mechanische zin, goed gestabiliseerd is.
4. Het onder water lopen van drainage brengt minder risico's met zich mee dan algemeen wordt aangenomen.

2.6 Subsurface dripirrigation (SDI)

Met SDI wordt water middels druppelaars ondergronds toegediend (Camp, e.a. 2000). Met SDI kan veel water geconserveerd worden, en kunnen water, nutriënten en chemicaliën nauwkeurig geplaatst worden. SDI-systemen worden tussen 2 tot 70 cm diep in de bodem gelegd. Voor gebruik over meerdere jaren moet het systeem diep genoeg aangelegd worden om schade bij grondbewerking te voorkomen, maar ondiep genoeg om voldoende water in de wortelzone van gewassen te krijgen. De systemen werken het beste bij bedden- en rijenteelt. Water en nutriënten kunnen daarbij continu of in pulsen toegediend worden. In Amerika wordt het systeem o.a. gebruikt voor groenten (sla, broccoli, aardappel, kool en uien). Bij hoogsalderende gewassen worden de leidingen op kleinere afstand gelegd. Op grof zand worden de leidingen vaak ondieper aangelegd dan op zavel. Nadeel van ondergronds systemen is dat ze minder geschikt zijn om het zaaibed te bevochtigen. Hiervoor kan beter een beregeningsinstallatie worden gebruikt.

In de USA neemt de interesse voor SDI de laatste jaren snel toe (Camp, e.a. 2000). Dit vanwege de verminderde zoetwatervoorraden en met beregenen samenhangende milieuproblemen. Jarenlang was de ontwikkeling vooral gefocust op bovengrondse druppelirrigatie, vanwege het optreden van verstopping in druppelaars en wortelgroei in de ondergrondse systemen. Om verstoppingen en lucht te kunnen verwijderen moeten SDI-systemen robuust zijn en worden de hoofdleidingen vaak dieper dan de zijleidingen gelegd. Ook dient het systeem regelmatig doorgespoeld te worden. Om wortelgroei in de leidingen te voorkomen worden vaak chemicaliën (herbiciden, fosforzuur en actief chloor) toegevoegd. Ook worden er hoge eisen aan de waterkwaliteit gesteld. Bij (her)gebruik van agrarisch water of afvalwater dient dit zeer goed gefilterd

te worden. Bij goed onderhoud kunnen SDI-systemen tot 20 jaar in gebruik blijven.

Ten opzichte van bovengrondse druppelirrigatiesystemen worden vaak mindere problemen met verzilting aangetroffen. Bij beddenteelt zijn de problemen in aride gebieden vaak minder groot als de leidingen onder de greppels gelegd worden.

3 Water- en nutriëntenconservering met CD en CDS

3.1 Algemeen

Drainage heeft in Noord-Amerika een slechte naam. Algemeen heerst de opvatting dat drainage eutrofiëring van het oppervlaktewater in de hand werkt. Dit is in feite aanleiding geweest om met aangepaste drainagesystemen de belasting van het milieu zo minimaal mogelijk te houden.

Drainage kan ook milieuwinst opleveren. Met drainage ontstaat minder wateroverlast en wordt erosie (oppervlakkige afspoeling) voorkomen. In het algemeen leidt afspoeling tot hogere afvoer van sediment, organisch N, P en landbouwchemicaliën dan drainage. Fosfaat is gevoeliger voor afspoeling dan nitraat, omdat fosfaat zich meer in de bovenste bodemlagen ophoopt. Via drainage wordt weinig sediment afgevoerd, maar vaak wel grote hoeveelheden opgeloste verontreinigingen, waaronder nitraat (zie 3.2). Door drainage wordt de vastlegging van fosfaat verbeterd. Nadeel van drainage is dat eventueel aanwezige bufferstroken omzeild worden (Dils en Heathwaite, 1999). Uitgespoeld fosfaat dient dan op een ander manier uit het oppervlaktewater gehaald te worden (zie 3.3 en van Beek, e.a. 2003).

Stikstof

Het onderzoek naar toepassingsmogelijkheden van CD en CDI is vooral gericht op het verminderen van emissies van nitraat naar het oppervlaktewater. Water vasthouden buiten het groeiseizoen heeft als voordeel dat (i) nitraat langer in de bodem blijft, zodat dit later door het gewas kan worden opgenomen, (ii) de vochtgehalten hoger blijven, zodat het nitrificatieproces wordt afgeremd en (iii) er denitrificatie plaatsvindt, voordat uitspoeling naar het grondwater optreedt. Water vasthouden gedurende het groeiseizoen leidt in perioden van droogte tot (i) een hogere mineralisatie en (ii) hogere N-opname door het gewas. In normale, dus vrij natte, Nederlandse zomers leidt peilverhoging vaak tot een lagere N-beschikbaarheid voor het gewas (zie 3.2).

Op het ogenblik is er discussie in hoeverre het stimuleren van het denitrificatieproces voor het milieu wenselijk is, immers naast stikstofgas (N_2) wordt het agressieve broeikasgas lachgas (N_2O) geproduceerd. Denitrificatie vindt onder anaërobe omstandigheden plaats en wordt gestimuleerd door de aanwezigheid van een gemakkelijk afbreekbare C-bron. Overigens kan ook in het nitrificatieproces lachgas ontstaan, indien zuurstof limiterend is (Weier e.a., 1993). Lachgasproductie is vooral hoog bij de aanwezigheid van veel nitraat, lachgas wordt dan niet volledig tot stikstofgas gereduceerd. De verhouding N_2/N_2O is hoger indien er veel gemakkelijk afbreekbaar C aanwezig is (Rolston e.a., 1978) en als het watergehalte van de bodem hoger is (Elmi, e.a. 2002; Weier, e.a. 1993). Door Kliewer & Gilliam (1995) werd overigens geen verband gevonden tussen waterpeil en de verhouding N_2/N_2O . Door Weier e.a. (1993) wordt voorgesteld de N-gift in de tijd meer te spreiden, zodat er minder nitraat aanwezig is. Daarnaast zou het aanbrengen van een gemakkelijk afbreekbare C-bron de hoeveelheid N_2O sterk kunnen reduceren.

Fosfor

De laatste decennia wordt in de USA meer aandacht besteed aan de uitspoeling van fosfaat via drains (Sims, e.a. 1998). Dit omdat ook in Noord-Amerika in stroomgebieden met veel intensieve veehouderij fosfaatverzadigde bodems voorkomen.

In het algemeen is de uitspoeling van fosfaat laag; echter bij piekbelasting (na zware regenval) kan meer dan 1 mg P-totaal L^{-1} uitspoelen bij een drainafvoer van $> 10 L min^{-1}$. Vooral op droge kleigronden kan fosfaat in dierlijke mest en sedimentgebonden fosfaat rechtstreeks via macroporiën en scheuren door drains worden afgevoerd. Bij normale afvoer is vooral orthofosfaat aanwezig (Dils en Heathwaite, 1999). Door verschillende auteurs geciteerd in Dils en Heathwaite (1999) werd gevonden dat het meeste fosfaat in het najaar gedurende de eerste buien naar een droge periode uitspoelt. Uit het literatuuroverzicht van Sims e.a. (1998) komt naar voren dat P-verliezen via drains vooral hoog zijn indien droge en natte perioden elkaar afwisselen.

Met CD en CDI zou te ver uitdrogen van de bodem voorkomen kunnen worden. Anderzijds kunnen peilverhogingen (zeker bij ondiep gelegen drains) er toe leiden dat er meer fosfaat in oplossing gaat (3.2).

3.2 Proefresultaten

Van Evans e.a. (1995) is een overzichtartikel over de werking van CD- en CDS-systemen verschenen. Met deze systemen vindt er minder afvoer van sediment, nutriënten en pesticiden plaats en worden hogere opbrengsten verkregen. Met CD(S) vindt in vergelijking tot DR ca. 30% minder waterafvoer plaats, de N- en P-emissies naar het oppervlaktewater worden gemiddeld genomen met 30 tot 50% gereduceerd. Als water alleen gedurende het zomerseizoen gecontroleerd wordt afgevoerd, levert dit een waterbesparing van ca. 15% op. In droge zomers resulteert CD in een lagere piekafvoer; in natte zomers kan waterconservering met CD en CDS leiden tot verminderde bergingscapaciteit van neerslagpieken en juist tot verhoogde drainafvoer.

Onderzoek North Carolina State University, North Carolina (USA)

Door Skaggs & Gilliam (1981) werd middels simulatie van een rotatie van maïssoja met Drainmod gevonden dat met CD de hoeveelheid nitraat die via drainage uit landbouwpercelen verdwijnt sterk verminderd kan worden (tot ca. 50%). Hierbij wordt wel aangetekend dat op zware gronden het handhaven van hoge winterpeilen tot structuurbederf en latere grondbewerking kan leiden. Ook kan een verminderde nitraatuitspoeling samengaan met een verhoogde uitspoeling van P en pesticiden. Dit laatste omdat door peilverhogingen de verblijftijd van beide korter is. Belangrijk is dat het systeem goed gebruikt wordt, d.w.z. dat waterpeilen goed geregeld worden. Als dit niet het geval is, kan vanwege de hogere draindichtheid (overdimensionering) juist meer nitraat uitspoelen.

Uit onderzoek van Evans e.a. (1989) blijkt dat CD en CDS de totale nitraatafvoer met ca. 30% verminderen ten opzichte van DR. Dit levert een ca. 10 kg N ha⁻¹ lagere nitraatemissie naar het oppervlaktewater op.

Gilliam e.a. (1979) en Skaggs & Breve (1991) vonden dat CD denitrificatie op slecht doorlatende grond stimuleert. CD had weinig effect op de N-concentraties in de kavelsloten, wel was de N-vracht veel lager vanwege lagere waterafvoer.

Onderzoek Ohio State University, Michigan (USA)

Door Belcher (1992) werd op zware klei op een proefveld bij Bannister een N-nitraat reductie van 64% gevonden bij CDS in vergelijking tot DR. CDS had geen effect op de P-concentraties.

Door Brown & Zucker (1998) werd CDS en DR vergeleken bij maïs en soja. Bij het CDS-systeem werd een vast of variabel peil gehanteerd. In 1996 werd een 50% hogere opbrengst verkregen met CDS dan met DR. Nitraatconcentraties in het grondwater (2,94 m –mv) werden met gemiddeld 76% gereduceerd, en sterker bij een constant dan bij een wisselend peil. De N-nitraat concentraties in het voorjaar waren bij maïs resp. 48, 16 en 20 en bij soja 23, 12 en 12 mg L⁻¹ bij DR, CDS met constant en CDS met fluctuerend waterpeil

Onderzoek Purdue University, Indiana (USA)

Door Kladvko e.a. (1999) werd op zware zavel onderzoek gedaan naar de milieukundige gevolgen van verschillende drainafstanden. Pesticiden spoelden voornamelijk uit na stortregens in de eerste maanden na toediening. In bodems met een fijne textuur vindt uitspoeling voornamelijk via preferentie stroombanen plaats. De uitspoeling was groter naarmate de drains dichter bij elkaar liggen.

Door de auteurs wordt als grote nadeel van ondiep draineren gezien dat er i.h.a. meer landbouwchemicaliën uitspoelen. Vaak worden chemicaliën al na de eerste regenbui na toediening in drainwater teruggevonden. I.t.t. chemicaliën spoelt de meest nitraat gedurende het winterseizoen uit (tussen de 14 en 105 kg N ha⁻¹). Vooral na droge zomers is de uitspoeling groot, vanwege de hogere minerale N in de bodem.

Onderzoek Harrow Research Centre, Ontario (Canada)

Door Tan e.a. (1998) werd op lichte zavel na de voorjaarswerkzaamheden CDS vergeleken met DR

(draindiepte 60 cm; drainafstand 7,5 m). Bij CDS werd het grondwaterpeil op ca. 40 cm –mv gehouden. In 1995 werden hogere opbrengsten van tomaten (11%), lagere afvoer van water (38%) en lagere nitraatuitspoeling (ca 37%) gevonden dan bij DR. In maïs werd een opbrengstverhoging tot 64% gevonden. Door de auteurs werd geconcludeerd dat de lagere hoeveelheid uitgespoeld nitraat samenhangt met een verhoogde gewasopname.

Door Drury e.a. (1996) werd CD, CDS en DR in maïs vergeleken. Het onderzoek werd uitgevoerd op zware zavel. Draindiepte en -afstand waren dezelfde als bij Tan e.a. (1998). Stuwten werden één maand voor zaaien en twee tot drie weken voor de oogst verwijderd. Bij CDS werd het slootwaterpeil 30 cm boven de drains gehouden. Het water was afkomstig van een reservoir. Gedurende de winter vond in beide systemen vrije afwatering plaats. In het CDS-systeem was de nitraatconcentratie 25% en de N-vracht 43% lager. Bij het CDS-systeem was de oppervlakkige afspoeling wel iets hoger, maar was niet in verhouding met de lagere uitspoeling via drainage.

Door Gaynor e.a. (2001; 2002) werd hetzelfde systeem gebruikt als door Drury e.a. (1996). Bij DR en CD vond minder afspoeling van herbiciden plaats dan bij CDS. Dit was vooral het geval als direct na toediening veel neerslag valt. Omdat met CDS vooral water wordt geconserveerd blijken de nadelige effecten van verhoogde afspoeling van herbiciden (10%) op te wegen tegen de verminderde afvoer via drains (34%). De uit- en afspoeling van herbiciden in CDS-systemen kunnen mogelijk verlaagd worden als lagere grondwaterpeilen worden gehandhaafd. Bij droogte heeft CDS als voordeel dat de bodem vochtiger wordt gehouden, waardoor herbiciden mogelijk sneller worden afgebroken.

Onderzoek McGill University, Quebec (Canada)

Door Elmi e.a. (2002) werd op zware zavel DR (draindiepte op 100 cm –mv) vergeleken met CDS (draindiepte op 60 cm –mv). CDS verhoogde de opbrengst van maïs in twee van de drie jaren, in het derde jaar trad wateroverlast op. Vooral in een jong stadium is maïs erg gevoelig voor inundatie. CDS verhoogde denitrificatie (2 -37% in het voorjaar en 19-45% in het najaar). De toename van denitrificatie was vooral hoog na toediening van drijfmest.

Onderzoek University Helsinki (Finland)

Door Paasonen-Kivekäs e.a. (1996) werden op zand, leem en/of klei verschillende CD- en CDS-systemen bij granen en een rotatie van haver-aardappel onderzocht. De bodem bij CD bestond uit fijn zand gelegen op een leemlaag. Bij CDS werd zowel een enkelvoudig- als tweedeligstelsel gebruikt. Het peil werd opgezet na de voorjaarswerkzaamheden. Het CD-systeem had als nadeel dat er te weinig wateraanvoer bij droogte is. Alleen het CDS-systeem leidde dan ook tot opbrengstverhoging. Met zowel het CD- als CDS-systeem werd 10-50% meer N met het gewas afgevoerd. Vooral in zeer droge zomers biedt het CDS-systeem voordeel, omdat de N-opname door het gewas onder vochtiger omstandigheden hoger is. Een bijkomend voordeel van waterpeilbeheer is dat bij aardappels minder gewone schurft voorkomt (Ahonen, 1991 geciteerd in Paasonen-Kivekäs e.a. (1996)).

Op alle grondsoorten werd een sterke stijging van het grondwaterpeil gevonden. Alleen op zware klei was het effect minder duidelijk, hetgeen te maken had met (i) de steile helling waarop het perceel laag, (ii) de geringe doorlatendheid van de bodem en (iii) het minder goed functioneren van de oudere drains. Met de drains trad een piekafvoer tot 60 mg N L⁻¹ op, hetgeen tijdelijk leidde tot N-gehalten van 20 mg N L⁻¹ in de kavelsloot. Bij CDS was de N-concentratie van het bodemvocht lager dan bij het CD, hetgeen waarschijnlijk het resultaat was van verdunning.

Onderzoek Brimstone Farm (UK)

Moldrainage wordt soms in bodems met een lage doorlatendheid zoals zware kleigronden toegepast. De bedoeling is om hiermee de interne drainage van deze bodems te verbeteren. Moldrains worden vaak op een diepte van 40 tot 60 cm gelegd met een onderlinge afstand tussen de 1 tot 5 m. De levensduur van moldrains ligt tussen de 5 tot 15 jaar.

Door Harris & Catt (1999) werd onderzoek gedaan naar preferente stroombanen in zware kleigrond. Moldrainage werd op 60 cm diepte met een onderlinge afstand van 2 m aangelegd. De drains bleven 4 jaar intact. Op de percelen werd graan geteeld. Een deel van de buizen werd gevuld met een inert koolstofrijk organisch materiaal. Gedurende de winter werd bij een deel van de drainbuizen de uitstroomopening verhoogd. Vóór de voorjaarswerkzaamheden werden de peilen weer verlaagd.

De effecten op het grondwaterpeil waren zeer plaatselijk. Nitraatuitspoeling werd, waarschijnlijk door verhoogde denitrificatie, met 11-27% gereduceerd. In de eerste tweejaar waren, door lagere waterafvoer, de oplosbare P-concentraties 32-72%, de oplosbare P-vrachten 48-51% en de totale P-vrachten 25-29% lager door peilverhoging. In latere jaren waren er geen verschillen of spoelde er juist meer P uit. Als verklaring wordt gegeven dat in de eerste jaren na peilverhoging, door de hogere verblijftijd, adsorptie van fosfaat aan bodemdeeltjes toeneemt en minder uitspoeling van organisch gebonden P optreedt. Deze P komt in latere jaren weer in oplossing. Volgens de auteurs zullen drainagemethoden toegepast moeten worden, waarmee de verblijftijd van water in de bodem verlengd wordt.

Onderzoek PPO op proefbedrijf Vredepeel (Nederland)

In 2000 t/m 2003 is door PPO onderzoek gedaan naar de invloed van peilverhogingen op gewasopbrengst, beregenen en nitraat- en fosfaatconcentraties in het grondwater (Alblas e.a., 2003; Clevering, e.a. 2004). Op het proefbedrijf Vredepeel werd CDS met DR vergeleken. In het CDS-systeem werd het slootwaterpeil met een stuw verhoogd. Daarnaast werd een nieuwe drainreeks op 75 cm –mv aangelegd (drainafstand 8 m), boven de bestaande drainreeks op 120 cm –mv (drainafstand 15 m). Op het perceel te Veulen werd CD met DR vergeleken. De drains liggen op 100 cm –mv (drainafstand 8 m). In de winter staat het water net onder de drainopening, in de zomer is het waterpeil bij CD 40 cm hoger en liggen de drains dus onder water. De verschillende peilen werden pas na de voorjaarswerkzaamheden ingesteld.

De grondwaterpeilen zijn bij CD en CDS ca. 30 cm hoger zijn dan bij DR. Bij het hoge peil werd in het algemeen minder beregend dan bij het lage peil. In normale 'vrij natte jaren' zijn de gewasopbrengsten bij N-bemesting onder het landelijk advies lager bij het hoge dan lage peil. Als volgens advies wordt bemest zijn ertussen peilen geen opbrengstverschillen. In het algemeen blijft er bij het hoge peil minder minerale N in de bodem achter. In normale jaren is er bij het lage peil dus meer N beschikbaar voor het gewas. In droge jaren zijn de opbrengsten, vanwege een betere vochtvoorziening, juist hoger bij een hoog dan laag peil (Alblas e.a., 2003; Clevering e.a., 2004). De nitraatgehalten in het ondiepe grondwater zijn bij het hoge peil gedurende de winterperiode lager, maar die van fosfaat hoger dan bij het lage peil.

Het onderzoek van Alblas e.a. (2003) wordt momenteel voortgezet als een samenwerkingsproject van Alterra en PPO (de Vos, e.a. 2003). In dit project worden ook de N- en P-emissies via drains naar het oppervlaktewater bepaald. Dit maakt het mogelijk om nagenoeg volledige N- en P-balansen op te stellen voor de verschillende grondwaterpeilen.

De resultaten van de verschillende onderzoeksgroepen zijn samengevat in Tabel 2.

Tabel 2. **Samenvatting resultaten CD en CDS afgemeten tegen vrije ontwatering (DR).**

Auteur	Grondsoort	Gewas	Systeem	Resultaat
<i>Overzichtsartikel</i>				
Evans e.a. (1995)	n.v.t.	n.v.t.	CD-CDS	30% minder waterafvoer (jaarrond) 15% minder waterafvoer (alleen groeiseizoen) 30-50% minder N- en P-emissies naar opp. water N- en P-emissies afhankelijk van hoeveelheid neerslag
<i>Onderzoek North Carolina State University, North Carolina (USA)</i>				
Skaggs & Gilliam (1981)	slecht doorlatend	maïs	CD	50% minder nitraatafvoer naar oppervlaktewater hogere nitraatafvoer bij ondeskundig gebruik P en pesticiden emissies mogelijk hoger
Evans e.a. (1989)	idem	idem	idem	30% lager nitraatafvoer naar oppervlaktewater
Gilliam e.a. (1979)	idem	idem	idem	50% minder nitraatafvoer naar opp. water (buiten groeiseizoen) hogere denitrificatie
Skaggs & Breve (1991)	idem	idem	idem	geen effect op N-concentraties oppervlaktewater lagere N-vrachten naar oppervlaktewater
<i>Onderzoek Ohio State University, Michigan (USA)</i>				
Belcher (1992)	zwarte klei		CDS	64% nitraatreductie in grondwater geen effect op P-concentraties
Brown & Zucker (1998)	zwarte klei	maïs; soja	CDS	50% hogere gewasopbrengst 76% nitraatreductie in grondwater

Vervolg tabel 2.

Onderzoek Purdue University, Indiana (USA)

Kladviko e.a. (1999)	zware zavel	maïs	n.v.t.	hogere uitspoeling van pesticiden bij hogere draindichtheid hogere N-uitspoeling bij ondiepe drainage na droogte
----------------------	-------------	------	--------	---

Onderzoek Harrow Research Centre, Ontario (Canada)

Drury e.a. (1996)	zware zavel	maïs	CDS	25% lagere nitraatconcentratie in drains (alleen groeiseizoen) 43% lagere N-vrachten naar opp. water (alleen groeiseizoen)
-------------------	-------------	------	-----	---

Tan e.a. (1998)	lichte zavel	tomaten; maïs	CD-CDS	11% hogere opbrengst tomaat; 64% in maïs 38% lagere waterafvoer (alleen groeiseizoen)
-----------------	--------------	------------------	--------	--

Gaynor e.a. (2001; 2002)	zware zavel	maïs; granen	CD-CDS	37% lagere nitraatuitspoeling (alleen groeiseizoen) 10% hogere afspoeling herbiciden 34% lagere uitspoeling herbiciden
-----------------------------	-------------	-----------------	--------	--

Onderzoek McGill University, Quebec (Canada)

Elmi e.a. (2002)	zware zavel	maïs	CDS	hogere opbrengsten (2 jaar); wateroverlast (1 jaar) 2-37% hogere denitrificatie
------------------	-------------	------	-----	--

Onderzoek University Helsinki, Finland

Paasonen e.a. (1996)	zand, leem, klei	granen; aardappel	CD-CDS	10-50% meer N-afvoer met het gewas
----------------------	------------------	----------------------	--------	------------------------------------

Onderzoek Brimstone Farm (UK)

Harris & Catt (1999)	zware klei	granen	CD	11-27% lagere N-vrachten door denitrificatie 48-51% lagere P-vrachten in eerste 2 jaar; daarna gelijk of hoger
----------------------	------------	--------	----	---

Onderzoek PPO Vredepeel (Nederland)

Alblas e.a. (2003); Clevering e.a. (2004)	podzol	diverse gewassen	CD-CDS	minder of niet beregenen lagere N-opname gewas bij suboptimale bemesting normale jaren; gelijk of hoger in droge jaren lagere gewasopbrengsten bij suboptimale bemesting in normale jaren; hogere opbrengsten in droge jaren ca. 20% lagere Nmin najaar normale jaren; hoger in (zeer) droge jaren ca. 50% lagere nitraatgehalten grondwater; ca. 38% hogere fosfaatgehalten
--	--------	---------------------	--------	--

3.3 Hergebruik van drainwater

3.3.1 Waterreservoirs

In Noord Amerika en Finland wordt, zowel uit oogpunt van water- als nutriëntenconservering, onderzoek verricht naar hergebruik van drainwater. Het overtollige water wordt tijdelijk in reservoirs opgeslagen. In het Fins onderzoek wordt het opgevangen water gebruikt voor subinfiltratie bij aardappel (zie 3.2). De nitraatconcentraties in het reservoir waren in het algemeen laag ($< 1 \text{ mg L}^{-1}$). Alleen door extreme regenval in mei-juni 1995 namen de nitraatconcentraties tijdelijk toe tot 20 mg N L^{-1} , waarna ze na enkele weken weer afnamen tot beneden de 1 mg L^{-1} . Gedurende de zomer trad waarschijnlijk denitrificatie op. Gedurende de winter waren er weinig verschillen in nitraatconcentraties tussen de perceelssloot en het reservoir. Vanwege de algemeen lage concentraties betwijfelen de auteurs of hergebruik tot substantiële N-opname door het gewas zal leiden (Paasonen, e.a 1996).

Door Melvin & Kanwar (1995) werd gedurende het groeiseizoen nitraatgehalten van 20 mg L^{-1} in drainwater vonden. Het nitraatgehalte in het reservoir was veel lager ($< 10 \text{ mg L}^{-1}$) met aan het eind van het seizoen een gehalte van 3 mg L^{-1} .

In de San Joaquin Valley (USA) wordt water gerecirculeerd via irrigatiekanalen (jaarlijkse regenval ca. 100 mm). Het water wordt gemengd met regenwater. In de loop van de tijd treedt echter verzilting op, met als gevolg dat zoutintolerante tomaten werden vervangen door gerst en katoen (In Ayers & Westcot, 1994 op www.fao.org/DOCREP/003/T0234E/T0234E09.htm).

3.3.2 Zuiveringsmoerassen

In het overzichtsartikel van Gilliam (1987) wordt aangegeven dat N en P vrij goed in wetlands kunnen worden verwijderd cq. vastgelegd. Uit onderzoek van Reddy (geciteerd door Gilliam 1987) blijkt dat hiermee ca. 91% van het nitraat en 71% van het oplosbare P verwijderd kan worden. Het vastleggen van P lijkt sterk samen te hangen met de hoeveelheid uit- of afgespoelde slib. Naarmate er meer slib aanwezig is, is de efficiëntie van wetlands hoger.

Onder Nederlandse omstandigheden is het mogelijk fosfaat in sloten te verwijderen (zie ook de Ridder, 1996 en van Beek e.a., 2003). Door Toet (2003) wordt echter aangegeven dat bij relatief lage P-concentraties ($< 2 \text{ mg L}^{-1}$) de verblijftijd in sloten gevuld met riet en ondergedoken waterplanten minimaal 15 dagen moet zijn, om tot een substantiële zuivering te komen. Ook als infiltratievelden of wortelzonesystemen gebruikt worden, zal de verblijftijd hoog moeten zijn. Dit betekent een aanzienlijke ruimtelijke claim.

Stroomgebied van Lake Okeechobee

In het stroomgebied van Lake Okeechobee vindt intensieve melkveehouderij plaats. In dit gebied zijn er, net zo als in Nederland, grote problemen met fosfaatverzadigde gronden. Het terrein is geaccidenteerd. Veel afspoeling van fosfaat vindt plaats, doordat dit zich vooral in de bovenste bodemlaag concentreert.

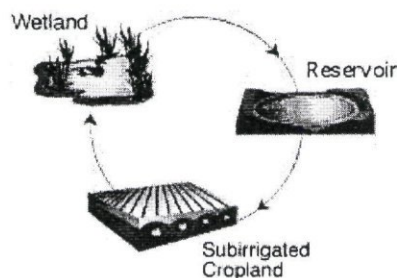
Bij zeer intensieve veehouderij wordt alle drainwater opgevangen in een reeks van anaerobe lagunes. Deze lagunes zijn berekend op een 24-uur durende regenhoos, zodat overstortproblemen worden voorkomen. In de lagunes wordt fosfaat tot 80% biologisch verwijderd, en vastgelegd als polyfosfaten. Actief slib kan mogelijk na ontwatering in andere landbouwgebieden worden afgezet. Het is onduidelijk of de biologische vastleggen van fosfaat alleen een korte termijn effect is. De vastlegging van fosfaat met ijzer wordt als te kostbaar gezien. Ook het vastleggen van fosfaat in planten wordt in deze veehouderijgebieden niet als oplossing gezien. De bedoeling is het water uit de lagunes voor irrigatie te gebruiken. Op deze manier wordt er zo weinig mogelijk bedrijfsvreemd water gebruikt. Verder lijkt er ook een grote hoeveelheid P vastgelegd te worden in waterbodems, voordat het water in het meer gelaten wordt (Bottcher e.a., 1995; Gilliam, 1995).

Wetlandreservoir subinfiltratiesystemen (WRSIS)

Door de staatsuniversiteit van Ohio zijn verschillende wetlandreservoir subinfiltratiesystemen (WRSIS) ontwikkeld (Allred e.a. en Brown, e.a. op www.ag.ohio-state.edu/~msea/WTM.html en Brown & Zucker, 1998 op www.landandwater.com/features/vol44no3/vol44no3_1.html). In deze systemen zijn een wetland en een waterreservoir verbonden met een drainagesysteem, waarmee op verschillende tijdstippen aan- of afvoer van water plaats kan vinden. Water dat in perioden van neerslagoverschot wordt afgevoerd, wordt eerst via het wetland geleid, waar een deel van de nutriënten, pesticiden en sediment verwijderd wordt, vervolgens wordt het water in een reservoir opgeslagen (Figuur 4). Door middel van stuwen wordt het waterpeil in de percelen en in het wetland gereguleerd. De wetlands zijn zo ingericht dat een hoeveelheid van 75 mm af- en uitgespoelde water kan worden opgevangen. In alle drie de demonstratieprojecten bestaat de mogelijkheid om een teveel aan water buiten het systeem af te voeren. In vlakterrein is het nodig het water weer terug naar de percelen te pompen. Om subinfiltratie mogelijk te maken zijn nieuwe drains tussen de bestaande drains gelegd, hetgeen resulteerde in 33 tot 50% hogere draindichtheid. Op zeer zware grond moet de onderlinge afstand van drains dermate laag zijn, dat dit financieel niet haalbaar is.

Als groot voordeel van dit systeem wordt verwacht dat: (i) de gewasopbrengst hoger zal zijn; (ii) een wetlandhabitat kan worden ingericht; (iii) er benedenstrooms verminderde kans op wateroverlast is en (iv) lagere hoeveelheden nutriënten, pesticiden en sediment op de grotere waterlopen worden geloosd. De verwachting is dat ook dat de kosten van het uitbaggeren van het Eriemeer hierdoor naar beneden kunnen gaan.

In droge jaren zijn de gewasopbrengsten aanzienlijk hoger. In natte jaren ontstaat soms enig wateroverlast. Tot nu is het systeem vanuit agrarisch oogpunt nog niet rendabel. In het berekenen van de voordelen van het systeem zullen, naast de agronomische voordelen, ook de verhoging van de natuurwaarde en waterkwaliteit meegenomen moeten worden.



Figuur 4. **Hergebruik van water en nutriënten.**

3.4 Projecten met peilverhoging en subinfiltratie in Nederland

In het verleden is een groot aantal proeven uitgevoerd naar de relatie tussen grondwaterpeil en landbouwkundige productie (zie o.a. Alblas, 2002; de Vos e.a., 2003; Stuyt, 1998). In deze proeven stond het vinden van de optimale ontwateringstoestand voor de landbouwkundige productie centraal.

In Nederland is er de laatste jaren veel belangstelling voor het vasthouden van water in sloten en landbouwpercelen. Hierbij wordt gebruikgemaakt van agrarisch stuwbeheer en soms ook subinfiltratie. In onderstaand overzicht is een aantal recente projecten beschreven. Onderzoek door PPO is in 3.2 beschreven. In Nederland wordt momenteel geen onderzoek verricht naar het optimaliseren van drainagesystemen om waterafvoer en emissies van verontreinigingen naar het oppervlaktewater te verminderen.

3.4.1 Fean-Wetter-Buorkje

Het fean-wetter-buorkjeproject is een project met hogere zomerpeilen in het Friese veenweidegebied. Het is een samenwerkingsproject van de provincie Fryslân, Friese waterschappen en NLTO. Het project wordt begeleid door DLV en CLM (Hoekstra en Bos-Gorter, 2003 op www.friesewaterschappen.nl/sjablonen/1/infotype/webpage/view.asp?objectID). Doelstelling is het verminderen van bodemdaling, waarbij de gevolgen voor de bedrijfsresultaten van de melkveehouderij aanvaardbaar zijn.

Op vijf melkveehouderijbedrijven zijn hogere zomerpeilen (60 cm -mv) ingesteld. Slooppeilen van 80-100 cm -mv zijn gebruikelijk in deze regio. Tussen 2002 – 2004 wordt zowel de effecten op de hydrologie, bodem als bedrijfsvoering onderzocht. Op één bedrijf wordt ook opnieuw gedraineerd op 60 cm -mv met 8 m afstand tussen de drains.

Door de deelnemers werden de volgende nadelen van peilverhoging op de bedrijfsvoering genoemd; (i) het eerder opstallen van vee, (ii) grote kans op vertrapping en (iii) draagkrachtproblemen bij het uitrijden van mest vroeg in het voorjaar. Dit laatste probleem wordt opgelost door mest via sleepslangen aan te voeren, kleinere vrachten uitrijden en lagere bandspanning. Andere nadelen zijn (iv) natte grond en tragere groei van het gewas en (v) meer grond in de kuil. Bijkomend voordeel van peilverhoging is dat sloten minder snel dichtgroeien.

In 2002 hadden ook percelen zonder een verhoogd zomerpeil voldoende opbrengst. Het hoge peil heeft geen problemen veroorzaakt, ook niet tijdens zware buien in augustus. Wel vinden veel deelnemers het een voordeel als naar percelen met een lagere grondwaterpeil uitgeweken kan worden. Een van de deelnemers zou liever ondieper draineren (verwacht dan hogere afvoer dan wanneer de buizen onder water liggen). Ook wordt er aangedacht om ook in de wintermaanden het zomerpeil doorvoeren, zodat er voldoende watervoorraad wordt opgebouwd.

3.4.2 Boer en Water

Het project Boer en Water is een onderdeel van het Masterplan Water voor Texel. Het project is in 2002 gestart. In dit project wordt middels veranderd peilbeheer getracht het zoetwaterbeheer te verbeteren. Problemen op Texel zijn voornamelijk te natte percelen, daarnaast is verzilting een probleem. Door het

plaatsen van stuwen kan het water beter vastgehouden worden. Er wordt geprobeerd het water zo vroeg mogelijk in het seizoen vast te houden, wateroverlast wordt voorkomen door stuwen op tijd naar beneden te zetten (Bos e.a., 2003).

3.4.3 Watermanagement in het Benelux Middengebied (Interreg)

Het project Watermanagement in het Benelux Middengebied is gestart in oktober 1998 en is op 30 maart 2001 afgesloten. Een deel van het project behelsde activiteiten om de neerslag langer vast te houden in plaats van het zo snel mogelijk af te voeren (waterconservering).

In 20 waterconserveringsproefgebieden zijn in totaal 1888 stuwtes geplaatst, waarmee zoveel mogelijk water wordt vastgehouden. Door TNO-NITG (de Louw, e.a. 2000) is waterconservering middels modelberekeningen gekwantificeerd, hierbij zijn eventuele effecten van infiltratie via drainbuizen niet meegenomen. Uit de modelberekeningen komt naar voren dat in januari, maart en september de grootste peilverhogingen worden gerealiseerd. In de maanden februari, maart, september en oktober vaak een lager stuwpeil gehandhaafd wordt, omdat er bewerkingen op het land moeten worden uitgevoerd. Meer dan de helft van de sloten valt in de maanden juni, juli en augustus droog. In de droge zomermaanden kan er voor deze sloten geen peilverhoging worden gerealiseerd. In wateraanvoergebieden is dit vaak wel mogelijk.

Berekend werd dat waterconservering tot ca. 70% minder waterafvoer via sloten en tot ca. 30% reductie van het vochttekort voor het gewas leidt. Nadeel van alleen het verhogen van het slootwaterpeil (bij afwezigheid van drainage) is dat de stijging van de grondwaterpeilen slechts zeer traag verloopt (20-40 dagen) en dat vanaf 60-80 m van de sloot, grondwaterpeilen nauwelijks stijgen.

3.4.4 Waterconservering 2^e Generatie (Interreg)

Dit is een vervolgproject op het project Watermanagement in het Benelux Middengebied. Het doel is door middel van maatregelen neerslag langer vast te houden, zodat deze kan inziigen en wordt toegevoegd aan de grondwatervoorraad. Daarnaast beoogt het project inzicht te krijgen in neveneffecten en maatregelen om neveneffecten te verminderen, namelijk (i) het voorkomen van wateroverlast als stuwen massaal worden opengezet; (ii) de effecten van peilbeheer op de kwaliteit van het oppervlaktewater en ondiepe grondwater, en (iii) het stimuleren van maatregelen ter verbetering van de waterkwaliteit en (iv) invulling geven aan natte Ecologische Verbindingszones (EVZ).

Binnen het kader van dit project is een definitiestudie verschenen over 'drainage nieuwe stijl' (op www.waterconservering.nl). De bedoeling is om verschillende demo's aan te leggen met drainage-infiltratiesystemen, afsluitbare verzameldrainen of verticale eindbuizen en ondiepere maar intensievere drainage met en zonder peilverhoging. Resultaten van het onderzoek zijn nog niet openbaar gemaakt.

4 Infiltratie van afvalwater

4.1 Inleiding

Effluent van afvalwaterzuiveringsinstallaties kan mogelijk als (i) irrigatiewater voor landbouwgewassen worden gebruikt, (ii) ter aanvulling van de bodemvoorraad en (iii) in de bodem nagezuiverd worden alvorens het op het oppervlaktewater wordt geloosd. Voor de eerste twee toepassingen worden er strenge eisen gesteld aan de kwaliteit van het afvalwater. Een goede nazuivering is dan ook gewenst.

De kwaliteitseisen die aan effluent worden gesteld zijn hoger voor verse dan voor bereide groenten en lager voor voeder- en zaadgewassen (Asano en Levine, 1996). Meestal is secundaire zuivering, desinfectie en zandfiltratie van het effluent (tertiaire zuivering) noodzakelijk. Effluent kan via een greppelsysteem of druppelsysteem bovengronds worden toegediend. Voordeel boven beregenen is dat de bovengrondse plantendelen niet in contact komen met het effluent. Subinfiltratie geeft de minste risico, nadeel is dat drains, leidingen en druppelaars verstopt kunnen raken door opgeloste deeltjes of door microbiële groei.

Een andere mogelijkheid is effluent te gebruiken voor aanvulling van het grondwater. Belangrijk is dat de bodem geschikt moet zijn voor infiltratie. Bij bodems die slecht draineren moet zorggedragen worden dat afvalwater frequent met kleine hoeveelheden wordt toegediend (Ozetekin, e.a. 1998). Bij bodempassage wordt ervan uitgegaan dat het overgrote deel van de verontreinigingen en pathogenen in de onverzadigde of verzadigde zone wordt afgebroken. De belangrijkste mechanismen zijn vervluchtiging, chemische en biologische omzettingsprocessen, neerslaan van metalen en sorptie aan het bodemcomplex. De overleving van pathogenen is sterk afhankelijk van infiltratiesnelheden en condities in de waterverzadigde zone. Naast pathogenen kunnen zware metalen in afvalwater een probleem vormen.

Landbouwgrond zou eventueel ook voor optimale zuivering van afvalwater en niet voor optimale gewasproductie ingericht kunnen worden. Na bodempassage zou het effluent opgevangen kunnen worden, via een diep gelegen drainagesysteem, waarna het alsnog op het oppervlaktewater wordt geloosd.

In Nederland is men huiverig dat oppervlaktewaterkwaliteitsproblemen worden afgewenteld op het grondwater. De kwaliteit van effluent is de laatste jaren echter sterk verbeterd. Door Kruijff e.a. (1998) is een perspectievenstudie verricht naar mogelijkheden gezuiverd afvalwater in te zetten voor verdrogingsbestrijding. Uit deze studie, waarbij zowel de aanbod- als vraagzijde werd geanalyseerd, kwam naar voren dat het chloridegehalte voor de vollegrondsgroenteteelt niet voldoende is. Voor akkerbouw en grasland lijkt de kwaliteit wel voldoende te zijn. Effluent kan mogelijk ook ingezet worden om tekorten aan zoetwater in Zeeland aan te vullen. Probleem is dat vraag en aanbod van effluent niet in de pas lopen. Het tijdelijk opslaan van effluent (buffering in reservoirs) lijkt dan ook noodzakelijk.

4.2 Voorbeelden

4.2.1 Voorbeelden uit Ayers & Westcot (1996)

In Braunschweig (Duitsland) wordt ongeveer 3000 ha akkerbouwland met afvalwater beregend. Zowel in de winter als zomer wordt ca. 3x 50 mm water in aardappelen, winter- en zomergranen en suikerbiet toegediend. Er zijn geen problemen met verzilting vanwege het neerslagoverschot. Er werden geen nadelige gevolgen op de groei van de gewassen gevonden, wel hoopt Mn, Co en Cd zich in de bodem op.

In de San Joaquin Valley (USA), met slechts 150 mm jaarlijkse regenval, wordt afvalwater voor irrigatie gebruikt. Het water wordt voorgezuiverd en vervolgens opgeslagen in reservoirs. De te irrigeren grond werd eerst geschikt gemaakt voor landbouw door grote hoeveelheden gips toe te dienen en vervolgens door overmatig te beregenen zout uit te spoelen. In rijst zorgde irrigatie met afvalwater voor problemen met muskieten. Bij gerst, Sudan gras en sorghum traden er geen problemen op. Het afvalwater werd middels een greppel-beddensysteem toegediend. Met het afvalwater werden grote hoeveelheden N aangevoerd, die

een sterke vegetatieve gewasgroei tot gevolg hadden. Dit laatste probleem werd opgelost door later in het groeiseizoen sterk verdund afvalwater te gebruiken.

In de Tuelumme Regional Water District, California (USA) wordt 500 ha gras en voedergewassen beregend met behandeld afvalwater. Het afvalwater kan alleen gebruikt worden voor gras, vezel- en zaadgewassen. Er traden geen problemen met zware metalen op.

In Santa Rosa, California (USA) wordt afvalwater m.b.v. een beregeningsinstallatie toegediend in snijmaïs, Sudan gras, haver en voedergewassen. Overtollig water wordt in een reservoir opgeslagen. Met het effluent wordt tweederde van de benodigde hoeveelheid nutriënten aangevoerd. Er zijn geen problemen met het ophopen van sporenelementen in de bodem. Alleen de B-gehalten stegen aanzienlijk.

4.2.2 Project effluentboeren

In Nederland is begin 90-jaren het project "Effluentboeren" (Binnendijk e.a., 1993) uitgewerkt voor het landgoed De Wiersse in Oost-Gelderland. Het is echter nooit in de praktijk getoetst. Initiatiefnemers waren IKC-NBLF en Tauw Infra Consult bv.. Het idee was om verdroging te bestrijden door vergaand gezuiverd effluent van rioolwaterzuiveringsinstallaties te gebruiken op landbouwbedrijven. Door het effluent in landbouwgronden te infiltreren vindt nazuivering plaats, zodat gemakkelijker voldaan kan worden aan de oppervlaktewaterkwaliteitseisen.

Hydrologie van het gebied

In het verleden werd hooiland bevoeid met slibrijk water. De voorjaarsbevoeiingen duurden 10 dagen. Daarna werd het water langs de percelen geleid worden. Hiertoe werden kaden en bufferruimten in de vorm van broekbossen aangelegd. Probleem bij vloeiweidesystemen is dat het water moet blijven stromen, reliëf is dus noodzakelijk.

Het was de bedoeling het effluent op de hogere gronden te infiltreren, waarna het via de grondwaterstroming naar de lageregelegen delen stroomt. Het uittredende water kan via waterlopen naar een wetland worden geleid om daar langer vastgehouden (gebufferd) te worden.

Wijze van infiltreren

Het vloeiweidesysteem is minder geschikt voor de open teelten. Ook het infiltreren van effluent via beregening uit oppervlaktewater stuit op bezwaren, gezien de geringe waterberging in oppervlaktewater. In de zomer ontstaan piekbehoeften voor beregening, terwijl er in de wintermaanden weerstand tegen beregening zal zijn. Er zijn reservoirs nodig om op deze veranderingen in behoefte in te kunnen spelen.

Infiltratie via drains of sloten lijkt het meeste perspectief te hebben, als bij lage grondwaterstanden het waterpeil in sloten hoog gehouden kan worden. Hiervoor is het noodzakelijk stuwen met instelbare stuwhoogte te plaatsen.

Effluentkwaliteit

Uitgangspunt voor het infiltreren van effluent was dat de streefwaarden voor grondwater en bodem niet overschreden mogen worden. Bij infiltratie in de winterperiode is er, vanwege de lage temperatuur, kans op overschrijden van streefwaarden. Zowel nitrificatie als denitrificatie stoppen bij circa 2 °C. De mate van fosfaatuitspoeling is vooral afhankelijk van het fosfaatbindend vermogen van de grond. In natte gronden kan een deel van het gebonden fosfaat na desorptie vrij snel in het oppervlaktewater terechtkomt. Uit het onderzoek kwam naar voren dat zware metalen in het effluent niet tot een onaanvaardbare ophoping van zware metalen in de bodem leidt.

Als gevolg van het infiltreren van effluent kan de doorlatendheid van de bodem afnemen. Factoren die resulteren in een afname van de doorlatendheid kunnen het gevolg zijn van chemische, biologische en fysische processen. Dichtslibbing van poriën is de belangrijkste oorzaak. In dichtgeslibde bodems kan door het laten uitdrogen van de bodem en grondbewerking de doorlatendheid worden hersteld. De verwachting is dat ziektekiemen grotendeels gedood worden bij infiltratie. Om alle risico te vermijden zou infiltratie een aantal weken voor de oogst gestaakt moeten worden.

5 Verzilting en drainage- en infiltratiesystemen

5.1 Inleiding

In Nederland treedt in de winter een neerslagoverschot op. Hierdoor ontstaat een zoetwaterzak die in dikte kan variëren van enkele meters tot meer dan 10 m. De dikte is afhankelijk van de zoute kwelintensiteit, het al dan niet optreden van slecht doorlatende lagen en terreingolven. Door het, in de zomer optredende, neerslagtekort daalt de grondwaterspiegel en stijgt de zoet/zout-grens totdat weer een evenwicht is bereikt. Onder Nederlandse omstandigheden is de in de winter opgebouwde zoetwatervoorraad in het algemeen groot genoeg om in de zoetwaterbehoefte van de plant te kunnen voorzien. In gebieden met een grote, zoute kwelintensiteit en op droogtegevoelige gronden zal dit echter niet het geval zijn. Zodra de zoetwatervoorraad verbruikt is, kan het zoute water door capillaire opstijging de wortelzone bereiken. De in de wortelzone geaccumuleerde zouten spoelen echter in een winter met een normaal neerslagoverschot weer uit. In Nederland wordt zoute kwel afgevoerd door watergangen met zoetwater door te spoelen. Hiervoor is meer zoetwater nodig dan voor de aanvulling van de vochtvoorraad. Als bij droogte wordt berekend met verzilt (oppervlakte)water, blijven ook de in het beregeningswater opgeloste zouten in de wortelzone achter (Couwenhoven, 1971).

In "Op weg naar een meer natuurlijke Delta" (Expertisecentrum LNV, 2003) worden opties geschetst voor het herstel van zoet-zout overgangen in het Deltagebied. De uitvoering van de hoofdopties kunnen extra verzilting in delen van het Deltagebied tot gevolg hebben, naast de verzilting die optreedt door autonome ontwikkelingen (bodemdaling en zeespiegelstijging). Daarnaast zal minder zoetwater beschikbaar zijn voor doorspoeling. In bovengenoemd rapport wordt aangegeven dat in de toekomst behoefte is aan lagere grondwaterstanden om de invloed van het zoute grondwater op het zoutgehalte in het bodemvocht te verminderen. Daarentegen wil de provincie Zeeland juist verzilting tegengaan door direct na de voorjaarswerkzaamheden slootwaterpeilen te verhogen en ondieper en intensiever te draineren (Waterhuishoudingsplan Provincie Zeeland).

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op voornamelijk buitenlandse ervaringen met drainage- en irrigatiesystemen om verzilting tegen te gaan. Deze ervaringen zijn niet zonder meer door te vertalen naar Nederlandse omstandigheden, vanwege de veelal grote verschillen in verdampingsoverschotten.

5.2 Effecten verzilting

Ten gevolge van het in de zomer optredende verdampingsoverschot zal het zoutgehalte van het bodemvocht gedurende het groeiseizoen stijgen. Een verziltingsprobleem ontstaat als zoutaccumulatie in de wortelzone optreedt. Zouten die bijdragen tot het verziltingsprobleem zijn gemakkelijk oplosbaar en worden met het water getransporteerd. Opbrengstreductie treedt op wanneer een gewas niet meer in staat is genoeg water te onttrekken uit het zoute grondwater. De plantreactie is dezelfde als bij droogte, namelijk verwelking en de vorming van dikkere, wasachtige bladeren. De symptomen zijn erger in jonge dan in oude planten. De meeste gewassen zijn toleranter voor zoutstress in een koel en vochtig klimaat. In natte jaren kunnen tolerante en middelmatig gevoelige gewassen als suikerbieten en aardappelen aanmerkelijk hoger zoutgehalte verdragen dan in droge jaren. Voor gevoelige gewassen als erwten geldt dit niet (Maas & Hoffman, 1983). In kalkrijke bodems blijkt de drempelwaarde voor zoutschade ca 1 tot 3 dS m⁻¹ hoger te liggen dan in weinig kalkrijke bodems (Maas, 1985; Mitchell e.a., 2000).

Zoutwater kan ook de bodemstructuur sterk beïnvloeden, daarbij is zowel de totale zouthoeveelheid van belang als ook de verhouding Na/(Ca+Mg). Bij hoge zouthoeveelheden neemt de infiltratiesnelheid meestal toe, bij een hoog Na-gehalte juist af. Beide processen kunnen tegelijkertijd optreden. Wanneer veel Na in het water aanwezig is, kan vooral in kalkarme bodems verslumping van de bovenste bodemlaag optreden. Door middel van gipstoevoegingen kan de structuur verbeterd worden door uitwisseling met Na. Andere methoden, zoals toevoeging van zavelzuur, verhogen de hoeveelheid in oplossing aanwezige Ca. In de

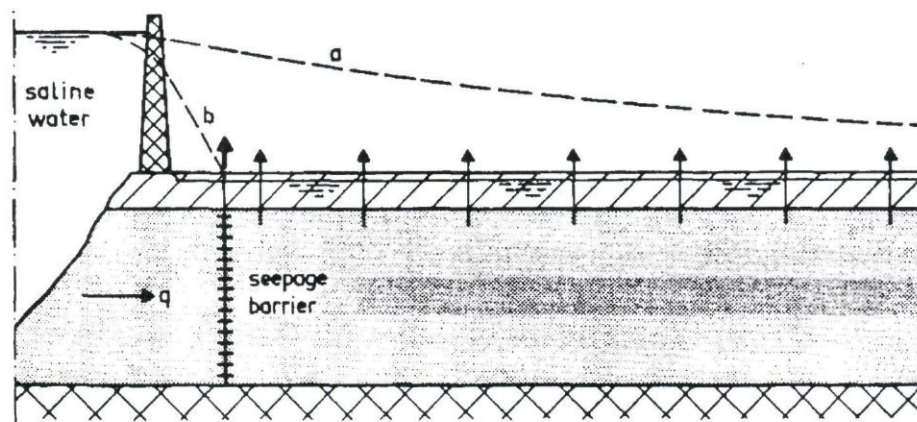
bodem kunnen zich ook toxische ionen zoals Cl, Na en B ophopen, die vervolgens door de plant in overmaat worden opgenomen. Verslamping kan ook tegengegaan worden door grondbewerking en het handhaven van een hoog organisch stofgehalte in de bodem. Slecht afbreekbare resten zoals stro zijn hiervoor het meest geschikt (Mitchell, e.a., 2000).

5.3 Methoden om verzilting tegen te gaan

Om de toenemende verzilting in de kustprovincies een halt te roepen wordt door van Dam (1987) twee mogelijkheden aangegeven: (i) vermindering of beëindiging van brakke en zoute kwel of (ii) vergroten van de voorraad zoet grondwater. In beide gevallen zal via verticale of horizontale drainage, brak en zout water verwijderd moeten worden. Als dit niet gebeurt, zal bij het inlaten van zoetwater ergens anders zoute kwel optreden.

5.3.1 Kwelschermen

Op Schouwen is een proef uitgevoerd waarbij een kwelscherm is geïnstalleerd. De kwelschermen bestond uit een reeks van putten vlak achter de dijk die de slecht doorlatende bovenlagen perforereert en reikt tot in onderliggende goed doorlatende zandpakketten (Maas, 1986; geciteerd in van Dam, 1987). Daarmee worden de oorspronkelijke stijghoogten die tot ver boven het polderpeil reikten, zodanig verlaagd dat de bijbehorende kwel van het zoute grondwater verdwijnt (Figuur 5).



Figuur 5. Kwelscherm met stijghoogteverloop zonder (a) en met (b) kwelscherm. (Overgenomen uit Van Dam, 1987).

5.3.2 Verticale drainage

Met verticale drainage wordt grondwater opgepompt om zoute kwel tegen te gaan. Dit kan zowel in het infiltratiegebied als in het kwelgebied plaatsvinden. Het opgepompte water in een infiltratiegebied kan als dit relatief zoet is, weer elders als beregeningswater worden gebruikt. In kwelgebieden leidt het wegpompen tot een lager waterpeil, neerslag zorgt voor uitspoeling van zoutrestanten.

In een kreekruig bij Kapelle-Biezeling is een infiltratieproef aangelegd, waarbij het als oppervlaktewater afstromende neerslagoverschot met een persput geïnfiltreerd werd. Dit om de zoetwaterlens in de kreekruig weer aan te vullen. Op basis van de proef werd geconcludeerd dat infiltratie met behulp van verticale putten leidt tot extra voorraadvorming van zoetwater door plaatselijke verlaging van de zout/zoutgrens aan de onderkant van de zoetwaterbel. Er werd van uitgegaan dat het rendement midden in de zoetwaterbel ongeveer 50% zal zijn.

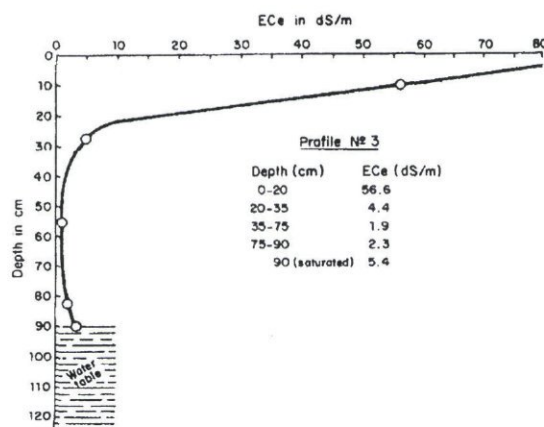
Deze zoetwaterbel kan 's zomers bij droogte gebruikt worden voor de landbouw. Op het moment dat de studie uitgevoerd werd, was het systeem echter niet rendabel (d.w.z. niet concurrerend met leidingwater). Aanbevolen werd om naast het infiltreren van water, zoutwater te onttrekken en de sliblaag in sloten beter te verwijderen (hierdoor verlaagt de intreeweerstand), zodat 's winters meer zoetwater in het gebied vastgehouden wordt (Projectgroep Zoetwateronderzoek, 1986).

5.3.3 Opzetten slootpeilen

Door het Hoogheemraadschap Rijnland wordt samen met KIWA onderzoek gedaan naar de gevolgen van toenemende zoute kwel en verminderde hoeveelheid zoet doorspoelwater voor het beheersgebied van Rijnland. De zoute kwel treedt vooral op in de onder het zeespiegelniveau gelegen polders. Een van de mogelijke oplossingen is het verhogen van waterpeilen in de polders, zodat zoute kwel afneemt. Daarnaast wordt gedacht aan het tijdelijk opslaan van zoetwater in reservoirs. Volgens berekeningen zou kwel deels kunnen worden onderdrukt door waterpeilen 50 cm op te zetten. In een pilotstudie worden peilen opgezet, daarnaast wordt drainage van een aantal percelen aangepast aan de hoge peilen om voldoende ontwatering van de percelen mogelijk te maken (Anonymous, 2003 op www.rijnland.net). Resultaten van het onderzoek zijn nog niet bekend.

5.3.4 Ondiepe horizontale drainage

Met horizontale drainage wordt zoute kwel zoveel mogelijk weggevangen, zodat er geen verzilting in de wortelzone van gewassen optreedt. Het waterpeil wordt vaak op een niveau gehouden dat de capillaire opstijgen gelijk of lager is dan de uitspoeling van zouten door natuurlijke regenval (Figuur 6).



Figuur 6. Verloop van de EC-waarde bij een hoog grondwaterpeil (op www.fao.org/DOCREP/003/T0234E/T0234E03.htm).

Door Christen en Shekan (2001) is in het (semi-)aride gebied van Australië onderzoek gedaan naar de toepassing van ondiepe drainage onder wijngaarden op zware zavel. Doel was verzilting van de grotere watergangen zoveel mogelijk te voorkomen.

Het conventionele drainagesysteem ligt op een diepte van 1,8 tot 2 m met een onderlinge afstand tussen de drains van 20 tot 180 m. Nadeel van dit systeem is dat er een grote afvoer van zout, nutriënten en zware metalen naar het oppervlaktewater optreedt. In het onderzoek werden de diepgelegen drainagebuizen afgesloten op het moment dat irrigatie plaatsvindt of als het waterpeil beneden 1,2 m komt (op deze diepte wordt slechts een capillaire opstijging van 0,1 mm d⁻¹ gevonden). Daarnaast zijn moldrains op 0,7 m diepte (3,65 m afstand) aangelegd. Door het waterpeil bij diepe drainage te regelen werd er 33% minder water en 50% minder zout afgevoerd. Bij gebruik van de moldrains bleef er minder water op het land staan, werd er 78% minder water en 95% minder zout afgevoerd. Gewasgroei werd niet gereduceerd. De lange termijneffecten van beide systemen zijn echter nog niet gepubliceerd.

Door Muirhead e.a. (1996) werd onderzoek gedaan naar de toepassing van ondiepe drainage in geïrrigeerde vertisol in Australië. Vertisols raken snel waterverzadigd, daarnaast kunnen schijngrondwaterstanden en verhoogde grondwaterstanden optreden. Grondbewerking onder natte omstandigheden verdicht en versmeert de grond en verniet de macroporiën.

Normaal liggen drains op een diepte van 1.8 m. Bij deze draindiepte wordt een aanzienlijke hoeveelheid zout afgevoerd. Muirhead e.a. (1996) vonden dat ondiep gelegen moldrains met een hoge draindichtheid het zoutgehalte in de wortelzone beter onder controle hielden en slechts 10% van de hoeveelheid zout

afvoerden dan de dieper gelegen conventionele drains. Ook voor het voorkomen cq. verlagen van een schijngrondwaterstand werkte ondiepe moldrainage (al dan niet met toevoeging van gips) beter. De opbrengst van uien verbeterde slecht in geringe mate, dit omdat nog steeds problemen met bodemverdichting optraden.

5.3.5 Beregenen en (sub)infiltratie

Beregenen met zoetwater

Nadelige effecten van verzilting kunnen alleen tegengegaan worden door zouten uit te spoelen tot beneden de wortelzone. In Nederland, met in de winterperiode een neerslagoverschot, zal in het begin van het groeiseizoen weinig zout opgehoopt zijn. In droge winters kan het nodig zijn te beregenen, zodat extra uitspoeling van zouten plaatsvindt. Omdat uitspoeling beter in een onverzadigde dan verzadigde bodem verloopt, mag niet teveel tegelijkertijd gegeven worden. Zoutuitspoeling kan ook gestimuleerd worden door het afwisselen van droge en natte perioden. Grondbewerking kan er voor zorgen dat niet teveel water via kripscheuren uitspoelt. Mocht in het voorjaar toch een aanzienlijke hoeveelheid zout zijn opgehoopt dan kan beregenen vlak voor planten ervoor zorgen dat kieming en groei in het jeugdfase relatief weinig door zout beïnvloed worden.

Beregenen en (sub)infiltratie met brakwater

Vooraf in aride gebieden met een hoge evapotranspiratie kan bij beregenen veel zout in de bovenste bodemlaag achterblijven. Vooral kiemplanten zijn hier gevoelig voor. Subinfiltratie van brakwater leidt mogelijk tot minder zoutschade dan beregenen met brakwater, omdat zout niet direct in contact komt met het gewas. In theorie wordt het zoete water dat nog in de bodem aanwezig is naar boven gedrukt door het brakke subinfiltratie water.

In meer vochtiger gebieden zal bij beregenen de zouten na dieper gelegen bodemlagen uitspoelen. Subinfiltratie met brakwater wordt dan als nadelig gezien, omdat hierbij zouten, door capillaire opstijging van grondwater, in de wortelzone terechtkomen (Oster e.a, 1984; Ayers & Westcot, 1994). Op gezette tijden is dan uitspoeling (dus neerwaartse beweging van zout nodig). Hiervoor moet een overmatige hoeveelheid water aangevoerd worden.

Bij zowel beregenen als subinfiltratie kunnen problemen met de bodemstructuur (verslumping) optreden en kan ophoping van silicium en borium optreden. Deze problemen treden vooral op bij neerslag na een periode van brakwater toediening. Korstvorming is te voorkomen door gips in de grond te werken. Inwerken van groenbemesters kan infiltratie verbeteren, slecht inwerken van groenbemesters kan echter tot extra korstvorming leiden (Maas, 1985; Mitchell, 2000).

Door Patel, e.a. (1999; 2000) werd onderzoek gedaan naar de invloed van subinfiltratie met brakwater ($1, 5$ of 9 dS m^{-1}) op de groei van groene pepers en aardappels bij een grondwaterpeil van 40 of 80 cm (grondwater $> 3,5 \text{ dS m}^{-1}$). In aardappel leidde subinfiltratie met brakwater tot 29% lagere opbrengst dan met zoetwater, maar was 59% hoger als niet zou zijn geïnfilteerd. In het onderzoek kwam naar voren dat zout zich van beneden naar boven toe in de bodem ophoopt, hetgeen de planten genoeg gelegenheid geeft om aan te slaan voordat zout een probleem wordt. Ook kan het een voordeel zijn groentegewassen te planten i.p.v. te zaaien.

Door Rhodes (1984) geciteerd door van Schilfgaarde (1987) werd onderzoek gedaan naar het gebruik van irrigatiewater met verschillende zoutgehalte. Door “goed” en “slecht” water na elkaar te gebruiken afhankelijk van het groeistadium van de gewassen was het mogelijk gevoelige (meloen) na ongevoelige gewassen (katoen) te telen zonder opbrengstderving.

Druppelirrigatie met brakwater

Beregenen met brakwater leidt tot schade aan bladeren. Deze schade is groter indien cycli van vernatten en verdrogen elkaar frequenter afwisselen. Ook overdag beregenen geeft meer schade dan 's nachts. Door Maas (1985) wordt in een overzichtsartikel resultaten van verschillende auteurs aangehaald die de zoutschade bij beregenen en druppelirrigatie vergeleken. Het blijkt dat bij druppelirrigatie aanzienlijk minder zoutschade optreedt. Zo blijkt uit het onderzoek van Bernstein & Francois geciteerd in Maas (1985) dat de zoutschade bij druppel- en greppelirrigatie en beregenen met brakwater ($4,5 \text{ dS m}^{-1}$) de opbrengst van pepers met respectievelijk 2 , 16 en 54% verlaagde.

Druppelirrigatie met brakwater werd door Alblas & Froot (2002) uitgevoerd om aantasting door gewone schurft (*Streptomyces scabies*) tijdens de knolzetting van poot aardappel te voorkomen. Voordeel van druppelirrigatie is dat geen bladschade optreedt en dus hogere zoutconcentraties gebruikt kunnen worden. Zoutconcentraties tot 2000 mg Cl L⁻¹ kunnen worden gebruikt zonder dat er schade optreedt. Bij hogere concentraties neemt de opbrengst niet af, maar wordt de partij grover.

6 Discussie

Het in dit rapport beschreven onderzoek heeft voornamelijk in Noord Amerika plaatsgevonden. De resultaten kunnen daarom niet direct doorvertaald worden naar de Nederlandse omstandigheden.

Bij CD en CDS kan slechts een gedeelte van de in de winter opgebouwde vochtvoorraad in de bodem bewaard blijven. Dit omdat aan de eisen voor drooglegging voor de voorjaarsbewerkingen moet worden voldaan. Vaak wordt dan ook pas na de voorjaarswerkzaamheden begonnen met waterconservering. Indien door bijvoorbeeld innovatieve teelttechnieken deze eisen verruimd zouden kunnen worden, zou de in de winter opgebouwde bodemvoorraad grotendeels intact kunnen blijven.

Waterconservering leidt i.h.a. tot hogere opbrengsten. In droge jaren kan ook bij waterconservering direct na zaaien of planten en ook later in de groeiseizoen vochttekorten optreden. In natte jaren kan door het verminderen van het waterbergend vermogen van de bodem juist wateroverlast ontstaan. Voordeel van CDS is dat in tijden van droogte water aangevoerd kan worden. Daarnaast kan wellicht beter geanticipeerd worden op verwachte plaatselijke extreme neerslag. Dit omdat bij uitblijven van neerslag water niet verloren gaat, maar in een reservoir wordt opgeslagen. Bij zowel CD als CDS staan drains gedurende kortere of langere tijd onder water. Om toch voldoende drainage en/of infiltratiecapaciteit te verkrijgen dient de buisdichtheid te worden verhoogd. Als deze buizen ook voor vrije afwatering worden gebruikt kan bij ondeskundig gebruik mogelijk teveel water worden afgevoerd. Een tweedelig systeem, waarbij infiltratie en drainage via verschillende drains verlopen, biedt dan voordelen.

Uit simulaties door van Bakel (1988) en veldonderzoek (Alblas e.a., 2003; Clevering e.a. 2004 en ongepubliceerd) blijkt dat ook onder Nederlandse omstandigheden waterconservering (door het onder water zetten van drains) en subinfiltratie zeker in droge zomers tot hogere gewasopbrengsten kunnen leiden. In de toekomst zal vanwege de verwachte zoetwatertekorten en aanscherping van beregeningsverboden steeds meer overgegaan moeten worden op waterconservering. In hoeverre additionele wateraanvoer via subinfiltratie of beregenen rendabel is, is moeilijk te zeggen. Beregenen leidt in het algemeen tot hogere vochtgehalten in de bovenste bodemlaag, een uniformere verdeling van vocht in de bodem en daardoor uniformer gewassen dan subinfiltratie. Wel is beregenen kostbaar en arbeidsintensief. Indien een ondernemer de beschikking heeft over een reservoir lijkt waterconservering + beregenen, naast waterconservering + subinfiltratie een te overwegen optie. Het is dan ook zinvol deze verschillende systemen met elkaar te vergelijken.

Uit het voornamelijk Noord Amerikaans onderzoek komt naar voren dat waterconservering in principe ook leidt tot conservering van nutriënten in de bodem en verminderde emissies van landbouwchemicaliën naar het oppervlaktewater. Dit hoeft overigens niet altijd te leiden tot lagere concentraties van verontreinigingen in het oppervlaktewater, dit vanwege de lagere hoeveelheden afgevoerd water. In hoeverre dezelfde resultaten worden gevonden onder de vaak nattere Nederlandse omstandigheden is onduidelijk.

In droge zomers zorgen CD en CDS voor een betere vochtvoorziening in de onverzadigde zone van de bodem. Hierdoor: (i) vindt een betere benutting van nutriënten door het gewas plaats, waardoor er na de oogst minder nutriënten in de bodem achterblijven, (ii) ontstaan er in klei minder krimpscheuren, waardoor er minder verontreinigen bij een eerste regenbui na droogte via drains uitspoelt en (iii) worden landbouwchemicaliën mogelijk beter afgebroken. Bij zeer natte omstandigheden kunnen CD en CDS overigens resulteren in verhoogde af- en uitspoeling.

Het handhaven van hogere waterpeilen kan afwenteling van milieuproblemen van het grondwater naar het oppervlaktewater en de lucht tot gevolg hebben. Hogere peilen zullen i.h.a. leiden tot minder nitraatuitspoeling naar het grondwater, terwijl emissies naar de lucht (denitrificatie) worden gestimuleerd. Uit het onderzoek blijkt niet dat nitraatemissies naar het oppervlaktewater toenemen. Denitrificatie heeft als voordeel dat nitraat definitief uit het watersysteem wordt verwijderd, nadeel is de vorming van lachgas. In hoeverre de verhouding N_2/N_2O van het waterpeil afhangt, is onduidelijk. Hetzelfde geldt voor de rol van gewasresten en dierlijke mest, hiermee worden zowel aanzienlijke hoeveelheden N als gemakkelijk afbreekbaar C aangevoerd. De aanwezigheid van een gemakkelijk afbreekbare C-bron resulteert in een vollediger nitraatreductie.

Vergeleken met de Noord Amerikaanse situatie zal in Nederland vanwege de veelal hogere fosfaattoestanden, peilverhogingen eerder tot P-emissies naar het grond- en oppervlaktewater leiden. Ook zullen hogere waterpeilen in het algemeen tot hogere emissies van landbouwchemicaliën naar het oppervlaktewater leiden. Dit laatste heeft te maken met een kortere verblijftijd in de bodem, waardoor er minder afbraak en vastlegging plaatsvindt. Het is daarom de vraag of het in Nederland verstandig is om ondieper te draineren. Waarschijnlijk valt onder Nederlandse omstandigheden de meeste milieuwinst te halen als het drainage- en infiltratiesysteem gescheiden worden aangelegd. Het diep gelegen regelbare drainagesysteem wordt dan alleen voor afvoer en het ondiep gelegen infiltratiesysteem voor aanvoer van water gebruikt.

Verontreinigen die naar het oppervlaktewater zijn uitgespoeld, kunnen in meer of mindere mate middels zuiveringssystemen uit het water worden gehaald of gerecycled. In de Nederlandse omstandigheden leidt de aanleg van wetlands voor waterzuivering in het agrarisch gebied tot een enorme ruimtebeslag. Met de huidige hoge grondprijzen lijkt dit dan ook alleen haalbaar in landgoedparken. In het agrarisch gebied biedt de inrichting van sloten en slootkanten voor het optimaliseren van het waterzuiveringsproces al dan niet gecombineerd met technologisch geavanceerde zuiveringssystemen wellicht meer perspectief. Hierbij is het de vraag of voor perceelssloten gestreefd zou moeten worden naar 'de juiste ecologische kwaliteit' of juist naar het optimaliseren van waterzuivering. Dit laatste om afwenteling van verontreinigingen naar mogelijk kwetsbaardere wateren, zoals beken en grote stagnante zoetwaterbekkens, te voorkomen.

Het onderzoek naar hergebruik van nutriënten heeft voornamelijk aan stikstof plaatsgevonden. De resultaten zijn niet eenduidig, hetgeen grotendeels samenhangt met het optreden van denitrificatie tijdens opslag. Gegevens over hergebruik van fosfaat zijn niet bekend. In het buitenlandse onderzoek worden in het algemeen dermate lage P-concentraties in het oppervlaktewater gevonden, dat de effecten op de gewasgroei niet terug te vinden zijn.

In het algemeen zal hergebruik van agrarisch water of gebruik van afvalwater alleen plaats moeten vinden in perioden van neerslagtekort, zodat nutriënten middels capillaire opstijging de wortels bereiken en niet naar het grondwater uitspoelen. Hiervoor is een buffervoorraad (reservoir) nodig. Daarnaast kan landbouwgrond voor het zuiveren van afvalwater door bodempassage ingericht worden. Om vervuiling van het grondwater te voorkomen, dient het geïnfilterde water vervolgens via drainage te worden opgevangen. Een dergelijk systeem kan dan ook gezien worden als een droge variant, gericht op het vastleggen en/of afbraak van fosfaat en chemicaliën, van een moeraszuiveringssysteem.

In de kustprovincies wordt verzilting tegengegaan door diepe ontwatering van landbouwgronden en het doorspoelen van watergangen met zoetwater. In de toekomst zal door zeespiegelstijging gecombineerd met bodemdaling en een tekort aan zoetwater voor doorspoeling op een andere manier met verzilting moeten worden omgegaan. Een van de mogelijkheden is om het winterse neerslagoverschot beter vast te houden, door ondieper maar intensiever te draineren. Zowel in de bodem als sloten kan dan meer zoetwater vastgehouden worden. Nadeel van ondieper draineren is dat nadat de zoetwatervoorraad verbruikt is, de problemen met verzilting naar alle waarschijnlijkheid groter zullen zijn dan met diepe drainage. Bij hoogsalderende gewassen zal dan beregenen of subinfiltratie plaats moeten vinden met zoetwater opgeslagen in waterreservoirs. Bij laagsalderende gewassen zou het een optie kunnen zijn het waterpeil in de loop van het groeiseizoen te laten zakken. Het lijkt dan ook wenselijk een regelbaar diepgelegen drainagesysteem of een tweedelig drainagesysteem aan te leggen, waarbij afhankelijk van het tijdstip van het jaar en risico van zout-, droogte- of natschade ontwatering via de hoog- of laaggelegen drains plaats kan vinden.

In de toekomst zal aan het waterbeheer door agrariërs hoge eisen worden gesteld. Het verbeteren van de waterbenutting op landbouwbedrijven middels het gebruik van alternatieve drainagesystemen al dan niet in combinatie met hergebruik van water resulteert niet alleen in waterconservering, maar kan ook in verminderde emissies van verontreinigingen naar het grond- en oppervlaktewater leiden. Bij het verminderen van emissies naar het oppervlaktewater kunnen ook maatregelen in sloten, slootkanten en moeraszuiveringssystemen zorgdragen voor verminderde afwenteling naar de grotere oppervlaktewateren.

In Nederland wordt momenteel een aantal projecten uitgevoerd met regelbare drainage en subinfiltratie. In de ze projecten zijn systemen niet optimaal ingericht om alle vragen op het gebied van waterconservering

en verminderen van emissies naar het grond- en oppervlaktewater te beantwoorden. Voorgesteld wordt dan ook om in verschillende regio's in Nederland in te richten. Op deze voorbeeldbedrijven kunnen technische innovaties op het gebied van waterbeheer, weersvoorspellingen en agrarische bedrijfsvoering worden geïntegreerd.

7 Conclusies

- Met CD en CDS kan waterafvoer geregeld worden middels stuwen of vlotters. De hoeveelheid water die op deze manier geconserveerd kan worden is sterk afhankelijk van de eisen die aan de drooglegging worden gesteld. Deze eisen zijn het hoogst voor de voorjaars- en oogstwerkzaamheden. Bij CDS wordt overtollig water in waterreservoirs opgeslagen. In droge perioden wordt water uit de waterreservoirs gebruikt om het grondwater aan te vullen. Bij CDS kan het water tussentijds in bijvoorbeeld zuiveringsmoerassen worden gezuiverd.
- In droge zomers wordt met CD het grondwaterpeil onvoldoende verhoogd om droogteschade aan het gewas te voorkomen. Dit probleem bestaat bij CDS niet. In natte zomers kan wateroverlast ontstaan omdat waterconservering tot een verlaagde waterbergend vermogen van de bodem leidt. Bij CDS kan beter geanticipeerd worden op voorspelde neerslag, omdat water niet verloren gaat, maar tijdelijk opgeslagen wordt.
- Bij CD en CDS komen drains gedurende langere of kortere tijd onder water te staan. De kans op verstoppingen en verhoogde uittreewestanden lijkt in het algemeen mee te vallen. De grootste problemen lijken op slempgevoelige zavelgronden te ontstaan.
- Met CD en CDS wordt een aanzienlijk hoeveelheid water geconserveerd. Waterconservering resulteert ook in verminderde emissies van verontreinigen naar het oppervlaktewater. Omdat ook de totale hoeveelheid afgevoerd water afneemt, leidt dit vaak niet tot verlaagde concentraties van verontreinigen. In de onverzadigde zone resulteren peilverhogingen i.h.a. tot een betere benutting van nutriënten door het gewas, minder laterale uitspoeling in kleigronden en mogelijk betere afbraak van chemicaliën. In de waterverzadigde zone treedt i.h.a. meer denitrificatie, hogere P-uitspoeling en hogere kans op uitspoeling van bestrijdingsmiddelen op.
- Hergebruik van agrarisch water in perioden van neerslagtekorten levert i.h.a. geen merkbare opbrengstverhogingen op. Dit heeft grotendeels te maken met denitrificatie in waterreservoirs. De fosfaatgehalten zijn in het algemeen te laag om substantiële opbrengstverhoging te verwachten. Het zuiveren van m.n. fosfaat uit agrarisch water zal grote inspanningen kosten. Verdere optimalisatie van sloot- en slootkantbeheer voor nutriëntenverwijdering is echter nog mogelijk.
- Effluent van afvalwaterzuiveringsinstallaties bevatten i.h.a. hogere concentraties van verontreinigingen dan agrarisch water. Nazuivering van effluent zou plaats kunnen vinden middels bodempassage in landbouwgronden. Het dient daarbij aanbeveling om het aldus gezuiverd effluent middels een drainsysteem op te vangen en vervolgens op het oppervlaktewater te lozen.
- In gebieden met zoute kwel kan conservering van neerslagoverschotten tot minder zoutschade aan landbouwgewassen leiden. Een mogelijkheid kan zijn om ondieper, maar intensiever te draineren. Nadeel hiervan kan zijn dat als de zoetwatervoorraad verbruikt is, ondieper draineren, vanwege capillaire opstijging tot meer zoutschade kan leiden. Bij hoogsalderende gewassen is het dan zinvol de zoetwatervoorraad aan te vullen in reservoirs opgeslagen water. Bij laagsalderende gewassen lijkt het in een dergelijke situatie zinvoller het waterpeil langzaam te laten zakken en het zoute water via een dieper gelegen drainsysteem af te voeren. In het uiterste geval, onder zeer droge omstandigheden, kan mogelijk ook subinfiltratie met brakwater plaatsvinden, dit geeft minder zoutschade dan beregenen met brakwater.

8 Referenties

- Alblas, J. (2002). Vernatting en gevolgen voor de teelt van akkerbouwgewassen. PPO Projectrapport 1123105-1.
- Alblas, J. & Floot, H. (2002). Druppelirrigatie met brak water voor schurftbestrijding in poot aardappelen, PPO Projectrapport 1123410-1
- Alblas, J., Verstegen, H.A.G., Weijers, G. (2003). Verslag peilverhoging. PPO Projectrapport 5123216.
- Allred, B., Clevenger, B., Thornton, C., Czartoski, B., Fausey, N., Cooper, R., Brown, I., Riethman, D., Chester, P. and Belcher, H. Wetland Reservoir Subirrigation Systems op www.landandwater.com/features/vol44no3_1.html.
- Anonymous (2003). Actual and future brackish water intrusion in the Waterboard of Rijnland, the Netherlands. Presentatie 17^e SWIM congres te Delft op www.rijnland.net.
- Asano, T. & Levine, A.D. (1996). Wastewater reclamation recycling and reuse: past, present, and future. *Wat. Sci. Tech.* 33: 1-14.
- Ayers, R.A. & Westcot, D.W. (1994). Water quality for agriculture. FAO Irrigation and drainage paper 29 Rev. 1 op www.fao.org/DOCREP/003/T0234E/T0234E00.htm
- Bakel, P.J.T. van (1988). Using drainage systems for supplementary irrigation. *Irr. and Drainage Systems* 2: 125-137.
- Beek, C.L. van, Clevering, O.A., Kater, L.J.M. en Reuler, H. van (2003). Maatregelen om de belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfaat uit de landbouw te verminderen. *Alterra-rapport* 714.
- Belcher, H.W. (1992). Water table management to maximize the economic efficiency of biomass production. *Ann. Arbor, UMI*.
- Binnendijk, N.C., van Bakel, P.J.T., van Vilsteren, W.A. en Grobbe, H.W. (1993). "Effluentboeren" Technische realisatie en effecten van toediening van effluent aan het landelijk gebied. *Tauw, Deventer*. Projectnummer 32200.28
- Bos, L., Wee, L. van, Steenis, J. (2003). Boer en Water op Texel. *H₂O* 36 (8): 36-37.
- Bottcher, A.B., Tremwel, T.K., Campbell, K.L. (1995). Best management practices for water quality improvement in the Lake Okeechobee Watershed. *Eco. Eng.* 5: 341-356.
- Brown, L.C. and Zucker, L.A. (1998). Agricultural drainage, water quality impacts and subsurface drainage studies in the Midwest. The Ohio University Extension Bulletin 871 op www.ohioline.osu.edu/b871/b871_4.html.
- Brown, L.C., Ward, A. and Fausey, N.R. Water table management systems. Department of food agricultural and biological engineering. The Ohio State University and USDA-ARS Soil drainage research unit, Columbia Ohio op www.ag.ohio-state.edu/~mseaw/WTM.html.
- Camp, C.R., Lamm, F.R., Evans, R.G. en Phene, C.J. (2000). Subsurface drip irrigation –past, present, and future. In: *Proceedings of the 4th decennial national irrigation symposium*, nov 14-16, 2000, Phoenix AZ. Editors Evans, R.G., Benham, B.L. and Trooien, T.P. Publ. ASAE, St Joseph MI. pp: 363-372. Op: www.oznet.ksu.edu/sdi/reports/2000/K-staterep/capis.htm.
- Christen, E. & Skehan, F. (2001). Design and management of subsurface horizontal drainage tot reduce salt loads. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 127: 148-155.
- Clevering, O.A., Verstegen, H.A.G. & Weijers, G. (2004). De effecten van peilverhoging en kortdurende inundatie op de groei van snijmaïs. Literatuuronderzoek en resultaten 2003. PPO projectverslag 510307.
- Couwenhoven, T. (1971). De verzilting en het gebruik van sproeiwater in de akkerbouw. *Bedrijfsontwikkeling* 2, editie Akkerbouw 53-63.
- Dam, J.C. van (1987). Het zout in de pap. *Cultuurtechnisch Tijdschrift* 26(5): 337-350.
- Definitiestudie drainage t.b.v. waterconservering (2002). Project waterconservering 2^e generatie P/A Projectbureau Waterconservering ZLTO Postbus 91, 5000 MA Tilburg.
- Dils, R.M. & Heathwaite, A.L. (1999). The controversial role of tile drainage in phosphorus export from agricultural land. *Wat. Sci. Tech.* 39: 55-61.
- Drury, C.F., Tan, C.S., Gaynor, J.D., Oloya, T.O. & Welacky, T.W. (1996). Influence of controlled drainage-subirrigation on surface and tile drainage nitrate loss. *J. Environ. Qual.* 25: 317-324.

- Elmi, A.A., Madramootoot, C., Egeh, M., Liu, A. & Hamel, C. (2002). Environmental and agronomic implications of water table and nitrogen fertilization management. *J. Environ. Qual.* 31: 1858-1867.
- Evans, R. & Skaggs, R.W. (1987). Operational and management guidelines for water table management systems in North Carolina, Proceedings 3rd International Workshop on land drainage, Columbus, Ohio.
- Evans, R. and Skaggs, W. (1996). Operating controlled drainage and subirrigation systems. North Carolina Cooperative Extension Service. Publication AG356 op www.bae.ncsu.edu/programs/extension/evans/ag356.html.
- Evans, R., Gilliam, J.W. & Skaggs, R.W. (1989). Managing watertable management systems for water quality. ASAE Paper 89-2129. ASAE, StJoseph, MI.
- Evans, R.O., Skaggs, R.W. & Gilliam, J.W. (1995). Controlled versus conventional drainage effects on water quality. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 121: 271-276.
- Expertisecentrum LNV (2003). Op weg naar een meer natuurlijke Delta. Opties voor de Deltawateren in het kader van Delta Inzicht nader beken voor LNV-beleidsvelden. Expertisecentrum LNV 2003/192.
- Gaynor, J.D., Tan, C.S., Drury, C.F., Ng, H.Y.F., Welacky, T.W. & Wesenbeeck, I.J. van (2001). Tillage, intercrop and controlled drainage-subirrigation influence atrazine, metribuzin, and metolachlor loss. *J. Environ. Qual.* 30: 561-572.
- Gaynor, J.D., Tan, C.S., Drury, C.F., Welacky, T.W., Ng, H.Y.F. & Reynolds, W.D. (2002). Runoff and drainage losses of atrazine, metribuzin and metolachlor in three water management systems. *J. Environ. Qual.* 31: 300-308.
- Gilliam, J.W. (1987). Drainage water quality and the environment. Proceedings of the fifth national drainage symposium. ASAE Publication No. 07-87. Am. Soc. Ag. Eng., St. Joseph, MI.
- Gilliam, J.W. (1995). Phosphorus control strategies. *Ecol. Eng.* 5: 405-414.
- Gilliam, J.W., Skaggs, R.W., Weed, S.D. (1979). Drainage control to diminish nitrate loss from agricultural field. *J. Environ. Qual.* 8: 137-142.
- Harris, G.L. & Catt, J.A. (1999). Overview of the studies on the cracking clay soil at Brimstone Farm, UK. *Soil Use and Manag.* 15: 233-239.
- Hooghoudt, S.B. (1952). Tile drainage and subirrigation. *Soil Science Joirnal* 74: 35-48.
- Hoorn, J.W. van (1958). Results of a ground water level experimental field with arable crops on clay soil. *Neth. J. Agr. Sc.* 6: 1-11.
- Kladivko, E.J., Grochulska, J., Turco, R.F., Scoyoc, G.E. van & Eigel, J.D. (1999). Pesticide and nitrate transport into subsurface tile drains of different spacing. *J. Environ. Qual.* 28: 997-1004.
- Kliwer, B.A. & Gilliam, J.W. (1995). Water table management effects on denitrification and nitrous oxide evolution. *Soil. Sci. Am. J.* 59: 1694-1701.
- Kruijff, de J., van Bakel, P.J.T. & Hoogeveen, H. (1998). Hergebruik van gezuiverd afvalwater voor verdrogingsbestrijding. *H₂O* 14: 22-25.
- Louw, de P.G.B., Vermeulen, P.T.M., Stuurman, R.J. & Reckman, J. (2001). Waterconservering en peilbeheer in het BeNeLux-middengebied. Deelrapport 3: Bepaling van de effecten van waterconservering. TNO-rapport NITG 01-055-B.
- Maas, E.V. (1985). Crop tolerance to saline sprinkling water. *Plant & Soil* 89: 273-284.
- Maas, E.V. & Hoffman, G.K. (1983). Salt sensitivity of corn at various growth stages. *Cal. Agric.* July-August 1983: 14-15.
- Melvin, S.W. & Kanwar, R.S. (1995). Environmental and economic impacts of a recycling subirrigation-drainage system. In: Subirrigation and controlled drainage, Belcher, H.W. and D'Itri (eds.), Lewis Publishers: 315-326.
- Mitchell, J.P., Shennan, C., Singer, M.J., Peters, D.W., Miller, R.O., Prichard, T., Grattan, S.R., Rhoades, May, D.W. & Munk, D.S. (2000). *Agric. Water Manag.* 45: 55-71.
- Muirheid, W.A., Humphreys, E., Jayawardane, N.S. & Moll, J.L. (1996). Shallow subsurface drainage in an irrigated vertisol with a perched water table. *Agric. Water Manag.* 30: 261-282.
- Oster, J.D., Hoffman, G.J. & Robinson, F.E. (1984). IV Dealing with salinity. *Cal. Agric.* 1984: 29-32.
- Oztekin, T., Holdsworth, P.M., Brown, L.C., Kurunc, A. & Rector, D. (1998). Evaluating drainage design parameters for wastewater irrigation applications to minimize impact on surface waters. *Drainage in the 21st-century-food production and the environment* 1998: 17-27.
- Paasonen-Kivekäs, M., Karvonen, T., Vakkilainen, P., Sepahi, N., Kleemola, J & Teittinen, M. (1996). Field studies on controlled drainage and recycling irrigation drainage for reduction of nutrient loading from

- arable land. *Wat. Sci. Tech.* 33: 333-339.
- Patel, R.M., Prasher, S.O., Donnelly, D., Bonnell, R.B. & Broughton, R.S. (1999). Subirrigation with brackish water for vegetable production in arid regions. *Bioresource Technology* 70: 33-37.
- Patel, R.M., Prasher, S.O. & Bonnell, R.B. (2000). Effects of watertable depth, irrigation water salinity, and fertilizer application on root zone salt buildup. *Can. Agric. Eng* 42: 111-115.
- Projectgroep Zoetwateronderzoek (Goes) (1986). Zoetwaterinfiltratieproef Kapelle: Kort verslag van een onderzoek naar de mogelijkheden voor kunstmatige infiltratie van zoetwater in een kreekruig. 14pp.
- Rhoades, J.D. (1984). New strategy for using saline waters for irrigation. In: *Proceedings of the American Society of Civil Engineers – Irrigation and Drainage Special Conference, Water – Today and Tomorrow*, 24-26 July 1984, Flagstaff, AZ, pp: 231-236.
- Ridder, R.P. de (1996). Helofytenfilters. Integratie van oppervlaktewaterzuivering, natuur en andere functies van moerassen. LBL-Mededeling 206.
- Rolston, D.E., Hoffman, D.L., Toy, D.W. (1978) Field measurement of denitrification. I. Flux of N_2 and N_2O . *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 863-869.
- Schilfgaarde, J. van (1987). Ontwikkelingen in de landbouwwaterhuishouding in de Verenigde Staten. *Cultuurtechnisch Tijdschrift* 26: 323-334.
- Skaggs, R.W. & Gilliam, J.W. (1981). Effect of drainage system design and operation on nitrate transport. *Trans. of the ASAE* 1981: 929-934.
- Sims, J.T., Simard, R.R. & Joern, B.C. (1998). Phosphorus loss in agricultural drainage: Historical perspective and current research. *J. Environ. Qual.*: 227-293.
- Stuyt, L.C.P.M. (1998) *Schade aan onderlopende buisdrainage*. DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Tan, C.S., Drury, C.F., Gaynor, J.D. & Welacky, T.W. (1993). Integrated soil, crop and water management system to abate herbicide and nitrate contamination of the Great Lakes. *Water Sci. Technol.* 28: 497-507.
- Tan, C.S., Drury, C.F., Soulani, M., vanWesenebeeck, I.J., Ng, H.Y.F., Gaynor, J.D., Welacky, T.W. (1998). Controlled drainage and subirrigation effects on crop yields and water quality. In: *Drainage in the 21st century food production and the environment*: 676-683.
- Toet, S. (2003). A treatment wetland used for polishing tertiary effluent from a sewage treatment plant: performance and processes. Proefschrift Universiteit Utrecht.
- Vos, J.A. de, Clevering, O.A., Sival, F.P., Alblas, J., Reijers, N., Reuler, van H. (2003). De invloed van de waterhuishouding op stikstof- en fosfaatverliezen in open teelten. *Alterra-rapport* 596.
- Weier, K.L., Doran, J.W., Power, J.F. & Walters, D.T. (1993). Denitrification and the dinitrogen/nitrous oxide ratio as affected by soil water, available carbon, and nitrate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 66-72.



grafische vormgeving & digitale druk ProPress BV, Wageningen