

Regelbare drainage als schakel in toekomstbestendig waterbeheer

Bundeling van resultaten van onderzoek, ervaringen en indrukken, opgedaan in binnen- en buitenland

Alterra-rapport 2370
ISSN 1566-7197

L.C.P.M. Stuyt

Regelbare drainage als schakel in
toekomstbestendig waterbeheer

Regelbare drainage als schakel in toekomstbestendig waterbeheer

Bundeling van resultaten van onderzoek, ervaringen en indrukken, opgedaan in binnen- en buitenland

L.C.P.M. Stuyt

Alterra-rapport 2370

Alterra Wageningen UR
Wageningen, 2013



Referaat

Stuyt, L.C.P.M., 2013. *Regelbare drainage als schakel in toekomstbestendig waterbeheer*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2370, 488 blz.; 269 fig.; 40 tab.

De sinds 1950 ontwikkelde kennis over de functionaliteit van (samengestelde) regelbare drainagesystemen, uitgedrukt in effecten op de gewasopbrengst en de lokale en regionale water- en stoffenbalans, wordt gerapporteerd, met de nadruk op enkele recente Nederlandse projecten. Op regionale schaal is winst te boeken omdat water kan worden vastgehouden, piekafvoeren beter kunnen worden beheerd en de uit- en afspoeling van nutriënten met succes kan worden tegengegaan. Effecten van het drainageontwerp op concentraties van nutriënten in het drainagewater konden niet worden vastgesteld; effecten op zoute kwel waren wel, maar op gewasoogsten, nauwelijks aantoonbaar. Infiltratie van water via drainage is meestal mogelijk. Regelbare drainagesystemen die in de buurt van natuurgebieden worden geïntroduceerd moeten zorgvuldig worden ontworpen en beheerd om verdroging te voorkomen. Klimaatadaptieve drainage (KAD) opent perspectieven, zeker in het licht van de verwachte, toenemende waterschaarste tijdens het groeiseizoen.

Trefwoorden: ontwatering, drainage, regelbare drainage, samengestelde regelbare drainage, peilgestuurde drainage, klimaatadaptieve drainage, nutriënten, nutriëntenuitspoeling, infiltratie, natuur, verzilting.

Dit onderzoek is mede mogelijk gemaakt door STOWA. De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) is het kenniscentrum van regionale waterbeheerders in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart en verspreidt kennis die nodig is om de opgaven waar waterbeheerders voor staan, goed uit te voeren.

Dit rapport is tevens verschenen als STOWA rapport 2013-18

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.wageningenUR.nl/alterra (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.rapportbestellen.nl.

© 2013 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; info.alterra@wur.nl

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alterra-rapport 2370
Wageningen, mei 2013

Inhoud

Ten geleide	11
Samenvatting/Leeswijzer	15
1 Regelbare drainage in kort bestek: werking, praktijkervaringen, kansen en risico's	21
1.1 Inleiding	22
1.2 Leeswijzer	24
1.3 Wat is regelbare drainage?	24
1.4 Waarom regelbare drainage? De kansen	30
1.4.1 Waterkwantiteit	30
1.4.2 Waterkwaliteit	31
1.4.3 Productieomstandigheden	31
1.4.4 Natuur	32
1.5 Ervaringen met regelbare drainage - het agrarisch perspectief	33
1.5.1 Praktijkproeven	33
1.5.2 Vasthouden van water	34
1.5.3 Zoetwatervoorziening	36
1.5.4 Reductie van piekafvoeren	36
1.5.5 Uitspoeling van nutriënten	38
1.6 Risico's en beperkingen van regelbare drainage	45
1.6.1 Risico's bij de aanleg	45
1.6.2 Risico's ten aanzien van het onderhoud	46
1.6.3 Risico's bij het operationeel beheer	46
1.6.4 Beperkingen	47
1.6.5 Kennisontwikkeling	48
1.7 Hoeveel kost regelbare drainage?	49
1.8 Conclusies	51
2 Regelbare drainage in de USA: recente ontwikkelingen	53
2.1 Inleiding	53
2.2 Drainage en waterkwaliteit in historisch perspectief	54
2.3 Regelbare drainage als 'Best Management Practice'	55
2.4 Agricultural Drainage Management Systems Task Force	56
2.5 Toepassingsmogelijkheden voor regelbare drainage in het Middenwesten van de USA	57
2.6 Nieuwe drainage veldproeven in vijf staten van de USA	58
2.7 Effect van regelbare drainage op stikstofuitspoeling met drainagewater	58
2.8 Effect van regelbare drainage op de gewasopbrengst	60
2.9 Abstracts Amerikaanse publicaties over Regelbare Drainage 2012	62
2.10 Referenties naar Amerikaanse publicaties over Regelbare Drainage	66
3 Samengestelde regelbare drainage in Nederland	69
3.1 Samengestelde regelbare drainage-infiltratiesystemen in de Noordoostpolder (1950)	69
3.2 Samengestelde regelbare drainage-infiltratiesystemen in de bloembollenteelt (1970)	73
3.3 Samengestelde, regelbare drainage in militair oefenterrein Marnewaard (1985)	75

4	Drainwater-monitoringsproject Hoeksche Waard (1993-1996)	79
5	Rusthoeve praktijkproef nutriëntenbalans (1994-1996)	83
6	Schade aan onderlopende buisdrainage (Stuyt, 1998)	87
6.1	Problematiek	88
6.2	Inventarisatie beschikbare onderzoeksresultaten	92
6.3	Infiltratieproeven voor bloembollencultuur (1934-1935)	93
6.4	Veldonderzoek doorlatendheid bodemprofiel Nieuw-Beerta (1942-1957)	94
6.5	Doorlatendheidsonderzoek U.S. Salinity Lab (1947)	94
6.6	Watersnoodramp in zuidwest-Nederland (1953)	95
6.7	Subirrigatie in de Noordoostpolder (1955-1960)	96
6.8	Infiltratiedrainbedekkingsproefveld P 103 te Ens (Noordoostpolder) (1959-1962)	98
6.9	Infiltratie op Proefbedrijf Vredepeel (1960)	100
6.10	Doorlatendheid drainsleuven in oostelijk Flevoland (1963-1974)	102
6.11	Drains onder water in Drenthe (1963-1990)	103
6.12	Onderzoek aan een poreuze subirrigatie-pijp (1970)	104
6.13	Doorlatendheid drainsleuven in de voormalige Lauwerszee (1970-1973)	104
6.14	Infiltratie via drains in kassen (1973)	105
6.15	Infiltratieproefveld De Groeve (1973-1984)	105
6.16	Subirrigatie op gemengwoelde veengrond, Engeland (1974-1975)	106
6.17	Gecombineerd drainage/infiltratiesysteem in South-Carolina (USA) (1975)	107
6.18	Infiltratie in het noordwestelijk deel van oostelijk Flevoland (1975-1976)	107
6.19	Functioneren van buisdrainage op komgrond in de Tielerwaard (1977)	108
6.20	Doorlatendheidsonderzoek drainsleuven door de Drainage Contact Groep (1981)	109
6.21	Infiltratie-praktijkproef Kapelle (1983 - 1984)	111
6.22	Drainage-infiltratieproefveld Valthermond (1983-1988)	111
6.23	Subirrigatie van pinda's in de Verenigde Staten (1985)	112
6.24	Vochtleverantie door subirrigatie in Georgia (USA) (1985)	112
6.25	Meting van drukhoogteverliezen bij subirrigatie in Québec (1986)	112
6.26	Drainageproefveld Staverense Noordermeer (1986-1996)	113
6.27	Subinfiltratie in proefgebied de Veenkampen (1986-1990)	113
6.28	Conferentie over subirrigatie en regelbare drainage in de USA (1991)	114
6.29	Anti-verdrogingsmaatregelen Waterschap De Drie Ambachten te Terneuzen (1992)	115
6.30	Subinfiltratie in diepveenweidegebied in Oud-Kamerik (1998)	116
6.31	Subinfiltratie op rundveeproefbedrijf Cranendonck te Soerendonk (Noord Brabant) (1998)	116
6.32	Conclusies van het literatuuronderzoek	116
6.33	Conclusies - substanties in het slotwater	119
6.34	Conclusies - doorlatendheid van de grond rondom de drain	119
6.35	Bijeenkomst 'Schade aan onderlopende buisdrainage' 19-2-1998	120
7	Project Drainage Nieuwe Stijl (2004)	139
7.1	Hydrologische effecten	140
7.2	Landbouwkundige effecten	141
7.3	Conclusies	141
7.4	Aanbevelingen	143
8	Samengestelde regelbare drainage in Nederland geagendeerd (2006)	145
8.1	Inleiding	145
8.2	Configuratie diverse drainagesystemen	145

8.3	Van Iersel breekt lans voor samengestelde regelbare drainage (2006)	149
8.3.1	Technische claims	149
8.3.2	Hydrologische claims	149
8.4	Regionale beschouwingen	155
8.4.1	Inleiding	155
8.4.2	'Grondwaterbulten' en 'grondwaterdalen'	155
8.4.3	Consequenties voor het waterbeheer	156
8.5	Conclusies en aanbevelingen (2006)	156
8.5.1	Conclusies	156
8.5.2	Aanbevelingen	157
8.6	Literatuur	157
9	Project 'Regelbare Drainage Kleine Beerze' (2008)	159
9.1	Omschrijving maatregel	159
9.2	Uitvoering maatregel binnen project	161
9.3	Meetresultaten/ berekeningen	162
9.4	Bureauanalyse	163
9.5	Kosten	163
9.6	Kosteneffectiviteit	164
9.7	Ervaring met maatregel	164
9.8	Communicatie	165
9.9	Wat is er nodig om een gedragsverandering teweeg te brengen?	165
10	Modelonderzoek naar effecten van conventionele en samengestelde regelbare drainage op hydrologie en nutriëntenbelasting	167
11	Veldonderzoek 'Stikstof op het juiste peil' zuidwest-Nederland (2007-2011)	177
11.1	Inleiding	177
11.2	Type metingen en meetperioden	178
11.3	Uitwerking debietmetingen - Veldproef Rilland	179
11.4	Berekende vrachten - proeflocatie Rilland	184
11.5	Schatting van nitraat- en fosfaatvrachten in Heerle met de 'emmer-methode'	187
11.6	Conclusies	188
12	Praktijkproef Samengestelde, regelbare drainage te Ospel (Limburg), 2008-2012	189
12.1	Beknopt chronologisch overzicht van vijf jaar praktijkproeven te Ospel	189
12.2	Officiële opening van proeflocatie Ospel op 26 september 2008	192
12.3	Beschrijving van de proeflocatie 'Ospel'	193
12.4	Aanleg van de drainagesystemen (13-14 mei 2008)	196
12.5	Bodemkundige inventarisatie op proeflocatie Ospel (15-16 juli 2008)	201
12.6	Aanleg afwatering/debietmeting (januari - februari 2009)	205
12.7	Vastlegging behandelblokken A, B en C; analyse bodemmonsters in 2009	206
12.8	Uitgebreide chemische bodemanalyses Ospel 2009-2011	208
12.9	Ombouw naar drie behandelblokken A, B en C (najaar 2009)	211
12.10	Analyse van grondwaterstanden	215
12.11	Introductie van berekening op de proeflocatie	217
12.12	Resultaten van de veldproeven te Ospel	219
12.12.1	Bemesting en overschot	219
12.12.2	Waterbalans van de percelen	220
12.12.3	Nuitspoeling	226

12.13	Discussie	230
12.13.1	Bemesting en overschotten	230
12.13.2	Bodem en drains van de proeflocatie	231
12.13.3	Keuze van proeflocatie	233
12.13.4	Mogelijkheid voor opschaling	233
12.13.5	Effect van regelbare drainage	234
12.14	Conclusies	235
12.15	Plausibiliteitstoets modelleren regelbare drainage	236
12.15.1	Inleiding	236
12.16	Materiaal en methode	237
12.16.1	Beschrijving van het perceel	237
12.16.2	Modellering	239
12.16.3	Schematisering van landgebruik	240
12.16.4	Schematisering en eigenschappen van de bodem	240
12.16.5	Grondwaterstand-afvoerrelaties	241
12.17	Resultaten	243
12.17.1	Grondwaterstand en drainafvoer	243
12.17.2	Stikstofuitspoeling en -balans	244
12.18	Discussie	247
12.19	Conclusies en aanbevelingen	249
12.20	Referenties	250
13	Waterconservering en infiltratie via regelbare drainage (2010-2012)	253
13.1	Samenvatting	254
13.2	Achtergrond	255
13.3	Beschrijving van het drainage/infiltratiesysteem	256
13.4	Opzet monitoring	260
13.5	Teelten en analyse gewasgroei en opbrengst	263
13.6	Analyse van de effecten van waterinlaat op de waterpeilen	271
13.7	Discussie en conclusies	278
13.8	Advies over het gebruik van het systeem	279
13.9	Praktijkproef infiltratie op klei te Schoondijke (Zeeland) (2010)	280
14	Veldonderzoek Samengestelde, regelbare drainage te Colijnsplaat (Zeeland), 2009-2012	285
14.1	Samenvatting	285
14.2	Aanleiding	287
14.3	Huidige inzichten	287
14.4	Gebiedsbeschrijving	288
14.5	Ondiepe bodemopbouw	289
14.6	Bodemchemie	289
14.7	Watersysteem en hydrologie	290
14.8	Inrichting van de veldproef	291
14.9	Meetprincipes	294
14.10	Verloop van de veldproef	295
14.11	Bodembewerking en teelt	296
14.12	Bemesting	297
14.13	Resultaten en discussie	297
14.14	Waterbalans (vraag 3, 4 en 5)	301
14.15	Afvoerregimes	301
14.16	Waterbalans van de meetsloot	304

14.17	Analyse van piekafvoeren	305
14.18	Waterkwaliteitspatronen (vraag 6, 7, 8 en 9)	305
14.19	Kwaliteit van het drainagewater	306
14.20	Trends in chloridegehalten	308
14.21	Onderzoek aan stikstofisotopen	309
14.22	Herkomst nitraat bovenste grondwater	310
14.23	Stofbalans (N en Cl)	312
14.24	Waterkwaliteitsprocessen	315
14.25	Invloed op regionale waterkwaliteit	316
14.26	Gewasopbrengsten	317
14.27	Conclusies en aanbevelingen	319
14.28	Literatuur	321
15	Effecten regelbare drainage op natuur (Deltares) (2012)	323
16	KlimaatAdaptieve Drainage (KAD) een innovatie op drainagegebied (2011-2012)	325
16.1	Inleiding	325
16.2	Ons klimaat verandert	327
16.3	Drainagesystemen en ontwatering	328
16.4	Wat komt er kijken bij KAD	329
16.5	Referenties	331
17	Studietrip naar de Verenigde Staten, november 2011	333
17.1	7 november 2011: North Carolina State University (Raleigh, NC)	333
17.1.1	Proeflocatie van Chad Poole	336
17.1.2	Site met zeven Water Quality Measuring Barns van Wayne Skaggs	338
17.2	8 november 2011: North Carolina State University (Raleigh, NC)	340
17.2.1	Discussie met Mohammed Youssef en Wayne over uitspoeling van fosfaat en nitraat	340
17.3	9 november 2011: Ohio State University (Columbus, OH)	346
17.3.1	Prof. Dr. Larry Brown. Columbus, Ohio	346
17.3.2	Op de Farm van Jim Mitchell	349
17.3.3	Rondlopen op de tweede site van Larry Brown	350
17.4	10 november 2011: The University of Illinois (Champaign-Urbana, IL)	352
17.4.1	Discussie met Prof. Dr. Richard Cooke in de auto	352
17.4.2	Bezoek bij de eerste boer bij Champaign/Urbana	352
17.4.3	In de auto met Richard Cooke - praten over drainage	353
17.4.4	In het kantoor van Richard Cooke; praten over 'digital drainage support'	354
17.5	11 november 2011: The University of Illinois (Champaign-Urbana, IL)	355
17.6	Kennis, opgedaan in Noord-Amerikaanse projecten	356
	Bijlage 1 Verslag Eindsymposium regelbare drainage op 11 oktober 2012 in Wageningen	369
	Bijlage 2 Aanleg proeflocatie Ospel (mei 2008)	373
	Bijlage 3 Analyse grondmonsters Ospel 2008-2001	377
	Bijlage 4 Meetprotocol Ospel 2011-2012	387
	Bijlage 5 Selectieprocedure perceel voor veldproef drainage in Zeeuws-Vlaanderen	391

Bijlage 6 Selectieprocedure perceel voor veldproef drainage in Zeeland	407
Bijlage 7 Kwaliteitscontrole drainages	417
Bijlage 8 Kwel-wegzijingssituatie in Ospel	437
Bijlage 9 Laboratoriumanalyses bodem en water project 'Stikstof op het juiste peil'	443
Bijlage 10 KIWA Beoordelingsrichtlijn BRL 1411 Buisdrainage	459

Ten geleide

De ontwatering van landbouwpercelen is door de aanleg van sloten, greppels en buisdrainage sterk verbeterd. De teelt van hoogsalderende gewassen werd hierdoor mogelijk op locaties die van nature te nat waren. De keerzijde van verbeterde drainage is echter dat beken en rivieren door de snelle afvoer van neerslagoverschotten buiten hun oevers kunnen treden, terwijl het in de zomerperiode nodig kan zijn om te beregenen uit grondwater of water aan te voeren om vochttekorten aan te vullen. Onderkend wordt dat de verbeterde ontwatering in de landbouw ook kan hebben bijgedragen aan de verdroging van natuurgebieden, en gepaard gaat met verhoogde uitspoeling van vooral stikstof via drains naar het oppervlaktewater.

Herstel van verdroogde natuurgebieden is momenteel één van de prioriteiten van beleid. Voor de Natura 2000-gebieden moeten in 2015 de doelen zijn gehaald. De landbouw is in veel situaties gebaat bij het structureel vergroten van de waterbeschikbaarheid, via het vasthouden van water en/of waterconservering ('vernatting'). Maatregelen die hieraan kunnen bijdragen hebben wellicht ook een gunstige uitwerking op nabijgelegen natuurgebieden. Het is daarom gewenst om na te gaan hoe beschermingszones rond natuurgebieden maximaal vernat kunnen worden, en tegelijkertijd de landbouwkundige productie op peil kan worden gehouden. Het vernatten van natuurgebieden zal zonder verdere maatregelen echter kunnen leiden tot wateroverlast in aangrenzende landbouwgebieden en tot verhoogde fosfaatemissies naar het oppervlaktewater. Dit laatste staat haaks op de doelstellingen van de EU Kaderrichtlijn Water (KRW). De KRW vereist immers een goede chemische en ecologische toestand van waterlichamen. Minimaal geldt de eis dat de waterkwaliteit ten opzichte van het referentiejaar 2000 niet verslechtert. In het kader van WB21 wordt gestreefd naar het vasthouden, bergen en gecontroleerd afvoeren van piekneerslag. De afstemming en integratie van Natura 2000 (vernatten), KRW (fosfaat) en WB21 (piekberging) is daarom één van de lastigste beleidsopgaven. Daarbij moet ook landbouw mogelijk blijven.

Ook voor de landbouw is het de vraag of de huidige manier van ontwatering van landbouwpercelen in de toekomst toereikend is om klimaatverandering het hoofd te bieden. Omdat het klimaat grilliger wordt, krijgt de landbouw steeds meer te maken met onvoorspelbare afwisselende perioden van droogte en wateroverlast. Hierdoor komt de landbouwproductie steeds meer onder druk te staan en zal de kans op uit- en afspoeling van nutriënten door klimaatverandering naar verwachting toenemen. Dit betekent dat het niet alleen lastiger wordt om de productie op peil te houden, maar ook om aan milieudoelstellingen te voldoen. Het is daarom voor de landbouw belangrijk dat wordt gezocht naar alternatieven voor de huidige manier van ontwateren, die het mogelijk maken om flexibel in te spelen op veranderende omstandigheden. De uitdaging is om alternatieve drainagevormen te ontwerpen waarbij de belangen van de verschillende functies voor landbouw, natuur, milieu en waterbeheer zoveel mogelijk in overeenstemming worden gebracht. In 'diverse buitenlanden' wordt (samengestelde) regelbare drainage toegepast. Uit buitenlands onderzoek blijkt dat hiermee veel meer water kan worden vastgehouden dan met conventionele drainage, en dat het systeem ook milieukundige voordelen heeft.

Dit rapport bevat veel informatie rond de introductie van regelbare drainage in Nederland. Aanleiding was de opdracht aan Alterra, in 2007, om veldproeven te doen naar de effecten van regelbare drainage op landbouwpercelen, op waterkwantiteit en waterkwaliteit. Deze proeven, die zijn gehouden op een perceel in het Limburgse Ospel, in de buurt van Nederweert, zijn in het voorjaar van 2012 afgerond. De uitvoering van deze en andere recente veldproeven hebben een platform gecreëerd waarop regelbare drainage nadrukkelijker in de schijnwerpers is komen te staan als een techniek waarmee niet alleen de ontwatering van landbouwpercelen kan worden verbeterd, maar die ook kan worden gebruikt om water tijdelijk vast te houden, te conserveren en

dergelijke. Het is een techniek die agrariërs in staat stelt om het landbouwwater op hun bedrijf zelf te beheren, en daarmee dit water optimaal te benutten, inclusief de erin opgeloste nutriënten.

Regelbare drainage biedt in beginsel de mogelijkheid om zogenoemde drainagebasis, en daarmee de ondiepe grondwaterstanden op landbouwpercelen traploos te beheersen. De drainage kan 'diep' worden ingesteld, en werkt dan maximaal, maar kan ook min of meer worden 'uitgezet', al naargelang de behoefte van het moment. Die behoefte is afhankelijk van de sterk wisselende weersomstandigheden (afwisseling van natte en droge perioden). De instelling van een regelbaar drainagesysteem kan, in goede samenspraak, mede worden afgestemd op de belangen van andere, nabijgelegen landgebruiksvormen zoals natuurgebieden.

In dit rapport wordt - conform contractuele verplichtingen - verslag gedaan van de resultaten van de veldproeven te Ospel, en de veldproeven die werden gehouden in het kader van project 'Stikstof op het juiste peil'. De resultaten van deze projecten worden hier gerapporteerd, inclusief de voor goede interpretatie noodzakelijke achtergrondinformatie. Medio 2012, toen deze rapportage in zicht kwam, ontstond echter gaandeweg behoefte om de resultaten van deze recent afgesloten veldproeven in dit rapport in een breder kader te plaatsen. Regelbare drainage is in ons land immers niet nieuw, want die werd al rond 1950 geïntroduceerd, destijds voor droogtebestrijding. In een (niet uitputtend) overzicht wordt de ontwikkeling van de tussen 1950 en 2012 ontwikkelde kennis rond de functionaliteit van (samengestelde) regelbare drainagesystemen, uitgedrukt in effecten op gewasopbrengst en de lokale en regionale water- en stoffenbalans, tegen het licht gehouden. De lezer kan zich een beeld vormen van het historisch perspectief van deze vorm van draineren, en zich op de hoogte stellen van de nieuwste inzichten, ontwikkelingen en perspectieven.

Een woord van dank is op zijn plaats aan velen die, direct of indirect, een bijdrage hebben geleverd aan de totstandkoming van dit rapport. Dit langdurige traject is begeleid door de zogenoemde Stuurgroep Regelbare Drainage, bestaande uit Jacques Peerboom (voorzitter), Michelle Talsma, Douwe Jonkers, André van der Straat, René Rijken, John Verhoeven en Abco de Buck. Veel dank voor de collegialiteit en alle constructieve sessies die we samen hebben beleefd. Collega's Frank van der Bolt, Gert-Jan Noij, Bart Snellen, Piet Groenendijk, Peter Schipper en Joop Harmsen hebben meegewerkt aan STOWA-rapport 2012-33: 'Meer water met regelbare drainage?' (in deze rapportage opgenomen als Hoofdstuk 1), en aan interpretatie van de aanhoudende stroom 'weerbarstige' meetgegevens die uit proeflocatie Ospel onze kant op kwamen. Veel veldwerk is verricht door collega's Jan van Kleef, Willy de Groot en Han te Beest. Jacques Peerboom en Harry Houben van Waterschap Peel en Maasvallei hebben rond de veldproeven in Ospel veel voorbereidend werk gedaan en gaandeweg ondersteuning geboden. Jan Rinze van der Schoot (Wageningen UR-PPO) organiseerde de communicatie met vele boeren die regelbare drainage hebben gerealiseerd. Collega Rob Kselik heeft de gegevens van de proeflocaties in Heerle, Rilland en Moerstrate op een rij gezet en geanalyseerd. Harry Massop heeft in de loop van de diverse veldproeven veel kennis rond drainage en de regionale hydrologie ingebracht. Dit rapport was nooit tot stand gekomen zonder de inspanningen van Sylvia Kuster, Henk Slijkhuis en Ivonne Scheerder van Corporate Communicatie en Marketing. Veel dank voor jullie toewijding en geduld.

Ad van Iersel heeft bij de totstandkoming van verschillende projecten op vele manieren een belangrijke rol gespeeld. De stelling 'Drainage is an art, rather than a science' geldt onverminderd - en in nog sterkere mate sinds de introductie van (samengestelde) regelbare drainage in Nederland - getuige de drainagesystemen die draineur Harry Rutten (Rutten Drainage) realiseerde op de proeflocaties Ospel en Haghorst. Kennis en inzicht delen is cruciaal voor de verdere ontwikkeling van het vakgebied. Veel kennis is al lange tijd bekend, en dus ook herhaaldelijk weer vergeten. We 'sparren' niet vaak over drainage - te weinig wellicht - en daarom waren de momenten waarop dit wél gebeurde, bijvoorbeeld met vakgenoten als Gé van den Eertwegh (FutureWater) en Jan van Bakel (De Bakelse Stroom) van grote waarde. Dank aan Gé, die ook twee bijdragen aan deze rapportage heeft geleverd. De inbreng van Jan, en zijn rol bij de introductie van regelbare drainage in Nederland, drukken hun stempel op 'Agrohydrologisch Nederland'. Ook de vele uren die wij in 2011 samen

'vakgericht' doorbrachten in de 'Corn Belt', en drie nabijgelegen universiteiten in de Verenigde Staten, hebben hun vruchten afgeworpen; ook hiervoor dank.

Regelbare drainage heeft, mede dankzij de inspanningen van velen die hier niet genoemd zijn, in 2013 een vaste plek gevonden in de gereedschapskist voor de agrarische ondernemer, die het waterbeheer op zijn bedrijf zelf ter hand wil nemen om zijn bedrijfsresultaat te verbeteren. Op regionale schaal is winst te boeken omdat water desgewenst kan worden vastgehouden, piekafvoeren beter kunnen worden beheerst en de uit- en afspoeling van nutriënten en bestrijdingsmiddelen met succes kan worden tegengegaan. Voor dit alles is verdere ontwikkeling van kennis - in de nabije toekomst vooral over het beheer en het hiermee samenhangende ontwerp van regelbare drainagesystemen - onontbeerlijk. Kennis is echter pas iets waard als deze - mede door (veld)ervaring - wordt gevoed en geïnspireerd tot wijsheid. Een simpele drainagewijsheid is en blijft, zeker in het licht van de verwachte, (incidenteel) toenemende waterschaarste: drainage is beslist zinvol, maar draineer niet meer dan noodzakelijk.

Bennekom, 29 april 2013
De projectleider



Pam Geisel, 'After the Rain', 2011, fibre art quilt,
52 × 60 cm, www.ForQuiltsSake.com

'Drainage is an art, rather than a science', leerde de Wageningse Hoogleraar Agrohydrologie Prof. Dr. W.H. (Wiebe) van der Molen aan de toenmalige Landbouwhogeschool zijn doctoraalstudenten. Daarmee wees hij hen op de kunst van het goed draineren van landbouwgronden. 'Dat kan alleen in het veld worden geleerd, is maatwerk, en de praktijk is weerbarstig'. Vis-à-vis heeft landbouwdrainage ook kunstenaars geïnspireerd; zie bovenstaande Amerikaanse quilt 'After the Rain'.

Samenvatting/Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd. **Hoofdstuk 1** (pagina 21) bevat een samenvatting van de huidige kennis van effecten van regelbare drainagesystemen op de waterkwantiteit en -kwaliteit van drainagewater op landbouwpercelen. Deze samenvatting kwam in het najaar van 2012 beschikbaar als STOWA rapport No. 33, en bevat veel nuttige informatie; de huidige inzichten over de geschiktheid van conventionele drainage (CD), regelbare drainage (RD) en samengestelde regelbare drainage (SRD) voor het realiseren van diverse doelstellingen rond landbouw en natuur, zijn samengevat in een tabel op pagina 22.

Hoofdstuk 2 (pagina 53) geeft een in 2012 opgesteld overzicht van de ontwikkeling van regelbare drainage in de Verenigde Staten, zowel in organisatorische als in technische zin. Dit overzicht is opgesteld door de Amerikaanse pionier op het terrein van regelbare drainage, Prof. Dr. R.W. Skaggs. Skaggs is in november 2012 met emeritaat gegaan, en heeft zijn kennis van regelbare drainage in een laagdrempelige en zeer leesbare publicatie samengevat. Deze publicatie is in het Nederlands vertaald en wordt gevolgd door (Engelstalige) samenvattingen van Amerikaanse veldproeven, die in november 2012 beschikbaar kwamen. In alle veldproeven, gehouden tussen 1979 en 2012, is geconstateerd dat regelbare drainage een reductie teweegbrengt van zowel de hoeveelheid drainagewater als de hoeveelheid stikstof in de drainagewater. Resteert de vraag wat er gebeurt met het water dat niet via de drainage uit de bodem werd verwijderd, en waarom de effecten van regelbare drainage tussen verschillende locaties en bodems zo sterk varieerden. De conclusie is dat het effect van regelbare drainage op alle componenten van de waterbalans (evapotranspiratie, kwel en oppervlakkige afstroming) afhankelijk is van het weer, bodemeigenschappen, de omgeving, het ontwerp en beheer van het drainagesysteem en de geteelde gewassen. Dit geldt ook voor het effect van regelbare drainage op de gewasopbrengst. Regelbare drainage kan in beginsel zorgen voor een hogere gewasopbrengst door water op het perceel vast te houden, zodat het voor het gewas beschikbaar is als er een tijdje geen regen valt. Als een groeiseizoen echter extreem droog is, kan er ook geen water in de bodem worden vastgehouden, en is het effect van regelbare drainage, althans wat dit aspect betreft, te verwaarlozen. Het effect van regelbare drainage op de gewasopbrengst zal maximaal zijn in jaren waarin een natte periode tijdens het groeiseizoen wordt gevolgd door een droge periode, gevolgd door weer een natte periode, enzovoort. Zulke omstandigheden lenen zich het beste om water in de bodem vast te houden als het kan en het vervolgens tijdens de wat drogere periode ten goede te laten komen aan het gewas. Hoewel regelbare drainage in sommige gevallen zeker positieve effecten had op de gemeten gewas-opbrengst waren deze effecten in andere gevallen echter verwaarloosbaar of statistisch niet significant.

Het rapport gaat verder met een chronologisch (maar niet uitputtend) overzicht van de introductie en toepassing van regelbare drainage in Nederland. Deze is ruim 60 jaar geleden begonnen. **Hoofdstuk 3** (pagina 69) beschrijft hoe samengestelde drainage/infiltratiesystemen rond 1950 in de Noordoostpolder, voor de watervoorziening van droogtegevoelige percelen in deze polder, zijn geïntroduceerd. Deze proeven werden geen succes, en dat kwam vooral omdat men zich verkeken had op allerlei fysische processen, die in een veldsituatie nu eenmaal onvermijdelijk zijn. De systemen waren uitgevoerd met kleibuizen (draineerbuizen gemaakt van kunststof bestonden nog niet), en uitgerust met ingewikkelde kleppen in de vorm van zuigers, waarmee het waterbeheer moest worden gereguleerd. Verstoppingen met zand kwamen geregeld voor. Zij werden geweten aan open stukken in omhullingsmaterialen van turfmoelm en beschadigde buiseinden (kleibuizen met kraag). Er deden zich ook onverwachte verstoppingsproblemen voor. In de zomer van 1952 bleken de drains overal vol te zitten met driekantige zoetwatermossels. Verder veroorzaakten slierten van waterplanten soms verstoppingen. Het aanbrengen van gaas op inlaatbuizen (horren- of fijn kippengaas) gaf geen uitkomst omdat dit gaas in korte tijd geheel dicht ging zitten, vooral door algen. Rond 1970 werd

regelbare drainage geïntroduceerd in de bloembollenteelt in de geestgronden achter de duinen in Noord-Holland. Dit systeem, dat ook voor infiltratiedoeleinden werd ontworpen, wordt nog steeds met veel succes gebruikt. Verreweg het grootste regelbare drainagesysteem is in Nederland rond 1985 geïntroduceerd op het militaire oefenterrein Marnewaard in het Lauwersmeergebied. Hier werd Nederlandse kennis en ervaring rond regelbare drainage, die tot dan toe uitsluitend werd geëxporteerd naar aride gebieden met geïrrigeerde landbouw (Egypte, Pakistan etc.), voor het eerst gebruikt voor een drainageontwerp in Nederland.

In de jaren 90 van de vorige eeuw nam de belangstelling voor de effecten van drainage op de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten en bestrijdingsmiddelen sterk toe. Het eerste grote onderzoek waarin gedurende enkele jaren zeer veel gemeten is aan de kwaliteit van drainagewater dateert uit die tijd en werd gehouden in de Hoekse Waard (**Hoofdstuk 4**; pagina 79). Uit dit onderzoek werd duidelijk dat het bijzonder moeilijk is om de resultaten van de metingen te vertalen in eenduidige conclusies. De ruimtelijke variabiliteit en de grote onzekerheid rond de herkomst van het drainagewater maken het trekken van conclusies uit dit soort metingen buitengewoon complex.

Tegelijkertijd werd in Zeeland, op proefboerderij 'Rusthoeve' uitgebreid onderzoek verricht naar de effecten van drainage op de nutriëntenbalans (**Hoofdstuk 5**; pagina 83). De voedselrijkdom van het Nederlandse oppervlaktewater bleek op veel plekken zó groot, dat van eutrofiëring kon worden gesproken: (over)belasting van het open water met nutriënten zoals stikstof (N) en fosfor (P). In de periode juni 1994 tot en met juni 1996 zijn op de proefboerderij Rusthoeve op Noord-Beveland daarom metingen uitgevoerd aan de emissie van meststoffen via drainage van akkerbouwpercelen op zavelgrond. Het drainagewater bleek te bestaan uit een mengsel van water van verschillende ouderdom en herkomst, en werd beïnvloed door zowel de maaiveldbelasting en het neerslagoverschot, als door het mariene sediment en kwelwater. Ongeveer 25% van het afgevoerde water had een verblijftijd in de bodem van minder dan één jaar, 45% van minder dan twee jaar, 65% van minder dan drie jaar, ruim 80% van minder dan vier jaar en 20% van meer dan vier jaar. Voor correcte analyse van een verband tussen landbouwkundige stofbalansen en uitspoeling via drainage is daarom een periode van tenminste vier jaar nodig. Van de gemiddelde maaiveldbelasting met stikstof verdween 75% in de oogst, 10 tot 15% via denitrificatie naar de lucht en 10 tot 15% via drainage naar het oppervlaktewater. Van de gemiddelde maaiveldbelasting met fosfaat verdween vrijwel alles in de oogst; ongeveer 4% van de totale aanvoer belandde via drainage in het oppervlaktewater.

Enkele jaren later werd in Nederlandse zandgebieden schoorvoetend geëxperimenteerd met het 's zomers opzetten van slootpeilen om te bereiken dat oppervlaktewater via de drainage in de bodem zou kunnen infiltreren, waarna het de wortelzone zou kunnen bereiken en ten goede zou kunnen komen aan de gewassen. Dit idee leek weliswaar aantrekkelijk, maar stuitte op grote weerstand van veel agrariërs, omdat zij het gevoel hadden dat hun drainage schade zou kunnen lijden als de (eind)buizen in de sloottaluds 's zomers gedurende langere tijd onder water zouden staan. De eindbuizen van hun drains moeten immers altijd boven de waterspiegel blijven, zo was de redenering; drainage die langere tijd 'verzuipt' gaat uiteindelijk 'kapot'. In een poging om aan de onzekerheid een einde te maken heeft het toenmalige Staring Centrum (later opgegaan in Alterra) een uitgebreid literatuuronderzoek gedaan, en dit in een workshop besproken. De resultaten zijn nooit gepubliceerd, maar zijn nu in dit rapport opgenomen. In het onderzoek worden 29 gevallen behandeld. De gevallen waar het functioneren van drains onder water problemen veroorzaakt, zijn in de minderheid. Het gehalte aan zwevende substanties in het slootwater veroorzaakt minder vaak problemen dan werd vermoed. Het effect van het permanent onder water staan van drains op de doorlatendheid van de grond rondom de drain vertoont een sterk wisselend beeld. Het kan een ongunstig effect hebben op de doorlatendheid, maar er is geen sprake van structurele problemen. Al in 1969 was vastgesteld dat bij slempgevoelige gronden rondom drains die, in situ, geleidelijk worden bevochtigd, nauwelijks verslemping optreedt. Draineren onder ongunstige (i.c. natte) omstandigheden leidt in slempgevoelige gronden vaak tot slechte resultaten, juist omdat de grond verslempst terwijl deze nog niet in situ heeft kunnen stabiliseren (**Hoofdstuk 6**; pagina 87).

Enkele ontwikkelingen die later cruciaal zouden blijken te zijn voor de introductie van regelbare drainagesysteem in Nederland vonden rond de eeuwwisseling plaats in het zuiden van het land. De heer H. Rutten van drainagebedrijf Rutten te Hunsel (Limburg) heeft hierbij een cruciale rol gespeeld. Nu terugkijkend concludeert hij dat regelbare drainage uiteindelijk is ontwikkeld als reactie op een mogelijk verbod in de provincie Noord-Brabant om nog langer conventioneel te draineren. Directe aanleiding die tot de ontwikkeling van de techniek heeft geleid was de vraag, in 1999, van een boer die een perceel had in Gemonde (Noord-Brabant, in de buurt van Sint Michielsgestel) dat niet gedraineerd kon worden omdat er geen geschikte perceelsloot was (en ook niet gemaakt kon worden) voor afwatering van het drainagewater. De boer wilde het perceel beslist gedraineerd hebben. Rutten zag er eigenlijk geen heil in, maar de boer bleef aandringen. Rutten vertelt hoe het verder ging¹: 'Ik herinnerde ik me toen dat ik ca. 35 jaar geleden voor de Heidemij in Venlo een sportterrein gedraineerd had: ook samengesteld. Gewoonlijk draineer je dat op 40-50 cm diep, maar wegens ijzerafzetting moest de drainage daar 1½ m diep worden aangelegd. We probeerden de drains onder water te houden en de drainafstand flink te verkleinen. Dat heeft daar in Venlo wonderbaarlijk goed gewerkt. Daar moest ik aan terugdenken toen ik in 1999 met die boer aan het discussiëren was: we hadden de drains in Venlo diep gelegd, maar stelden toch een hoge ontwateringsbasis in. Ik heb toen tegen die boer gezegd: 'Ik ga iets doen waarvan ik überhaupt niet weet of het werkt. Als het niet werkt krijg jij je geld terug'. Ik stond er op dat moment eigenlijk nog niet achter. Na lang dubben heb ik bij hem toen een samengestelde drainage aangelegd, met een put. Daar zat geen regeling op; hij ontwaterde op 50 cm beneden het maaiveld. In 2000 hebben we bij hem nog 7 ha aangelegd. Dat was allemaal samengestelde drainage zonder regeling, op punten waar je met je drainagewater niet naar een sloot kon; het drainagewater werd daarom weggeleid met een verzamelrain. Maar dat was nog geen regelbare drainage zoals we die nu kennen. Het systeem werkt nog steeds uitstekend'.

Rutten vervolgt: 'In 2005 werd in Nederweert een vergadering gehouden met als onderwerp 'Drainage rond natuurgebieden'. Daar werd gemeld dat er een drainage- en een beregeningsverbod zat aan te komen. Gaandeweg de vergadering werd gezegd dat men misschien toch nog drainages zou willen toestaan, maar op een diepte van 40 à 50 cm. 'Weten jullie wel, hoe diep we ploegen, tegenwoordig?', werd echter vanuit de zaal geroepen. Ik was daarheen gegaan om te luisteren. Toch kon ik het niet laten om te zeggen: 'we kunnen conventioneel diep blijven draineren, maar de ontwateringsbasis kan naar boven toe. Dan moeten we samengesteld gaan draineren'. Dat werd toen door de geleerden achter de tafel voor kennisgeving aangenomen. Maar er zat één boer in de zaal: Ad van Iersel. En daarmee hebben we nog tot half twee 's nachts aan tafel gezeten. Toen heb ik uitgelegd wat ik gedaan had. De volgende morgen zijn we in de auto gestapt en zijn we de drainageputten gaan bekijken. Toen we in Gemonde op onze knieën bij een put zaten, zei Ad: 'die zou je eigenlijk variabel moeten kunnen maken!' Waarop ik zei: da's niet moeilijk: bochtje erop, pijpje erop. Ad van Iersel ging met deze informatie naar het waterschap Peel en Maasvallei. Ad heeft de kennis bij mij gehaald en heeft het idee uitgedragen. En daar is hij wonderbaarlijk goed in geslaagd. Het waterschap heeft het idee vervolgens omarmd, effecten laten doorrekenen etc. De rest is bekend', aldus Rutten.

In 2004 wordt in Zuid-Nederland, in het kader van het project 'Waterconservering 2e Generatie', het project 'Drainage Nieuwe Stijl' uitgevoerd. Diverse technieken werden getest om de drainagebasis te verhogen, en daardoor de ontwatering te 'knijpen': peilopzet in perceelsloten, flexibele eindbuizen, verondieping van draineerbuizen, afsluiten van eindbuizen in sloottaluds en dergelijke, en er is gekeken naar hydrologische en landbouwkundige effecten. Het project bestond uit twee onderdelen: een literatuur- en modelstudie, en een demonstratie- en communicatietraject. Uit de berekeningen kwam naar voren dat jaarlijks duizenden m³ water per hectare gedraineerd oppervlak kunnen worden geconserveerd, deels via het opzetten van slootpeilen en infiltratie via drainages. Drainage nieuwe stijl zorgt voor een afname van piekafvoeren met 5-28%, afhankelijk

¹ H. Rutten, persoonlijke mededeling, 8 juli 2011.

van de geohydrologische situatie. Het belangrijkste resultaat van het demonstratie- en communicatietraject was, dat zowel boeren, waterbeheerders en bestuurders kennis hebben gemaakt met een nieuw waterconserveringsinstrument. Deze vorm van drainage is echter maatwerk: het succes hangt samen met de bodemkundige, hydrologische en bedrijfsmatige situatie (**Hoofdstuk 7**, pagina 139).

Rond 2006 komt regelbare drainage steeds prominenter op de agenda. Dhr. A. van Iersel, veehouder en lid van het dagelijks bestuur van waterschap Peel en Maasvallei brengt de mogelijkheden van deze vorm van drainage onder de aandacht. Er worden initiatieven genomen om de geclaimde voordelen van deze vorm van draineren wetenschappelijk te onderbouwen; Jan van Bakel² en Lodewijk Stuyt stellen een notitie op met wetenswaardigheden over techniek en achtergronden (**Hoofdstuk 8**; pagina 145).

Inmiddels (2008) wordt op diverse plaatsen in het land met deze vorm van drainage geëxperimenteerd: bijvoorbeeld het project 'Regelbare drainage Kleine Beerze', uitgevoerd in het kader van een gebiedspilot, in het beheersgebied van waterschap de Dommel. Er is onder andere aandacht voor het effect op de waterkwaliteit, en de kosten van deze vorm van drainage. In november 2007 is een drainagesysteem aangelegd; dit had voornamelijk een demonstratiefunctie. De effectiviteit van de regelbare drainage hangt af van de manier waarop het systeem wordt beheerd; omdat de drainage dieper is geïnstalleerd, en met een kleinere drainafstand kan het bij onjuist gebruik zelfs verdrogend in plaats van vernattend werken. Er werden ook modelberekeningen uitgevoerd; deze houden rekening met twee factoren: verandering van processen in de bodem en vermindering van de afvoer van water via de drains. De berekeningen lieten zien dat de uitspoeling van stikstof bij regelbare drainage aanzienlijk minder groot is dan bij conventionele drainage, en ook een kleine reductie kan geven ten opzichte van het ongedraineerde perceel. Voor fosfaat waren de resultaten minder duidelijk (**Hoofdstuk 9**, pagina 159).

In het proces van bewustwording van de toegevoegde waarde van regelbare drainagesystemen ten opzichte van conventionele drainage heeft het modelonderzoek van Alterra dat in 2008 werd gepubliceerd, een belangrijke rol gespeeld. Dit modelonderzoek was erop gericht een beeld te krijgen van de effecten van conventionele en samengestelde regelbare drainage op de hydrologie en de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Het werd uitgevoerd in opdracht van de waterschappen Peel en Maasvallei, en Brabantse Delta, en DLG Limburg. De uitkomsten gaven aanleiding tot positieve verwachtingen rond de inzet van regelbare drainage bij wateropgaven (waterkwantiteit en waterkwaliteit), en er ontstond behoefte de modeluitkomsten bevestigd te krijgen met veldonderzoek (**Hoofdstuk 10**; pagina 167).

De belasting van het oppervlaktewater met nutriënten stond ook centraal bij veldproeven die werden gedaan in opdracht van waterschap Brabantse Delta in project 'Stikstof op het juiste peil', dat in de periode 2007-2011 werd uitgevoerd. Geconstateerd wordt dat deze belasting effectief kan worden tegengegaan door de drainage te stremmen (**Hoofdstuk 11**; pagina 177).

De effecten van regelbare drainage op waterkwaliteit en waterkwantiteit zijn tussen 2008 en 2012 uitgebreid onderzocht op drainageproefveld 'Ospel', gelegen aan de Noordervaart, nabij Nederweert. De resultaten bevestigen die van vergelijkbare, eerder uitgevoerde veldproeven. De belasting van het oppervlaktewater met nutriënten kan worden tegengegaan door verhoging van de drainagebasis. De veronderstelling dat de concentratie van nutriënten in het drainagewater eenduidig kan worden beïnvloed door een configuratie en het beheer van het drainagesysteem kon echter niet worden bevestigd. Ook deze vaststelling is conform de resultaten van eerder uitgevoerde onderzoek, zowel in Nederland als in de Verenigde Staten. Het onderzoeksproject in Ospel is één van de meest uitgebreide geweest die de afgelopen jaren in Nederland zijn uitgevoerd. Er is veel kennis opgedaan, ook over de risico's die de ruimtelijke variabiliteit van de bodem met

² <http://www.debakelsestroom.nl/>

zich meebrengt, als drainage moet worden geïnstalleerd. Naderhand zijn de veldwaarnemingen gebruikt in een modelstudie die erop was gericht na te gaan of de modellen SWAP en ANIMO in staat zijn de de waterhuishouding en de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater van het perceel met de proef regelbare drainage in Ospel adequaat te simuleren. Een goed resultaat schept vertrouwen in de modellen en de mogelijkheid om deze in een verkenning van de effecten van regelbare drainage toe te kunnen passen. Modelleren helpt om de gemeten signalen van het gedrag van het systeem beter te kunnen analyseren en interpreteren. De resultaten laten zien dat de modellen inderdaad in staat zijn de waterhuishouding en de stikstofvrachten correct te voorspellen. De specifieke bodemkundige en geohydrologische situatie in Ospel (onder meer een ondiepe leemlaag die een ernstige belemmering zou blijken voor de ondiepe grondwaterstroming rond buisdrains) heeft er mede toe geleid dat het regelbare drainagesysteem niet heeft gewerkt zoals is beoogd. Dit blijkt onder andere uit de grote variatie aan gemeten grondwaterstanden binnen een blok. Regelbare drainage lijkt een gevoelig systeem te zijn dat zeer nauwkeurig moet worden aangelegd en deskundig moet worden beheerd om optimaal te kunnen functioneren. Van de veldproeven en de modellering achteraf wordt uitgebreid verslag gedaan, niet alleen in **Hoofdstuk 12** (pagina 189), maar ook in een aantal bijlagen bij dit rapport.

In 2010 werd in Noord-Brabant het initiatief genomen tot een veldproef naar de mogelijkheden om oppervlaktewater op grote schaal via een drainagesysteem in het bodemprofiel te infiltreren. Bij deze proef werd water vanuit het Wilhelminakanaal ter hoogte van Haghorst (gelegen tussen Tilburg en Eindhoven) via een sifon naar een uitgebreid netwerk van samengestelde drainagesystemen gevoerd. De configuratie van deze drainagesystemen was echter zó complex - en de middelen om goed te kunnen meten beperkt - dat het niet mogelijk bleek om na te gaan in hoeverre het aangevoerde water ook echt de beoogde eindbestemming, de wortelzone van de percelen, kon bereiken. De complexiteit van veldproeven naar de ins en outs van waterbeheer op perceelsniveau, inclusief drainage, worden soms onderschat, zo is ook hier weer gebleken. Ook moet worden vastgesteld dat er een grens is aan de geometrische complexiteit van drainagesystemen; niet alleen voor het ontwerp (het systeem omvatte achttien regelputten), maar zeker ook voor het beheer. Dit hoofdstuk wordt afgesloten met een paragraaf waarin een experiment wordt beschreven rond infiltratie van zoet water via drains op een kleigrond. Deze proef is gehouden te Schoondijke (Zeeuws Vlaanderen), en laat overtuigend zien dat infiltratie via drains op zware gronden wel degelijk mogelijk kan zijn (**Hoofdstuk 13**, pagina 253).

In dezelfde periode is in de Zuidwestelijke Delta, in casu op een perceel te Colijnsplaat, een uitgebreide veldproef gestart naar de effecten van regelbare drainage in een kust nabij een regio met zoute kwel. De tussentijdse uitkomsten van dit onderzoek (de proeven worden tot in 2013 voortgezet) laten enkele voorzichtige conclusies toe rond waterkwaliteit en waterkwantiteit. De verschillen tussen de effecten die aan de diverse drainagevormen moet worden toegeschreven zijn beperkt, maar de effecten zijn wel in lijn met die uit eerder veldonderzoek waren geconcludeerd. Regelbare drainage leidt er wel toe dat, in vergelijking met percelen die conventioneel zijn gedraineerd, meer stikstof wordt afgebroken en zoute kwel enigszins kan worden onderdrukt. De diepte waarop de drains zijn geïnstalleerd heeft een grote invloed op de samenstelling van het drainagewater; zeker in deze regio, waar deze samenstelling met de diepte snel verandert. Effecten op de oogst konden niet worden vastgesteld (**Hoofdstuk 14**; pagina 285).

Medio 2012 is er veel aandacht voor de effecten van regelbare drainage in de buurt van natuurgebieden. Drainage rond natuurgebieden neemt toe omdat waterschappen de regels voor regelbare drainage versoepelen. Uit onderzoek van Deltares blijkt dat dit schadelijk kan zijn voor natuurgebieden. Alleen in combinatie met een forse verhoging van het oppervlaktewaterpeil profiteren zowel landbouw als natuur van nieuw aangelegde regelbare drainage. Juist rond natuurgebieden is veruit de meeste landbouwgrond nog niet gedraineerd. De aanleg van nieuwe regelbare drainage is alleen gunstig voor natuur als het wordt gecombineerd met een forse verhoging van oppervlaktewaterpeil en slootbodems. Alvast aanleggen van regelbare drainage, terwijl voor de bijbehorende verhoging van de oppervlaktewaterpeilen en slootbodems

geen draagvlak is, werkt verdrogend. In veel gebieden is bovendien onvoldoende aanvoerwater beschikbaar om een hoger slootpeil ook in droge periodes te handhaven. Een ander risico is het dieper aanleggen van de drains. Het overloopniveau is lastig te handhaven, en agrariërs mogen het overloopniveau tijdelijk verlagen voor werkzaamheden. In korte tijd kan dan veel grondwater wegstromen en dat is erg ongunstig voor de natuur. De natuurbeheerders roepen waterschappen op om rond natuurgebieden maatregelen zodanig te combineren dat de waterdoelen van landbouw én natuur gerealiseerd worden. Voor natuur is een verhoging van het slootpeil en de slootbodem essentieel. Regelbare drainage in nabijgelegen landbouwpercelen voorkomt daarbij natschade. In droge perioden profiteren zowel landbouw als natuur van de hogere grondwaterstanden (**Hoofdstuk 15**; pagina 323).

In 2011 is een bijzonder initiatief gestart om regelbare drainagesystemen op afstand, via internet applicaties, te beheren: de zogenoemde Klimaat Adaptieve Drainage (KAD). KAD is op drie locaties in Nederland geïnstalleerd en wordt uitvoerig getest. De rapportage wordt in het eerste kwartaal van 2013 verwacht. **Hoofdstuk 16**; pagina 325) geeft een korte introductie van het systeem en het project waarin het werd ontwikkeld.

Het laatste hoofdstuk bevat een verslag van een drainage-studiereis naar de Verenigde Staten, in november 2011 gemaakt door dr. P.J.T. van Bakel (De Bakelse Stroom) en dr. L.C.P.M. Stuyt (Wageningen UR ESG/Alterra). De reis was bedoeld om kennis uit te wisselen met drie universiteiten aan de oostkust en het midden Westen, en ook enkele boeren te bezoeken die al jaren vertrouwd zijn met regelbare drainage. Deze reis heeft nieuwe inzichten opgeleverd en bevestigd dat regelbare drainage, in tegenstelling tot conventionele drainage, een uitstekende techniek is voor verstandig waterbeheer op perceelsniveau (**Hoofdstuk 17**; pagina 333).

Op diverse plaatsen in bovenstaande hoofdstukken zijn bevindingen die in de ogen van de projectleider belangrijk zijn, **vetgedrukt**.

Dit rapport wordt afgesloten met tien bijlagen.

1 Regelbare drainage in kort bestek: werking, praktijkervaringen, kansen en risico's

Auteur(s):	L.C.P.M. Stuyt (redactie), F.J.E. van der Bolt, W.B. Snellen, P. Groenendijk, P.N.M. Schipper en J. Harmsen
Jaar van publicatie:	2012
Titel publicatie:	Meer water met regelbare drainage? Werking, praktijkervaringen, kansen en risico's.
Gepubliceerd als/in:	STOWA-rapport 2012-33; ISBN 978.90.5773.570.7 (oktober 2012) http://www.stowa.nl/upload/publicaties/2012-33lowres.pdf

Regelbare drainage (RD) wordt gezien als een instrument om zowel het waterbeheer als de landbouwkundige productieomstandigheden te verbeteren omdat het mogelijkheden biedt te anticiperen en/of te reageren op veranderende omstandigheden. (Grond)water kan worden vastgehouden om te gebruiken in een droge periode, en bij een overschot aan water kan versneld worden ontwaterd. In situaties waarbij omgevingspeilen worden opgezet (vernatting) biedt het agrariërs flexibiliteit op perceelsniveau. RD heeft ook effect op de waterkwaliteit, waardoor een bijdrage kan worden geleverd aan realisatie van de eisen van de KRW.

Er zijn verschillende vormen van regelbare drainage. In de vorm die aansluit bij conventionele drainage wordt het peil van de sloot waarin het drainagewater terecht komt met een stuw aangepast. Als de drainbuizen niet op een sloot uitmonden, maar op een buisvormige afvoerleiding wordt het peil in een 'regelput' aangepast. In dit geval spreken we van samengestelde regelbare drainage (SRD).

Modelstudies en sommige praktijkproeven in Europa en Noord-Amerika hebben laten zien dat regelbare drainage in beginsel hydrologische en waterkwaliteitsvoordelen biedt, zowel voor agrariërs als voor waterschappen. Door netto meer water vast te houden nemen de benutting en retentie van mineralen toe en neemt de belasting van het oppervlaktewater af. Er zijn situaties waarin de zoetwatervoorziening kan worden verbeterd, sommige piekafvoeren kunnen worden gereduceerd, water kan worden vastgehouden en de uitspoeling van nutriënten kan worden verminderd. Diverse studies en recent Nederlandse praktijkonderzoek laten echter een grote variatie in resultaten zien; deze variatie wordt veroorzaakt door de complexe werkelijkheid. Omdat de waterkwaliteit de resultante is van een groot aantal factoren die ook elkaar beïnvloeden, is het lastig de effecten van één enkele maatregel via veldonderzoek te duiden. Om de invloed van regelbare drainage - los van die andere factoren - op de waterkwaliteit te kunnen vaststellen is een meer integrale manier van onderzoek nodig.

Regelbare drainage kan risico's met zich meebrengen. Deze hebben te maken met de aanleg op niet geschikte percelen, fouten bij ontwerp en aanleg, onjuist beheer, en met tegengestelde belangen tussen de agrariër en de waterschappen. De risico's zijn meestal vermijdbaar als op de juiste manier wordt gecommuniceerd en goede afspraken worden gemaakt.

De geschiktheid van conventionele drainage (CD), regelbare drainage (RD) en samengestelde regelbare drainage (SRD) voor de realisatie van actuele beleidsdoelstellingen, en (al dan niet) beoogde effecten van CD,

RD en SRD op landbouw en natuur zijn ondergebracht in tTabel 1. De beoordeling van geschiktheden is gebaseerd op vier categorieën van informatiebronnen: praktijkproeven in Nederland, praktijkproeven elders, modelstudies en/of expertoordeel.

Tabel 1

De geschiktheid van conventionele (CD), regelbare (RD) en samengestelde regelbare drainage (SRD) voor het realiseren van diverse doelstellingen, en al dan niet beoogde effecten op landbouw en natuur. Referentie bij de weergave van geschiktheden is de ongedraineerde situatie. De criteria op grond waarvan de geschiktheid van RD en SRD wordt beoordeeld zijn 1) resp. 2): afgeleid uit praktijkproeven, uitgevoerd in Nederland en elders, 3) modelstudies en 4) expertoordeel. Hoe lager dit cijfer, des te harder de onderbouwing van de geschiktheid.

doelstelling	Conventionele drainage (CD)	Regelbare drainage (RD)				Samengestelde regelbare drainage (SRD)					
	geschiktheid	geschiktheid	geschiktheid				geschiktheid				
			1 = praktijkproeven NL 2 = praktijkproeven elders 3 = modelstudies 4 = expertoordeel				1 = praktijkproeven NL 2 = praktijkproeven elders 3 = modelstudies 4 = expertoordeel				
			1	2	3	4	1	2	3	4	
ontwateren	++	++	x	x	x	x	++	x	x	x	x
vergroten van waterbeschikbaarheid	-	+ [ⓐ]	x	x	x	x	++ [ⓐ] / +++ ^{ⓐⓑ}	x	x	x	x
reduceren van afvoerpieken	+	++			x	x	++ / +++ [ⓐ]			x	x
water aanvoeren via infiltratie	0/+ [ⓐ]	0/+ [ⓐ]	x	x	x	x	0/+ [ⓐ]	x	x	x	x
reductie van afspoeling N	+	++			x	x	++	x		x	x
reductie van uitspoeling N	-	+			x	x	++	x	x	x	x
reductie van afspoeling P	+	++			x	x	++			x	x
reductie van uitspoeling P	+	++				x	++			x	x
vergroten van draagkracht	+	++				x	++				x
reductie mineralisatie van veen	-	++	x			x	+				x
effect op landbouw (gewasproductie)	+	+			x	x	++			x	x
effect op natuur	-	-				x	-/0 [ⓐ] + [ⓐ]				x

ⓐ bij toepassing van KlimaatAdaptieve Drainage (KAD) (expert-oordeel)

ⓑ afhankelijk van lokale omstandigheden, waaronder bodemtype

ⓒ bij strikte beheersafspraken tussen waterbeheerder en agrariër

1.1 Inleiding

Het Nederlandse waterbeheer is van oudsher gericht op een snelle ont- en afwatering voor de landbouw. De conventionele drainage (hierna 'CD' genoemd) die we al heel lang kennen, vermindert de natschade en verhoogt in sommige gevallen de gewasproductie. In het vroege voorjaar droogt de bouwvoor met drainage sneller op en kan deze eerder bewerkt worden, zodat het groeiseizoen wordt vervroegd en wordt verlengd. Door de snellere afvoer van neerslagoverschotten kan in perioden met overvloedige neerslag stroomafwaarts echter wateroverlast ontstaan, vooral als de (gedraineerde) bodem met regenwater verzadigd is geraakt. Als het langere tijd niet of nauwelijks regent, kan dit leiden tot droogteschade aan landbouwgewassen en verdroging van natuurgebieden. Eventuele watertekorten worden aangevuld door te beregenen, maar de verwachting is dat de beschikbare hoeveelheid beregeningswater in de toekomst afneemt. Daarnaast is het besef gegroeid dat conventionele drainage van landbouwgronden nadelig kan zijn voor nabijgelegen natuurgebieden.

Het regelbaar maken van drainage is wellicht een interessante maatregel om landbouw en andere gebiedsopgaven met elkaar te verenigen. Bij regelbare drainage (hierna 'RD' genoemd) wordt grondwater niet meteen afgevoerd maar (deels) vastgehouden in de bodem. Er zijn twee vormen van regelbare drainage. In de vorm die aansluit bij conventionele drainage wordt het peil van de sloot waarin het drainagewater terecht komt met een stuw ingesteld. Regelbare drainage wordt daarom ook vaak 'peilgestuurde drainage' genoemd. Als de drainbuizen niet op een sloot uitmonden maar ondergronds zijn aangesloten op een afvoerbuys, wordt het peil in een op deze buis aangesloten 'regelput' ingesteld. We spreken dan van samengestelde regelbare drainage (hierna 'SRD').

De landbouw is in veel situaties gebaat bij het structureel vergroten van de waterbeschikbaarheid, via het vasthouden van water en/of waterconservering (vernatting'). Maatregelen die hieraan kunnen bijdragen hebben wellicht ook een gunstige uitwerking op natuur. Het is daarom gewenst om na te gaan hoe in beschermingszones rond natuurgebieden maximaal vernat kan worden, en tegelijkertijd de landbouwkundige productie op peil te houden.

WB21 en het Nationaal Waterplan bepleiten het vasthouden van water, ook in landbouwgebieden. In het Nationaal Waterplan 2009-2015 wordt 'peilgestuurde' drainage specifiek genoemd als maatregel om watertekorten te voorkomen en om versnelde drainage en afvoer tegen te gaan. Het langer vasthouden en beter benutten van water stimuleert de benutting van mineralen en de natuurlijke (zuiverende) processen in grond- en oppervlaktewater. Dit kan ook de waterkwaliteit ten goede komen. Met het oog op het realiseren van de doelen van de KRW moeten er aanvullende maatregelen worden genomen. Ook in dit kader wordt regelbare drainage genoemd als mogelijk effectief instrument ter vermindering van de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten. Het biedt ondernemers daarbij de mogelijkheid om flexibel op veranderende omstandigheden te reageren.

De term 'peilgestuurde' drainage is in deze managementsamenvatting en de achterliggende rapporten vervangen door 'regelbare' drainage (hierna 'RD'). Dit is gedaan om de nadruk te leggen op de essentie van deze vorm van drainage, zijnde het operationele beheer, in casu het regelen van de 'ontwateringsbasis'. Naast samengestelde regelbare drainage is sturing van het oppervlaktewaterpeil één van de manieren waarop de drainage kan worden geregeld.

In 2008 heeft Alterra in opdracht van waterschap Peel en Maasvallei, waterschap Brabantse Delta en DLG een modelstudie verricht. In dit onderzoek (Van Bakel, Van Boekel en Noij, 2008³) zijn de effecten van (S)RD op de hydrologie en de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater gekwantificeerd. De studie concludeerde dat met (S)RD zowel hydrologische, landbouwkundige als waterkwaliteitsvoordelen te behalen zijn: (S)RD kan bijdragen aan verdrogingsbestrijding, piekreductie en vermindering van af- en uitspoeling van nutriënten⁴.

³ Bakel, P.J.T. van, E.M.P.M. van Boekel en G.J. Noij; *Modelonderzoek naar effecten van conventionele en samengestelde, regelbare drainage op de hydrologie en nutriëntenbelasting*. Alterra-rapport 1647, april 2008.

⁴ Van Bakel, Peerboom en Stuyt, 2007. Drainage tegen verdroging en voor een beter milieu: paradox of werkelijkheid. *H₂O* 2007(1): 25-28. Is Van Bakel bij 4 dezelfde als bij 3? Denk ook aan initialen bij Peerboom en Stuyt



Figuur 1

Aanleg van regelbare drainage voor een praktijkproef op een perceel in Ospel (Noord-Limburg).

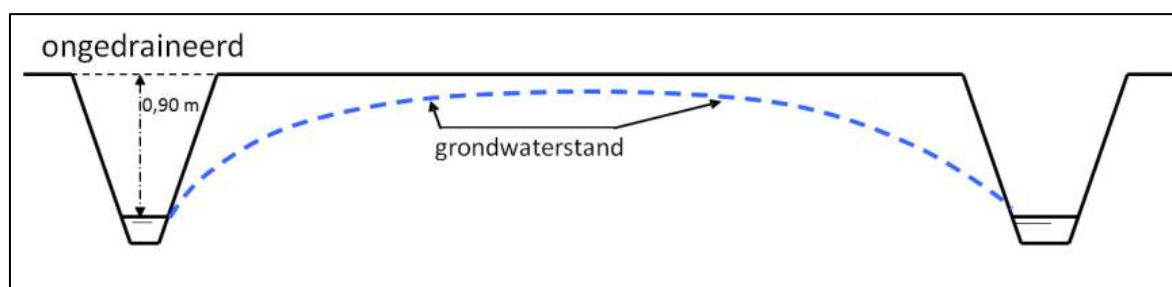
Naar aanleiding van deze resultaten zijn daarom enkele jaren geleden - min of meer gelijktijdig - diverse praktijkproeven (S)RD (Figuur 1) ontwikkeld om te onderzoeken in hoeverre de door het modelonderzoek gewekte verwachtingen in praktijksituaties worden waargemaakt. Onafhankelijk van het modelonderzoek van Alterra waren praktijkproeven ontwikkeld in Moerstraten (2008), Heerle (2008) en Rilland (2008). Het modelonderzoek heeft geleid tot praktijkproeven in Ospel (2008), Colijnsplaat (2010), Haghorst (2010) en Hupsel (2011). 'Het beleid' wil op grond van deze proeven worden geadviseerd over de meerwaarde van (S)RD vergeleken met conventionele drainage (CD). Inmiddels zijn deze praktijkproeven afgerond en gerapporteerd zodat we antwoord kunnen geven op vragen als: wat is er uit deze praktijkproeven gekomen, sluiten de resultaten aan bij de verwachtingen en welke rol kunnende praktijkproeven spelen bij verdere ontwikkeling van (S)RD in Nederland?

1.2 Leeswijzer

In deze rapportage wordt als eerste beschreven wat regelbare drainage is en welke configuraties mogelijk zijn (paragraaf 1.3). Vervolgens wordt ingegaan op argumenten die worden gebruikt om voor regelbare drainage te kiezen (paragraaf 1.4). In paragraaf 1.5 worden ervaringen met regelbare drainage beschreven en geïllustreerd aan de hand van praktijkvoorbeelden, waarna in paragraaf 0 wordt ingegaan op mogelijke risico's en beperkingen rond aanleg en beheer. In paragraaf 1.7 wordt ingegaan op financiële aspecten, waarna in paragraaf 1.8 conclusies worden getrokken.

1.3 Wat is regelbare drainage?

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



Figuur 2

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

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

De volgende vormen van drainage worden onderscheiden:

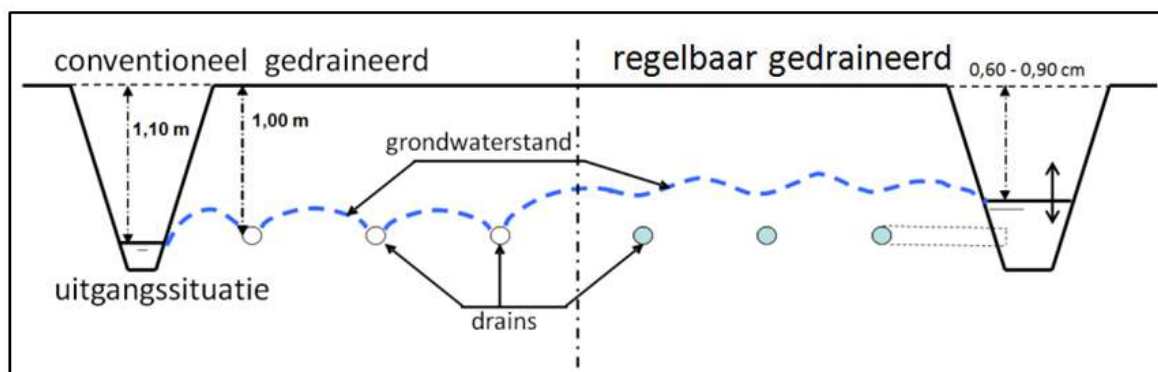
1) *Conventionele drainage (CD)* is ontworpen om overtollig water uit de wortelzone van landbouwpercelen te verwijderen ('ontwatering'). Alle drainbuizen kunnen afzonderlijk vrij uitstromen in een perceelsloot⁵, de drains monden boven het gehanteerde waterpeil uit in de sloot (Figuur 3, links). Conventionele drainage (CD) is in Nederland na de tweede wereldoorlog op grote schaal aangelegd: Nederland moest de voedselproductie weer op gang brengen en daarom werd landbouwgrond grootschalig gedraineerd. Deze vorm van drainage heeft uitstekend aan dit doel voldaan. Doel van dit concept was vooral een structurele verlaging van de grondwaterstand⁶ door ondiep grondwater, ongewenst op een landbouwperceel, snel 'kwijt te raken'. Waterkwaliteit, conserveren van water en inspelen op kortetermijnveranderingen van het weer stonden toen niet op de agenda.

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

⁵ Soms zijn de drains aangesloten op een buis ('verzameldrain'), die op zijn beurt weer vrij uitstroomt in een sloot.

⁶ Door verlaging van de ontwateringsbasis en/of de drainageweerstand.

aantrekkelijk om voorafgaand aan en tijdens extreem natte omstandigheden een perceel extra goed te ontwateren om de waterbergingscapaciteit in de bodem te vergroten en daarmee afvoerpieken te verlagen. 2) *Regelbare drainage (RD)* is uitgerust met een technische voorziening, bijvoorbeeld een stuw, waarmee de grondwaterstand in een gedraineerd perceel - binnen een bepaald bereik - op elk gewenst niveau kan worden ingesteld, dus ook boven de uitstroomopeningen van de drains in de sloot⁷. Als de ingestelde hoogte samenvalt met het gemiddelde maaiveld is de drainage in feite uitgeschakeld; als we deze hoogte erg laag, in casu beneden het niveau van de drains instellen, creëren we in feite een conventioneel werkend drainagesysteem. In het regelbereik tussen deze twee uitersten zal de drainage alleen water afvoeren als het grondwaterniveau boven de ingestelde hoogte van een stuwkje in een perceelsloot of een stelpijp in een regelput uitkomt. Deze hoogte wordt in beginsel zó ingesteld dat natschade aan gewassen wordt voorkomen. Zo'n voorziening is als een gestuwd (=verhoogd) peil in een nabijgelegen perceelsloot weergegeven in Figuur 3⁸ (rechts).



Figuur 3

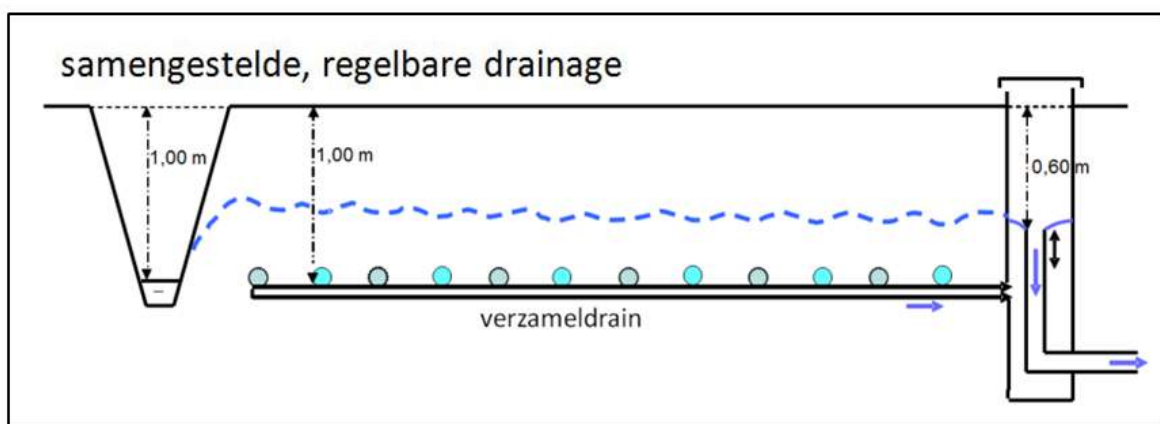
Conventionele drainage, zoals we die in Nederland kennen (links); deze kan op een eenvoudige manier regelbaar worden gemaakt door het peil in de perceelsloot waarin de drains uitmonden, 'op te zetten' (stuwpeil omhoog).

Bij regelbare drainage (RD) kan een agrariër een peil tussen draindiepe en maaiveld (of bovengrens van de voorziening) instellen. Hiermee beïnvloedt hij de grondwaterstand en daarmee de hoeveelheid water die via drainage uit zijn percelen wordt afgevoerd. Dit beïnvloedt in belangrijke mate de hoeveelheid nutriënten die naar het oppervlaktewater af- en uitspoelen. Onder natte omstandigheden kan de ontwateringsbasis (tijdelijk) worden verlaagd om de berging in de bodem te vergroten en ook om de draagkracht van de bodem te vergroten wanneer zware landbouwmachines moeten worden ingezet. Als op een droge periode moet worden geanticiperd kan de ontwateringsbasis (tijdelijk) worden verhoogd om zoveel mogelijk water vast te houden. Wanneer onder droge omstandigheden zoet water van elders kan worden aangevoerd, kan een regelbaar drainagesysteem worden gebruikt om dit water ondergronds, via de drains, naar de wortelzone te brengen en hogere grondwaterstanden te realiseren. In veenweidegebieden kan regelbare drainage worden gebruikt om oxidatie van veen - en daarmee verdere bodemdaling - tegen te gaan.

⁷ Een veelgebruikte en bekende vorm van regelbare drainage is onderbemaling. Deze vorm van RD werkt tussen een aan- en afslagpeil. Regelbare drainage kan ook worden gerealiseerd door alle drainuitmondingen van een conventionele drainage te voorzien van verstelbare en/of draaibare eindbuizen. Beide vormen van RD blijven hier onbesproken.

⁸ Figuur 3, Figuur 4 en Figuur 5 zijn vereenvoudigingen van de werkelijkheid. De suggestie wordt gewekt dat de drains (weergegeven als 'o') evenwijdig aan sloten zijn geïnstalleerd. Dit is niet zo; de drains worden (min of meer) haaks op de sloten geïnstalleerd.

3) *Samengestelde regelbare drainage (SRD)* is regelbare drainage die is uitgerust met een regelput met daarin een verticaal geplaatste overstroompijp om het gewenste peil in te kunnen stellen. In plaats van gebruik te maken van een stuw in een perceelsloot zijn de drains ondergronds aangesloten op een buisvormige verzameldrain (de 'collectorbuis') die in deze regelput uitstroomt; we spreken dan van *samengestelde regelbare drainage* (hierna 'SRD'), zie Figuur 4. Deze put lost vervolgens zijn water op de perceelsloot. Het voordeel van SRD ten opzichte van RD (een stuw in een sloot) is dat het peil autonoom, perceelsgewijs kan worden ingesteld zonder dat aangrenzende percelen hier last van ondervinden. Het actieve regelbereik van SRD wordt uiteindelijk bepaald door de aanlegdiepte van de drains en de peilen die een waterschap in de omgeving handhaaft. Bij hoge slootpeilen kan water vanuit de put worden afgevoerd met een eenvoudige pompvoorziening. Om water vast te houden kan het putniveau boven het slootpeil worden gezet, de resulterende grondwaterstanden worden dan (passief) bepaald door het neerslagoverschot en door de stromingsweerstand in de bodem. Door water aan te voeren en de regelput in te pompen kan ook in het bereik boven het slootpeil actiever worden gestuurd.



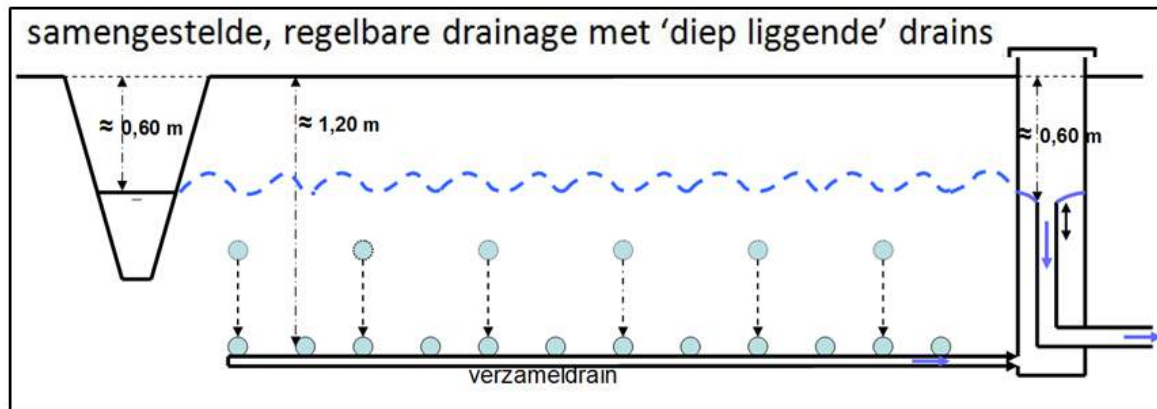
Figuur 4

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

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

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

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



Figuur 5

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

In Nederland worden sinds 2011 op drie locaties praktijkproeven gedaan met een innovatieve vorm van sturing van SRD, die inmiddels bekend staat als Klimaat Adaptieve Drainage (KAD)⁹; zie Figuur 6. Bij KAD kan de hoogteinstelling in de regelput op afstand, draadloos worden geregeld, bijvoorbeeld met een smartphone. De regelput is dan niet, zoals bij SRD, uitgerust met een PVC regelpijp maar met een flexibele, uittrekbare buisvormige rubberen manchet die via een mechanisch regelmechanisme op de gewenste hoogte wordt ingesteld. Deze vorm van 'real time control' is in het oppervlaktewaterbeheer in opkomst en kan in beginsel ook bij RD worden gerealiseerd (regeling van stuwstjes).

⁹ <http://www.futurewater.nl/kad/>



Figuur 6

Installatie voor Klimaat Adaptieve Drainage (KAD), die wordt ontwikkeld in het kader van drie praktijkproeven.

Omdat de drainagebasis dan wel de bodemvochthuishouding in de wortelzone met KAD online, real time, en op termijn ook geautomatiseerd kan worden gestuurd, kan de ondiepe grondwatervoorraad in de bodem zo goed mogelijk (anticiperend) worden afgestemd op de weersomstandigheden, de weersverwachting en de waterbehoefte. KAD geeft de agrariër in beginsel de mogelijkheid om het beheer van zijn landbouwwater te optimaliseren. KAD kan wellicht ook zó worden beheerd dat een opwaartse kwelstroom van brak grondwater via RD of SRD meer richting open water wordt geleid zodat de zoete regenwaterlens op de kavel maximaal in dikte kan groeien. Hierdoor kan in droge tijden meer zoet water voor het gewas beschikbaar komen en kan de kans op zoutschade afnemen. Zo'n toepassing van KAD in een brakke of zilte veldsituatie is voornamelijk gebaseerd op expert judgement en in de praktijk nog niet gerealiseerd. Onderzocht wordt in hoeverre de geavanceerde sturingsmogelijkheden en -opties van KAD meerwaarde biedt vergeleken met SRD-systemen (Eertwegh et al., 2012)¹⁰

Regelbare drainage in de landbouw mag dan onlangs opnieuw in Nederland zijn geïntroduceerd; nieuw is het niet. Al in 1953 betreft drainagedeskundige Visser¹¹ het dat SRD in Nederland lang niet zo veel 'medestanders' vindt als in het buitenland. In de jaren 80 van de vorige eeuw heeft het toenmalige ILRI (=International Institute for Land Reclamation and Improvement) onderzoek verricht naar de effecten van SRD in de geïrrigeerde landbouw. Ten opzichte van conventionele drainage werden waterbesparingen tot 50% gerealiseerd, zonder significante opbrengstverliezen en met voordelen in de vorm van waterbesparing en verbetering van de waterkwaliteit. De conclusie na vele onderzoeksprojecten was duidelijk: draineer niet meer dan noodzakelijk! (Vlotman, 2002). In Noord-Amerika is al ruim dertig jaar onderzoek gedaan naar de effecten van (S)RD, met als doel om zowel de belasting van oppervlaktewater met nutriënten te verminderen als water te conserveren. Bij alle (8) praktijkproeven nam het gedraineerde watervolume af met percentages variërend tussen 17 en 90%. De effecten van de verschillende proeven wijzen in dezelfde richting en daarom wordt (S)RD

¹⁰ KlimaatAdaptieve Drainage: een innovatief middel voor waterschap en agrariër tegen piekafvoeren en watertekorten als gevolg van klimaatverandering. H₂O 18/2012.

¹¹ De grondslag voor de keuze van de buiswijdte bij enkelvoudige en samengestelde drainage. Voordracht, gehouden op 29 juni 1953 door Ir. W.C. Visser. Cultuurtechnische Dienst, Afdeling Onderzoek.

al sinds 2003 in een aantal Amerikaanse staten aanbevolen als maatregel om de belasting van oppervlaktewater te verminderen en de gewasopbrengst te verhogen.

1.4 Waaron regelbare drainage? De kansen

1.4.1 Waterkwantiteit

Argumenten waarom in Nederland overwogen moet worden (S)RD toe te passen:

1. Waterschappen kunnen hun missie beter vervullen als zij agrariërs stimuleren over te schakelen op (S)RD.
Meer specifiek:
 - a. Met (S)RD kan aan de wens van voldoende drooglegging worden voldaan wanneer dat nodig is, terwijl de waterbeschikbaarheid op jaarbasis toeneemt door het minimaliseren van de afvoer wanneer de situatie dit toelaat.
 - b. Wateroverlast door (laagfrequente) extreme neerslaggebeurtenissen kan worden teruggedrongen als (S)RD met kleine drainafstanden wordt aangelegd (waardoor de drainage snel reageert), en proactief wordt geanticipeerd op weersverwachtingen.
2. Waterbeschikbaarheid is niet overal en altijd vanzelfsprekend. Waterbeheer aan de bron via (S)RD stelt agrariërs in staat om zelf, min of meer autonoom en 'complementair' aan het regionale waterbeheer, actief op waterkwantiteit op zijn bedrijf te sturen. Hieronder enkele voorbeelden, variërend van bewezen functionaliteit tot veronderstelde, maar nog niet in de praktijk getoetste functionaliteit.
 - a. (S)RD maakt het mogelijk om bij goed beheer voorafgaand aan perioden van droogte, via het verondiepen van de drainagebasis, meer grondwater vast te houden en te benutten. Hierdoor wordt de vochtinhouding van de bodem verbeterd en neemt het risico op droogteschade aan gewassen af, zij het dat het risico op natschade bij onverwachte extreme neerslaghoeveelheden toeneemt.
 - b. Wanneer bij (S)RD gewerkt wordt met kleine drainafstanden is de drainageweerstand (aanzienlijk) lager dan bij CD; hierdoor kan met (S)RD snel worden geanticipeerd op voorspelde neerslagpieken en kan snel worden gereageerd op onverwachte buien en kan natschade worden voorkomen.
 - c. (S)RD kan worden gebruikt om dikkere neerslaglenzen te creëren en interne verzilting via de ondergrond tegen te gaan.
 - d. Met (S)RD kan de ontwateringsdiepte bij gewasrotaties worden aangepast aan het geteelde gewas.
 - e. (S)RD is te prefereren boven CD als het gewenst is om grondwaterstanden nauwkeurig in te stellen zoals bijvoorbeeld in de bollenteelt.
 - f. Klimaat Adaptieve Drainage (KAD) kan, desgewenst in combinatie met een beslissing ondersteund systeem, worden gebruikt om in (S)RD de drainagebasis op basis van de actuele vochttoestand en weersverwachting op het scherpst van de snede in te stellen.
 - g. (S)RD kan, wanneer water van elders kan worden aangevoerd (Schoondijke¹², Haghorst¹³, USA¹⁴), worden gebruikt voor ondergrondse irrigatie, tegen lagere kosten en met efficiënter watergebruik dan bij beregening.¹⁵

¹² In Schoondijke (Zeeland) is in juni 2010 een praktijkproef infiltratie op kleigrond uitgevoerd. De bodemopbouw is een drie meter dikke, zwakzandige kleilaag op een ca. zeven meter dikke laag matig fijn zand. Het peil in de regelput werd opgezet tot een niveau van 30 cm boven de drainagebasis in het perceel, ca. 40 cm boven de grondwaterstand van dat moment. De metingen lieten zien dat de grondwaterstand gelijk begon te stijgen. Binnen vier dagen is de grondwaterstand gelijkmatig over het perceel 20 tot 30 cm gestegen. De 'overdruk' van het inlaatwater ten opzichte van de gerealiseerde grondwaterstand bedraagt slechts 10-20 cm. Na tien dagen is de inlaat van water gestopt. De grondwaterstand zakt dan ook snel weer uit. Dit experiment toont aan dat infiltratie ook op zware gronden mogelijk is. Meer informatie is te vinden vanaf pagina 252.

Gegeven het bovenstaande lijkt het zinvol om op grotere schaal in Nederland te evalueren hoe (S)RD wordt toegepast, en hieruit te destilleren waaruit een goed ontwerp en -beheer van (S)RD moet voldoen. De gebruikers moeten hun 'installatie' zo goed mogelijk leren te bedienen en hun landbouwwater op het 'scherpst van de snede' beheren. Het zou goed zijn om nieuwe ervaringen met zo veel mogelijk collega's te delen.

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

1.4.2 Waterkwaliteit

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

1. De ontwateringsbasis zó in te stellen dat water in grotere mate wordt vastgehouden. Hierdoor wordt de grond natter, neemt de kans op denitrificatie in de bodem en rond de drains toe en neemt de belasting van stikstof naar het grond- als oppervlaktewater af ten opzichte van conventionele drainage met een diepere ontwateringsbasis. Een beter op de behoefte afgestemde vochtthuishouding zorgt voor een beter groeiend, en dus een meer nutriënten opnemend gewas. Als gevolg van de betere benutting en de grotere kans op denitrificatie spoelen minder nutriënten uit en neemt de emissie naar grond- en oppervlaktewater af.
2. Als de drains diep en met een kleine drainafstand zijn aangelegd kan de grondwaterstand zó nauwkeurig en snel worden gestuurd dat de kans toeneemt dat de grondwaterstand beneden de onderkant van de fosfaatverzadigde laag blijft, waardoor de uit- en afspoeling van fosfor gelijk blijven of afnemen.
3. Als een dusdanig beheer wordt gevoerd dat de emissie van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater afneemt draagt (S)RD bij aan de realisatie van KRW-doelen.

1.4.3 Productieomstandigheden

1. Met (S)RD kunnen agrariërs, complementair aan het peilbeheer van waterschappen (bijvoorbeeld bij vernatting) en min of meer autonoom, het waterbeheer van hun percelen zelf actief regelen/beïnvloeden; zie Figuur 7.
2. Met (S)RD kan een meer uniformere grondwaterstand in een perceel worden gerealiseerd waardoor agrariërs bij een gemiddeld hogere grondwaterstand het land op kunnen. Ook leidt dit waarschijnlijk tot een gelijkmatiger gewasgroei op het perceel.
3. Door het vasthouden van water worden droogteschade en beregeningsbehoefte verminderd of voorkomen.
4. Door het via actief beheer anticiperen op hevige buien worden wateroverlast en natschade verminderd of voorkomen.
5. De meeste 'drainagebehoefte' landbouwpercelen - percelen met structurele wateroverlast - zijn in Nederland gedraineerd. Omdat met (S)RD echter niet alleen overtollige neerslag kan worden afgevoerd,

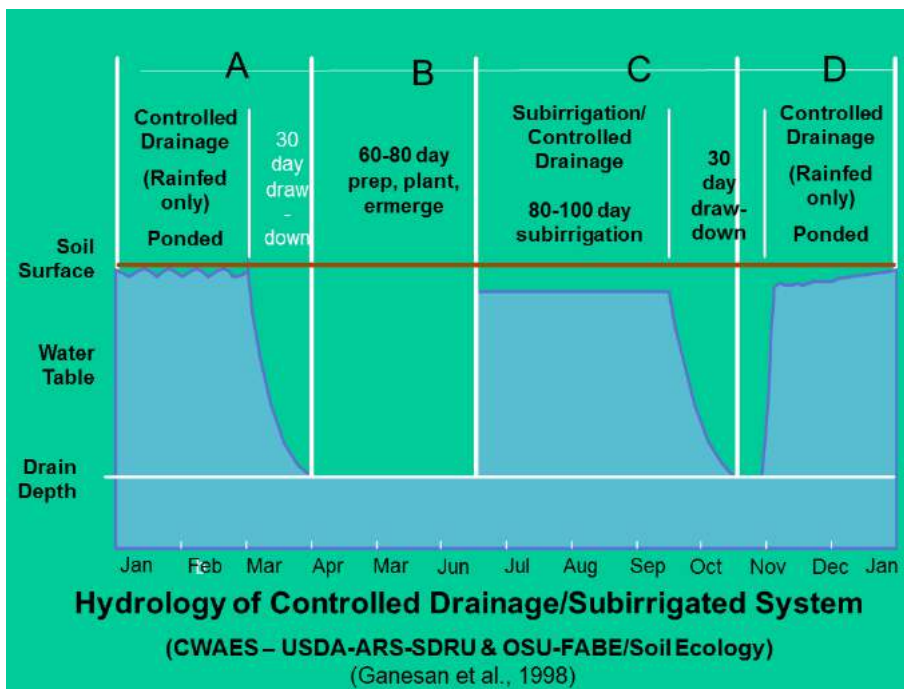
¹³ Op infiltratieproefveld Haghorst is wellicht 'te laat' begonnen met infiltratie via het samengestelde, regelbare drainagesysteem, waardoor het infiltratiewater wellicht moeilijk in de bodem kon infiltreren.

¹⁴ Prof. Dr. R. Wayne Skaggs (NCSU), persoonlijke mededeling dd. 7 november 2011.

¹⁵ Meerdere boeren die betrokken waren bij het communicatieproject dat gekoppeld was aan het project 'Samengestelde, regelbare drainage' gaven aan met veel succes water via hun samengestelde, regelbare drainagesysteem te infiltreren. Hiervoor hadden zij geen dure apparatuur en brandstof nodig (dit laatste geldt overigens alleen als de peilen in de sloten die water aanvoeren, hoog genoeg zijn zodat niet gepompt hoeft te worden).

maar ook water desgewenst kan worden vastgehouden komen meer percelen in beeld voor aanleg van (S)RD als maatregel om te sturen bij de bron. 'Drainagebehoefte zijn' is daarmee niet langer het enige criterium om aanleg van (S)RD op een perceel te overwegen.

6. Door de aanleg van een verzamelrain bij SRD zijn geen kavelsloten meer nodig en kunnen deze - voor zover ze geen waterbergende, of -transportfunctie hebben - worden gedempt. Hiermee wordt het agrarisch productiepotentieel vergroot en bovendien nemen ook de directe afspoeling van N, P via het maaiveld (en de drift naar open water van bestrijdingsmiddelen) af waardoor een aanvullende verbetering van de waterkwaliteit wordt gerealiseerd.



Figuur 7

Beheer van (S)RD-systemen. Ganesan et al. (1998) beschrijven de perioden tijdens gewasproductie: water vasthouden tot 1 april, drainage tot de zomer, sub-irrigatie via de drains tot aan de oogst, gevolgd door verhoging van de drainagebasis om water tijdens de komende winter vast te kunnen houden.

1.4.4 Natuur

(S)RD kan in landbouwkundig gebruikte beschermingszones rond natuurgebieden helpen verdroging tegen te gaan door (gemiddeld) ondiepere grondwaterstanden te realiseren. Hier kan ook de landbouw baat bij hebben, want agrariërs hebben immers in veel gevallen belang bij waterconservering, terwijl ze een teveel aan water snel willen kunnen afvoeren. (S)RD biedt de mogelijkheid om in vernattingsituaties (hogere omgevingspeilen) rond natuur effectief te blijven boeren. Als het gewenst is kunnen grondwaterstanden immers tijdelijk worden verlaagd, ondanks het feit dat deze op jaarbasis zijn verhoogd en per saldo op nabijgelegen natuur een positief effect hebben. In situaties waar CD door (S)RD wordt vervangen is dit evident, maar wanneer (S)RD op ongedraineerde percelen wordt aangelegd is dat minder vanzelfsprekend. Ook bij introductie van (S)RD op ongedraineerde percelen kunnen onder bepaalde voorwaarden nattere omstandigheden worden gecreëerd waar zowel natuur als landbouw voordeel van hebben. De drainagebasis kan relatief hoog worden ingesteld zonder het risico dat dit bij hevige neerslag tot overlast leidt. Dat geldt vooral voor Brabant en Limburg, waar

soms sprake is van wateroverlast, maar veel vaker van droogte. (S)RD fungeert in zulke situaties als 'noodvoorziening' en draagt bij aan de realisatie van ondiepere grondwaterstanden.

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

1.5 Ervaringen met regelbare drainage - het agrarisch perspectief

1.5.1 Praktijkproeven

In Nederland ontstond rond 2007 behoefte aan bevestiging of de veelbelovende effecten van (S)RD die in de modelstudie van Alterra (Van Bakel, Van Boekel en Noij, 2007) naar voren waren gekomen, ook in praktijksituaties zouden kunnen worden vastgesteld. In dat geval zou (S)RD daadwerkelijk een goede en duurzame maatregel zijn voor een beter beheer van landbouwwater aan de bron. Hoewel de risico's van praktijkproeven door opdrachtgevers en kennisinstututen waren onderkend blijkt het, achteraf gezien, lastiger om de onder praktijkomstandigheden waargenomen effecten van (S)RD-systemen te duiden dan in eerste instantie was verondersteld. Het moeizame karakter van praktijkonderzoek aan drainage werd overigens decennia geleden al onderkend door de Wageningse hoogleraar Agrohydrologie Prof. Dr. W.H. van der Molen. Hij leerde zijn studenten dat praktijkproeven rond landbouwdrainage onvermijdelijk behept zijn met onzekerheden en daarom niet meer kunnen opleveren dan indicaties (signalen) van het gedrag van de onderzochte systemen. De werkelijkheid is meestal complexer dan kan worden gevat in de aannamen waar bij onderzoek vanuit moet worden gegaan en waar computersimulatiemodellen op zijn gebaseerd. De waterkwaliteit wordt bijvoorbeeld niet alleen bepaald door de wijze waarop wordt gedraineerd, maar door meer factoren zoals ruimtelijke en temporele variabiliteit, snelheid van reactie van het watersysteem op veranderingen, wisselende klimaatomstandigheden, gewaskeuze, tijdstip van bemesting en toepassing bestrijdingsmiddelen en dergelijke die in de proefopzet idealiter als 'vaste factoren' worden meegenomen. Deze complexe werkelijkheid geldt voor meer processen. In een onderzoek naar verspreiden van bagger (Harmsen et al., 2012¹⁶) kon bijvoorbeeld niet worden vastgesteld dat de waterkwaliteit verbeterde hoewel de randvoorwaarden voor een goede waterkwaliteit wel aantoonbaar verbeterden. Een belangrijke conclusie is daarom dat wanneer onderzoek wordt overwogen naar maatregelen waarmee we denken de waterkwaliteit te kunnen sturen, dat onderzoek een meer integraal karakter moet krijgen waarbij rekening wordt gehouden met alle sturende factoren. De verdienste van de serie praktijkproeven van de afgelopen jaren is (naast alle informatie die zij hebben opgeleverd en de lessen die we hieruit kunnen trekken) dat deze veel in beweging hebben gebracht en een platform hebben gecreëerd waarop het denken over (S)RD en SRD in Nederland in een stroomversnelling is geraakt.

¹⁶ Harmsen, J., R.P.J.J. Rietra, J. E. Groenenberg, J. Lahr, A van der Toorn en H.J. Zweers, 2012. Het verspreiden van bagger op het land in klei- en veengebieden, Alterra-rapport 2282 /STOWA-rapport 2012-22.

1.5.2 Vasthouden van water

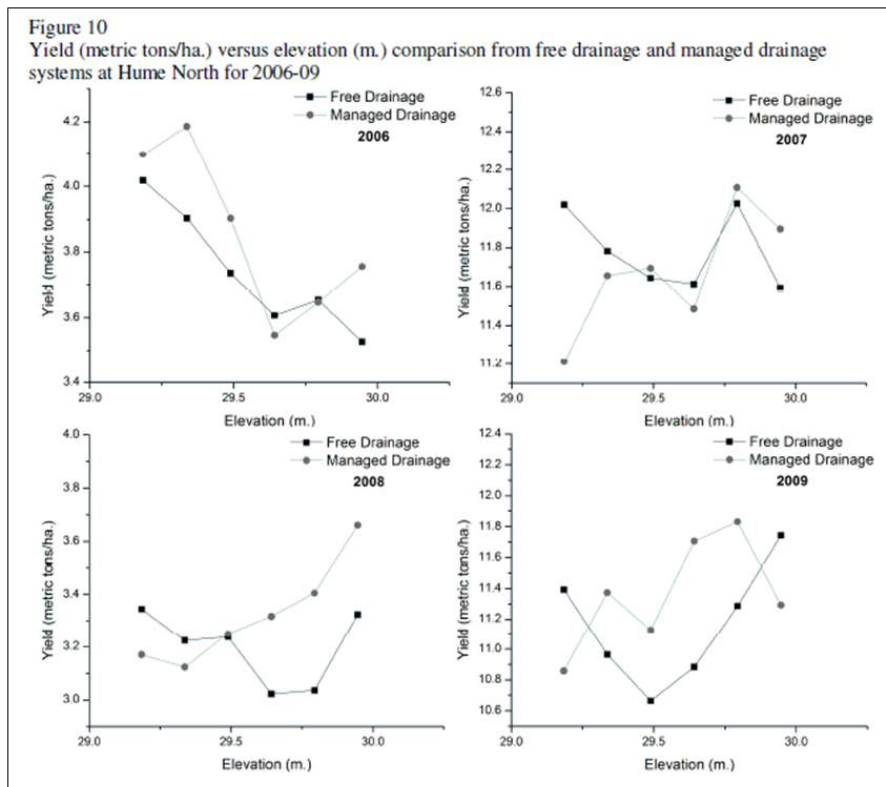
In niet-gedraineerde en conventioneel gedraineerde situaties is van bewust 'vasthouden' van water geen sprake. In een niet-gedraineerde situatie zal de agrariër geneigd zijn een relatief dieper peil in zijn sloten aan te houden om ook in het midden van het perceel voldoende drooglegging te hebben. Van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

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

Gerapporteerde praktijkervaringen met het vasthouden van water met (S)RD zijn schaars. Op het melkveebedrijf van Martijn Tholen te Veldhoven is in 2009 in samenwerking met Waterschap De Dommel, ZLTO en de provincie Brabant SRD aangelegd. Tholen is positief over de landbouwkundige voordelen. 'Ik ben vooral blij dat ik nu meer grip heb op de watervoorziening van mijn percelen. Op de droogste percelen levert het me een extra snede gras op. Daarnaast heb ik er een hoop gemak van, het spaart me elk seizoen zeker een keer beregenen uit.'¹⁷ De verwachting van hogere gewasopbrengsten bij grotere waterbeschikbaarheid wordt ondersteund door eerder buitenlands onderzoek (USA); zie Figuur 8¹⁸.

¹⁷ <http://www.ppo.wur.nl/nl/nieuwsagenda/archief/nieuws/2010/veldsymposium020610.htm>

¹⁸ Drainage Water Management for Midwestern row crop agriculture (Hume north, Illinois, USA). Agricultural Drainage Management Coalition, P.O. Box 592, Owatonna, MN 55060 USA.



Figuur 8

Maisoogsten uit veldproeven, gehouden in zware zavelgronden in Hume (Illinois), tussen 2006 en 2009. De oogst is gerelateerd aan de hoogte van de ontwateringsbasis die bij regelbare drainage ('Managed Drainage') wordt gehandhaafd.

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

Los hiervan lijkt het erop dat veel zandgronden in Limburg in Noord-Brabant zó goed doorlatend zijn dat het niet lukt om in de zomer water vast te houden. Niet elk perceel is geschikt voor (S)RD; regelbare drainage biedt alleen perspectief als er voldoende water beschikbaar is dat via buisdrainage kan worden afgevoerd. Als op een perceel sprake is van aanzienlijke wegzijging (=neerwaartse beweging van grondwater) valt er met (S)RD weinig te sturen. Proeflocatie Ospel is hiervan een voorbeeld. Het hoeft geen betoog dat een beheerder maximaal kan sturen op een perceel waar sprake is van netto aanvoer van water: in de vorm van neerslag, opkwellend grondwater en infiltratie van oppervlaktewater vanuit omringende sloten. (S)RD zal onder zulke omstandigheden zeker een effectieve maatregel kunnen zijn. Een besluit tot aanleg van (S)RD moet op grond van dit soort criteria zorgvuldig worden overwogen. De drainage moet een significante post zijn in de waterbalans van het perceel, niet alleen in het najaar en de winter maar zeker ook in die van het voorjaar (april tot en met juni).

1.5.3 Zoetwatervoorziening

Aanleg van (S)RD betekent dat de bodemvochthuishouding beter kan worden beheerd dan voorheen. Als het regelbaar gedraineerde perceel zich in een regio bevindt waar zoet water van elders kan worden aangevoerd, kan het geïnstalleerde buizenstelsel niet alleen worden gebruikt om te draineren maar ook om dit 'externe' water tijdens droge perioden naar de wortelzone van de gewassen te transporteren (Stuyt (1998)¹⁹ en Haghorst, 2012). Deze verwachting wordt ondersteund door praktijkervaringen van agrariërs in Limburg, die rapporteren over de vele kuubs ingelaten water die zij via de regelputten van hun SRD hun drainagesysteem zien en horen instromen (bronnen). Een pluspunt van SRD ten opzichte van CD is de mogelijkheid die de agrariër krijgt om in de regelputten te 'monitoren' en zo nodig in te grijpen. Daarmee worden betrokkenheid en bewustzijn van agrarische ondernemers bij het schaarser wordende productiemiddel 'landbouwwater' vergroot.

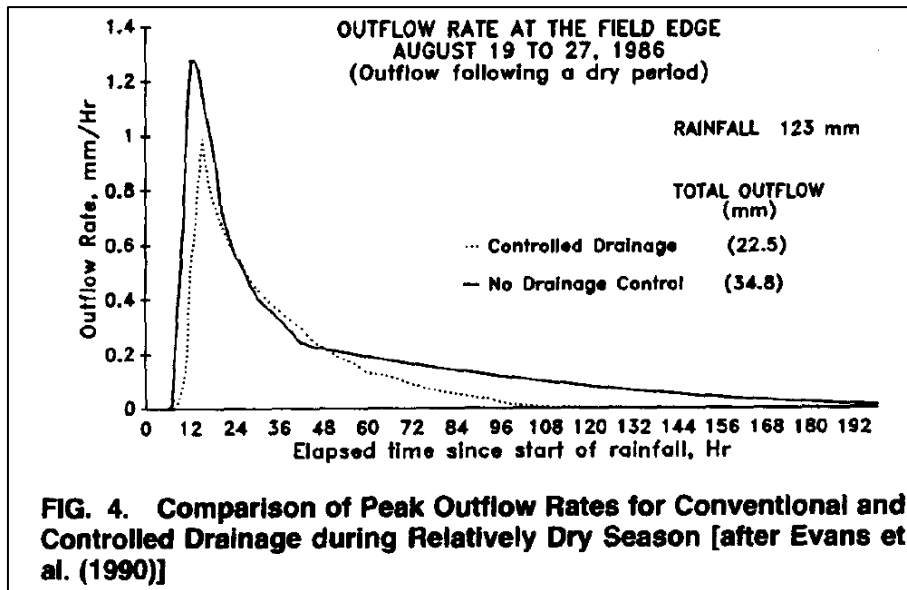
Op percelen die gevoelig zijn voor verzilting door opwellend brak grondwater voert ondiep aangelegde CD ook neerslagwater af waardoor het risico op zoutschade groter wordt; de draandiepte bepaalt in zulke situaties bij een neerslagoverschot de diepte van de brakke mengzone. In zulke situaties kan (S)RD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

1.5.4 Reductie van piekafvoeren

De aanleg van conventionele drainage (CD) zorgt ervoor dat snel een aanzienlijke verlaging van de grondwaterstand wordt gerealiseerd om gewenste drooglegging te realiseren. Hierdoor wordt tegelijkertijd de berging in de bodem vergroot waardoor piekafvoeren worden voorkómen of afgevlakt en vertraagd. Met dieper aangelegde (S)RD kan doelbewust worden geanticipeerd op verwachte zware neerslag door het creëren van extra bergingscapaciteit in de bodem ten opzichte van CD, net zoals een waterschap aan risicobeheer kan doen door in zulke gevallen te gaan voormalen. Deze vorm van actief beheer via drainage moet nog worden ontwikkeld; er is in Nederland geen veldonderzoek bekend waar dit operationeel is 'gemonitord'. In de USA wel (Evens et al., 1995²⁰) Het effect dat regelbare drainage op piekafvoeren heeft is, vergeleken met het effect van conventionele drainage, situatieafhankelijk; zie Figuur 9 en Figuur 10.

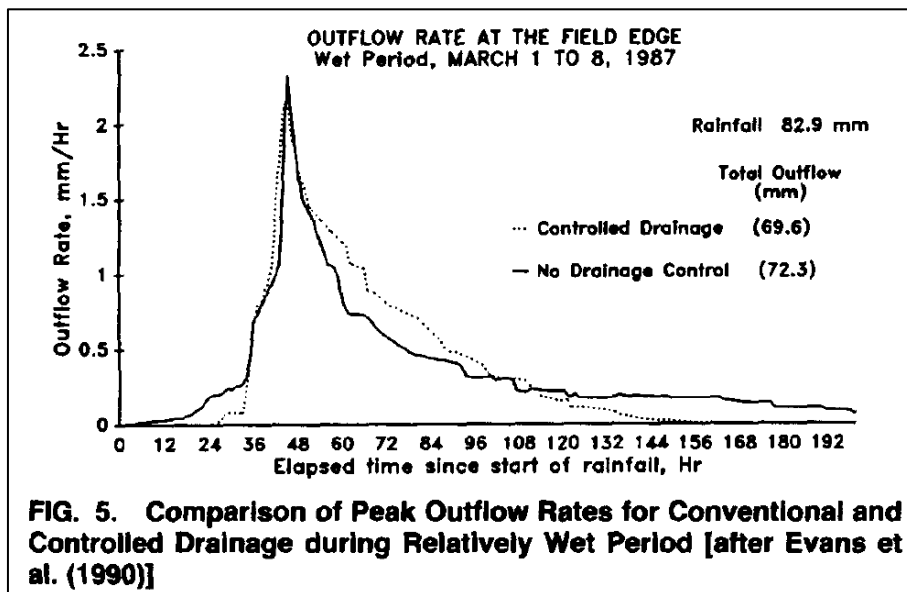
¹⁹ Stuyt, L.C.P.M., 1998. Schade aan onderlopende buisdrainage Literatuurstudie - State-of-the-Art - Onderzoeksvoorstel. DLO-Staring Centrum, Wageningen.

²⁰ Robert O. Evans, R. Wayne Skaggs en J. Wendell Gilliam, 1995. *Controlled versus conventional drainage effects on water quality*. Journal Of Irrigation And Drainage Engineering /July/August 1995/271.



Figuur 9

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



Figuur 10

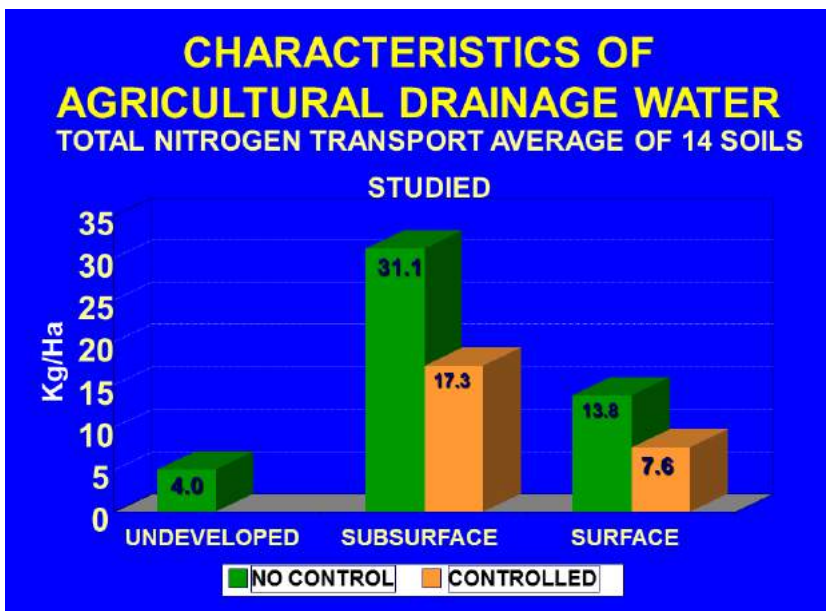
Vergelijking van piekafvoeren uit conventionele en regelbare drainagesystemen; onder natte omstandigheden zijn de effecten op piekafvoeren gering; afvoerpieken kunnen zelfs toenemen (Evens et al., 1995).

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

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

1.5.5 Uitspoeling van nutriënten

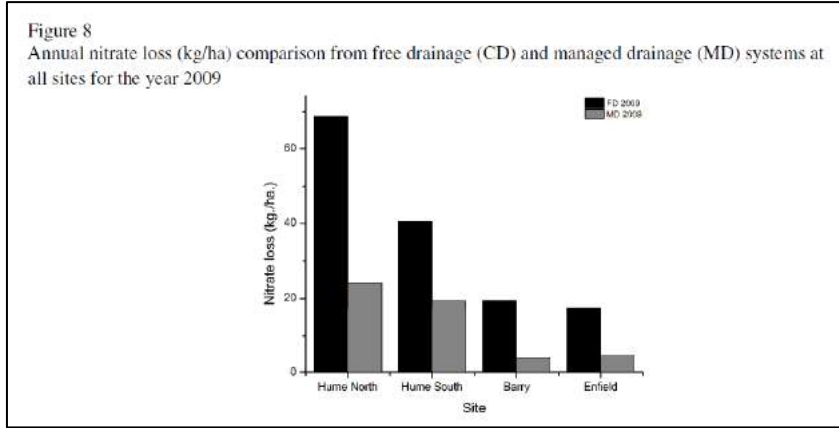
Met de aanleg van (S)RD wordt de waterbalans van een perceel via de drainage stuurbaar. Hiermee stuurt een agrariër ook de nutriëntenbalans, zij het doorgaans niet bewust. Uit vele onderzoeksprojecten en waarnemingen is inmiddels goed bekend dat de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten (vooral N) gerelateerd is aan de grondwaterstand die gerelateerd is aan het ingestelde drainageniveau bij CD ('no control') en (S)RD ('controlled'); zie bijvoorbeeld Figuur 11 en Figuur 12.



Figuur 11

Effect van drainage op de nitraatuitspoeling uit de drains. Gegevens samengevat uit acht onderzoeksprojecten, uitgevoerd in de USA, Canada en Zweden tussen 1979 en 2007.

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



Figuur 12

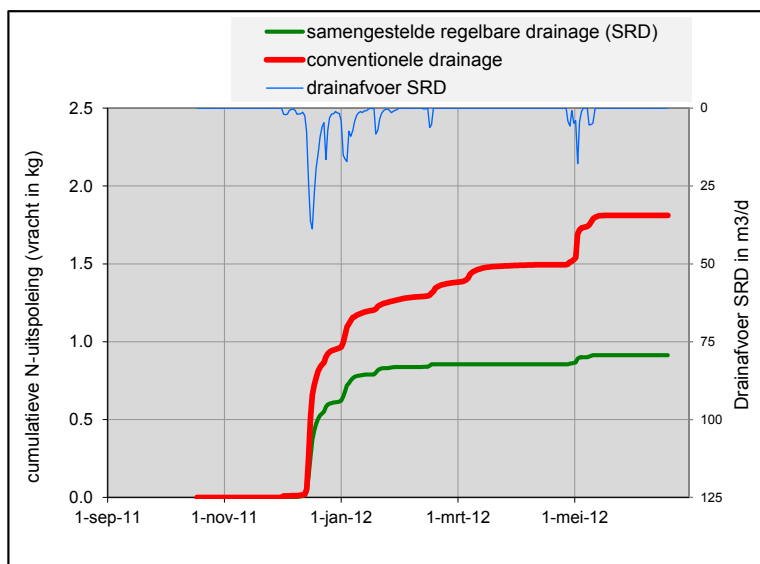
Effect van drainage op de nitraatuitspoeling uit de drains. Bron: waarnemingen in Illinois (USA), gedaan in 2009²¹.

Bewust sturen op uitspoeling van nutriënten maakt geen deel uit van de bestaande landbouwpraktijk. Sturen op waterkwaliteit lijkt sowieso moeilijker dan sturen op waterbeschikbaarheid, door het grotere aantal factoren die de waterkwaliteit beïnvloeden als de vereiste meetinspanning. (S)RD biedt echter mogelijkheden om uitspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater terug te dringen door vermindering van drainafvoeren. Recente praktijkproeven in Nederland getuigen hiervan. Een conclusie die kan worden getrokken is dat de belasting van het oppervlaktewater via de drainage, de zogenoemde 'vrachten', vooral geassocieerd is met de hoeveelheid afgevoerd drainagewater; zie Tabel 2 (praktijkproef 'Rilland'²²) en Figuur 13 (praktijkproef 'Rusthoeve'²³). De beoogde effecten worden gerealiseerd door het verhogen van de waterstand in controleput(ten) of ontvangende sloten. (S)RD biedt daarmee in beginsel de mogelijkheid om, door verstandig beheer, de uitspoeling van nutriënten uit een perceel te verminderen en bij te dragen aan de realisatie van de doelen van de KRW.

²¹ Drainage Water Management for Midwestern row crop agriculture (Hume north, Illinois, USA). Agricultural Drainage Management Coalition, P.O. Box 592, Owatonna, MN 55060 USA.

²² Proeflocatie drainage van project 'Stikstof op het juiste peil' van waterschap Brabantse Delta.

²³ Proeflocatie drainage van project 'Waterkwaliteitseffecten van samengestelde, regelbare diepe drainage op kleigrond in de provincie Zeeland'.



Figuur 13

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

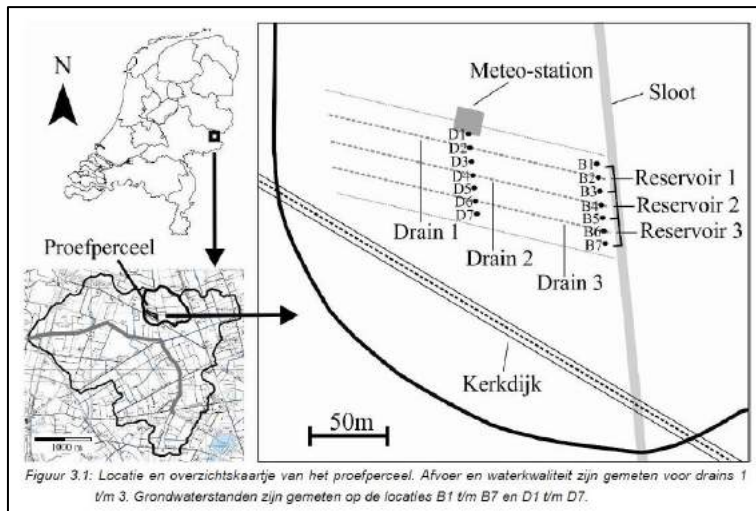
Tabel 2

Berekende vrachten N- en P-totaal voor locaties met cumulatieve debietmetingen, waargenomen op proeflocatie Rilland.

Perceel / drainagevorm	Peil, cm - mv	N-totaal vracht	P-totaal vracht
Rilland SRD	70	4,0 kg/ha	44 gram/ha
Rilland CD	90	5,3 kg/ha	225 gram/ha

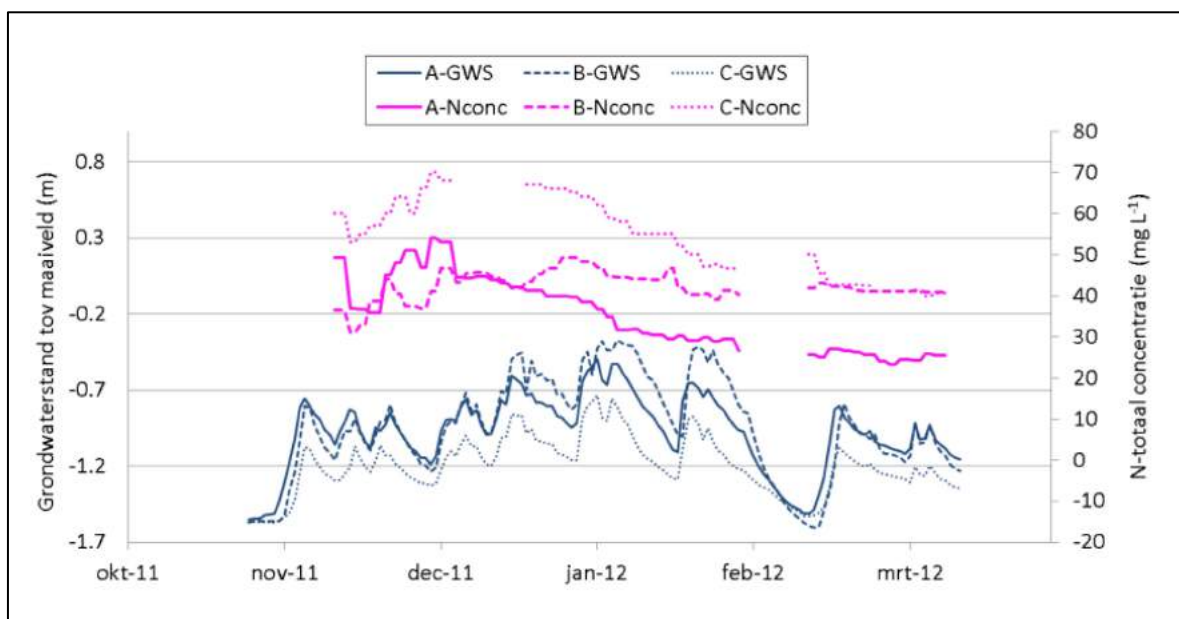
Waarnemingen, gedaan tijdens recente praktijkproeven te Ospel en Hupsel²⁴ (Figuur 14), en gericht op het vaststellen van veronderstelde relaties tussen het beheer van drainagesystemen (i.c. het verhogen van de waterstand in controleput(ten) of ontvangende sloten) enerzijds, en concentraties van nutriënten in het drainagewater anderzijds, hebben echter niet tot overtuigende resultaten geleid, zie Figuur 15 en Figuur 16.

²⁴ Rozemeijer, J.C., H.P. Broers, A. Visser, M. Winegram, W. Borren, L. Gerner, B. van IJzendoorn en A. Kramer, 2012. Veldonderzoek naar de effecten van peilgestuurde drainage op grondwaterstanden, drainafvoeren en waterkwaliteit op het Oost-Nederlands Plateau. Deltares rapportnummer 1201979-000-BGS-0001, Utrecht.
 Rozemeijer, J.C., H.P. Broers, A. Visser, L. Gerner en A. Kramer-Hoenderboom, 2012. Effecten van peilgestuurde drainage. H₂O 18(2012): 32-33.



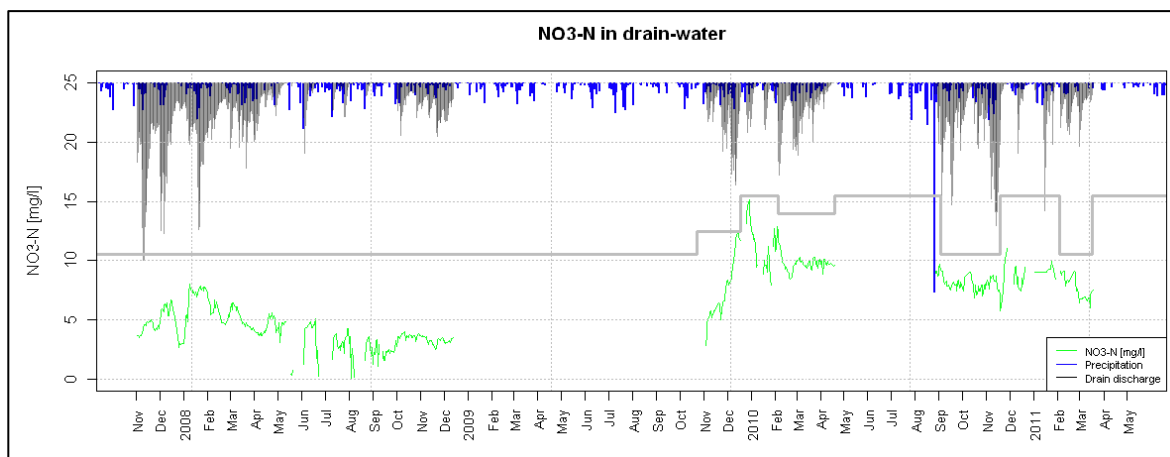
Figuur 14

Locatie en overzichtkaartje van proeflocatie Hupsel. Bron: Rozemeijer, J.C., H.P. Broers, A. Visser, M. Winegram, W. Borren, L. Gerner, B. van IJendoorn en A. Kramer, 2012. Veldonderzoek naar de effecten van peilgestuurde drainage op grondwaterstanden, drainafvoeren en waterkwaliteit op het Oost-Nederlands Plateau. Deltares rapportnummer 1201979-000-BGS-0001, Utrecht.



Figuur 15

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



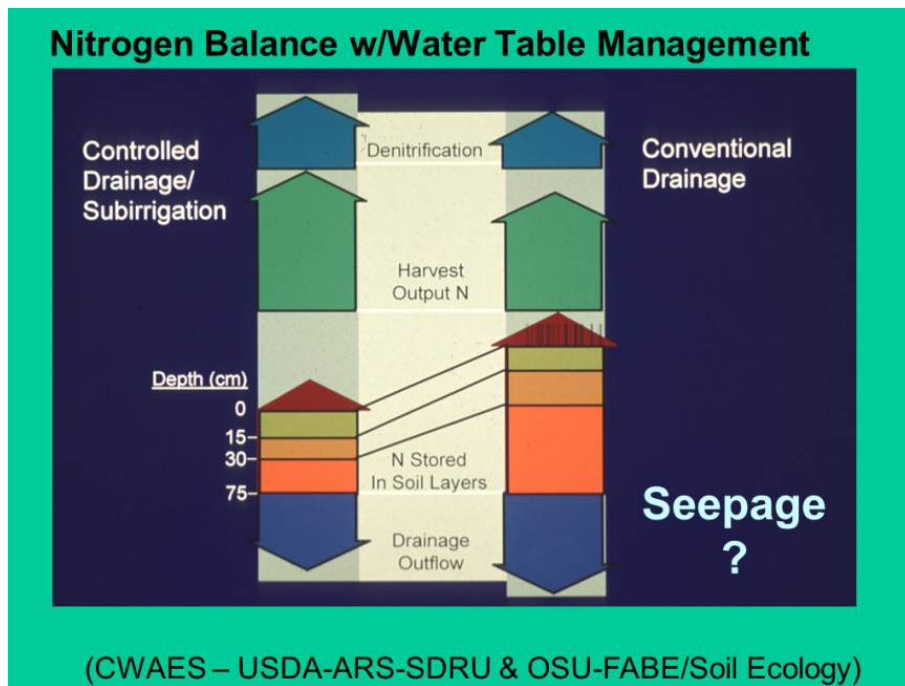
Figuur 16

Neerslagpatronen en nitraatconcentraties in drainagewater op proeflocatie Hupsel tussen najaar 2007 en het voorjaar van 2011. In de herfst van 2009 wordt peilsturing geïntroduceerd; de nitraatconcentraties zijn vervolgens, in tegenstelling tot de verwachting, hoger dan gedurende het jaar 2008. Bron: Rozemeijer, J.C., H.P. Broers, A. Visser, M. Winegram, W. Borren, L. Gerner, B. van IJendoorn en A. Kramer, 2012. Veldonderzoek naar de effecten van peilgestuurde drainage op grondwaterstanden, drainafvoeren en waterkwaliteit op het Oost-Nederlands Plateau. Deltares rapportnummer 1201979-000-BGS-0001, Utrecht.

Uit eerdere in Nederland uitgevoerde praktijkproeven bleek het al niet of nauwelijks mogelijk om concentraties van nutriënten in drainagewater te relateren aan de configuratie en het beheer van drainagesystemen, de toediening van meststoffen en dergelijke (Hoeksche Waard²⁵). Ook op grond van waarnemingen tijdens de praktijkproef te Ospel kon niet worden aangetoond dat de uitspoeling van nutriënten met drainagewater bij (S)RD kleiner is dan bij conventionele drainagesystemen. Dit resultaat moet worden toegeschreven aan vooraf onderschatte effecten van een slecht doorlatende leemlaag op ondiepe grondwaterstromingen, waardoor goede onderlinge vergelijking van drie configuraties van drainage niet mogelijk bleek. De mate van uitspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater was echter ook in Ospel gekoppeld aan het ingestelde ontwateringsniveau.

Aanleg van (S)RD op conventioneel gedraineerde percelen betekent dat de ontwateringsbasis traploos kan worden gestuurd. De nutriëntenbalans wordt hierdoor ook beïnvloed, de uitspoeling van stikstof kan sterk afnemen en Amerikaanse onderzoekers stellen dan ook de vraag: Where does the nitrogen go? Wordt er meer stikstof opgenomen door het gewas, denitrificeert er meer stikstof of wordt stikstof via andere transportroutes afgevoerd? Met andere woorden: hoe beïnvloedt het beheer van (S)RD de water- en nutriëntenbalans (zie Figuur 17)?

²⁵ Resultaat van vier jaar lang (1993-1997) wekelijks onderzoek naar de chemische samenstelling van drainagewater op dertien klei-akkerbouwbedrijven in de Hoeksche Waard. Bron: Huinink, J.Th.M. en T. de Waard, 1997. *Drainagewater-monitoringproject Hoeksche Waard*. Informatie en Kennis Centrum Landbouw, Ministerie van LNV, Ede.

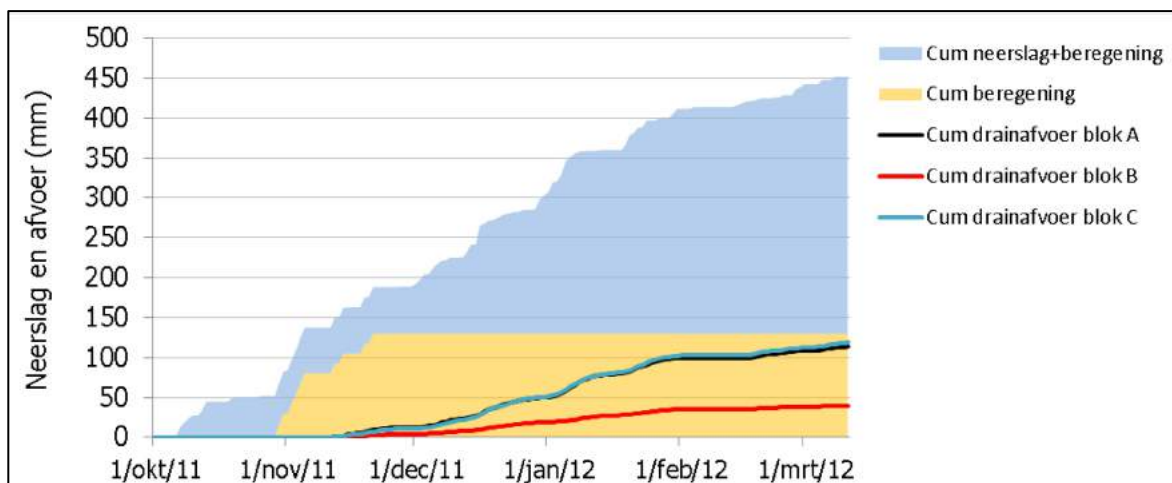


Figuur 17

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

De vraag 'waar blijft het nitraat?' is in de praktijkproef te Ospel (L) beantwoord door het opstellen van een nutriëntenbalans. Het verloop van de cumulatieve neerslag en de cumulatieve drainafvoer gedurende de winter van 2011-2012 is weergegeven in Figuur 18. De drainafvoer blijkt maar een betrekkelijk klein deel van het neerslagoverschot te omvatten. De drainafvoer van blok B (SRD met 'diep' liggende drains) is bovendien veel kleiner dan de drainafvoer van blok A (CD) en C (SRD met 'ondiep' liggende drains)²⁶.

²⁶ Het verschil wordt toegeschreven aan de bodemopbouw in combinatie met de installatiediepte van de drains; die van blok B zijn geïnstalleerd in een slechtdoorlatende leemlaag.



Figuur 18

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

Aan de hand van de berekende en gemeten afvoeren en nitraatconcentraties in het drainagewater in Ospel is een schatting gemaakt van de hoeveelheid stikstof die rechtstreeks - dat wil zeggen: niet via de drainagesystemen maar via de bodem - in het oppervlaktewater terecht is gekomen, en de resterende hoeveelheid nitraat waarvan de 'bestemming' minder duidelijk is (afgezien van eventuele extra opname door gewassen; deze zijn experimenteel vastgesteld). Op dit perceel is een deel van de nitraat vermoedelijk door wegzijging naar het diepe grondwater 'verdwenen'²⁷ (zie Tabel 3), maar zeker is dat niet. In het algemeen wordt in het diepe grondwater immers weinig stikstof aangetroffen. Om te kunnen vaststellen in hoeverre stikstof (uiteindelijk) elders alsnog het oppervlaktewater bereikt zal gestaafd moeten worden met tijd gerelateerde waarnemingen. Van belang is immers te weten in welke hoeveelheden en wanneer dit gebeurt: continu, na heftige neerslag en dergelijke.

Tabel 3

Stikstofvrachten (kg/ha) in de periode 4/11/2011 t/m 7/03/2012 per afvoersysteem, waargenomen op de praktijkproef te Ospel (L). De drainafvoer bedraagt 40% van het netto neerslagoverschot en de stikstofafvoer via de drainbuis 32% van de totale N-afvoer; minder dan werd verondersteld. Dit komt overeen met een verlies van 55 à 70 kg/ha²⁸. Blok A = CD; Blok B = SRD met 'diep' liggende drains en Blok C = SRD met 'ondiep' liggende drains.

Afvoercomponent uit drainageblok	Blok A	Blok B	Blok C	Gemiddeld
Afvoer naar sloot via drainbuis	38	16	62	39
Directe afvoer naar sloot via de bodem	17	8	28	18
Wegzijging naar het diepe grondwater	64	26	103	64
Totaal	121	50	193	121

²⁷ Verondersteld is dat de concentratie van het water dat direct naar de sloot stroomt en de concentratie van het water dat via wegzijging verdwijnt gelijk is aan de gemiddelde gemeten waarden in het drainagewater i.e. 35,6 mg L⁻¹ in blok A, 42,3 mg L⁻¹ in Blok B en 55,0 mg L⁻¹ in Blok C.

²⁸ Dit verlies komt daarmee hoger uit dan het berekende bodemoverschot in 2010 (44 kg ha⁻¹) en zou alleen te verklaren zijn uit de nalevering van het bodemoverschot in 2009 en voorgaande jaren.

1.6 Risico's en beperkingen van regelbare drainage

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

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

1.6.1 Risico's bij de aanleg

Een risico bij de aanleg van SRD is ondeskundige/slechte installatie; de aanleg van SRD is aanzienlijk moeilijker dan de aanleg van RD en CD. Uitzonderingen daargelaten hebben draineerbedrijven hier nog weinig ervaring mee.

Toen de aanleg van SRD-systemen enkele jaren geleden in Nederland begon was er sprake van een enorme variëteit in geïnstalleerde materialen (buizen, putten, hulpstukken e.d.). Deze verschilden niet alleen qua materiaal maar ook qua afmetingen. Sinds kort is er een zogenoemde Nationale Beoordelingsrichtlijn Drainage (BRL, 1411)²⁹ beschikbaar: grondwaterbeheersystemen door middel van drainage, noodzakelijk voor het verkrijgen van het KOMO^{®30} procescertificaat of KOMO[®]attest-met-productcertificaat door drainagebedrijven.³¹ In deze beoordelingsrichtlijn wordt aandacht besteed aan ontwerpcriteria, drainageplan, aanleg, installatie, draineermachines, diepteligging, producteisen, interne kwaliteitsbewaking en certificering; zie bijlage 10.

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

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

²⁹ Nationale Beoordelingsrichtlijn Drainage (BRL 1411): *Aanleg van samengestelde regelbare drainagesystemen voor de ontwatering en/of infiltratie van gronden*, noodzakelijk voor het verkrijgen van het KOMO^{®29} procescertificaat of KOMO[®]attest-met-productcertificaat door drainagebedrijven.

³⁰ <http://www.komo.nl/over-komo/> De bouw is één van de belangrijkste economische sectoren van Nederland. De belangen zijn groot. De financiële investeringen navenant. Daarom zoeken de partijen in die sector naar maximale zekerheid. Die zekerheid is er: KOMO. Met het KOMO-keurmerk kent de bouwsector de kwaliteit van producten, processen, systemen en diensten. KOMO is een collectief keurmerk. KOMO staat voor onbetwiste kwaliteit. Gebruik van KOMO-gecertificeerde producten en processen verhoogt de efficiency in het bouwproces en verlaagt de faalkosten.

³¹ http://www.komo.nl/files/101_nieuwsflits-nr-16.pdf

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

1.6.2 Risico's ten aanzien van het onderhoud

Onderhoud. Agrariërs zijn bezorgd dat het moeilijker zal zijn om SRD te controleren en te onderhouden dan CD omdat de drains niet meer in een perceelsloot uitmonden maar in een ondergrondse verzameldrain ('collectorbuis'). Bij CD kun je de eindbuizen van de drains visueel inspecteren en kun je de buizen doorspuiten etc. In de praktijk is bij CD echter vaak sprake van achterstallig onderhoud: sloten groeien 's zomers dicht, eindbuizen kunnen kapot worden gemaaid, slootaluds verzakken waardoor de drainuitmondingen op de slootbodem komen te liggen, en dergelijke. SRD heeft andersoortige onderhoudsproblemen. De buizen monden uit in een collectorbuis en kunnen zonder extra voorzieningen niet worden geïnspecteerd of doorgespoten. SRD kan bij het ontwerp en de aanleg van aansluitingen worden voorzien waarop een buis wordt aangesloten die langs de perceelrand aan de oppervlakte komt of boven de grond uit komt. Ook de bovenstroomse einden van drainbuizen moeten bij voorkeur boven het maaiveld eindigen. Op deze manier worden de drains en de verzameldrain geïnspecteerd en doorgespoten. Qua onderhoudsvriendelijkheid ontlopen de systemen elkaar in de praktijk weinig.

1.6.3 Risico's bij het operationeel beheer

(S)RD stelt de agrariër bij goed beheer in staat te reageren op de actuele weersituatie en daarop te anticiperen op basis van de weerverwachting. Na aanleg moet de agrariër met (S)RD praktijkervaring opdoen met het operationele beheer. Dat klinkt moeilijker dan het is, getuige de positieve reacties en de ervaringen van diegenen die (S)RD hebben laten installeren en er mee werken. Dit risico kan worden verkleind door 'nieuwkomers' goed op weg te helpen, liefst door ervaren collega's.

In 2009 heeft Wageningen UR een enquête gehouden onder agrariërs die (S)RD hebben laten aanleggen. Enkele bedrijven zijn bezocht: vier in Zeeland en vijftien in Noord-Brabant en Limburg. De ervaringen van een aantal telers in Noord-Brabant en Limburg waren door de recente aanleg nog beperkt, mede door de extreem droge zomer van 2009. De gedraineerde percelen verschilden sterk in o.a. omvang, vorm en hoogteligging; dit is bepalend is voor draindiepte en -afstand. De mogelijkheden voor peilopzet en sturing werden ook bepaald door het waterpeil in de afwaterende sloot of beek. Een aantal telers is zeer tevreden over de drainage, maar passen het peil nooit aan. Het zijn veelal percelen die voorheen niet waren gedraineerd. De noodzaak van intensief draineren op vier of zes meter is niet altijd duidelijk; dit bepaalt wel in belangrijke mate de kosten. Het is daarom belangrijk dat objectieve criteria voor peilsturing worden opgesteld en dat eisen aan de aanleg worden gesteld. Ook voor overheden is het van belang dat peilsturing ook daadwerkelijk tot de beoogde voordelen leidt. Dit betekent dat zij ervan op aan moeten kunnen dat agrariërs peilsturing goed onder de knie krijgen. Infiltratie is belangrijk onderwerp waar telers vragen over hebben, vooral wat betreft de voor en nadelen vergeleken met beregening.

Ook in Zeeland is er een grote variatie in systemen. Bij de eind 2008 aangelegde systemen was, mede vanwege het droge jaar 2009, nog geen ervaring opgedaan met waterberging. De ene teler gebruikt het systeem om (zout)water in te laten, waarbij hij zich wel afvraagt wat dit voor gevolgen kan hebben. Een ander gebruikt het systeem om zoet drainagewater in een bassin te pompen om van daaruit te beregenen. Weer een ander heeft het aangelegd om reden van de grote afstanden tot de afwaterende sloot. Telers zijn geïnteresseerd in het plaatsen van peilbuizen, om te weten wat er in hun perceel gebeurt bij peilverandering, waaronder infiltreren. De bezochte telers hebben verschillende meningen over samengestelde regelbare drainage. Sommigen zijn zeer te spreken over het systeem van samengestelde drainage en weten het goed te gebruiken. Er wordt betwijfeld of infiltratie op klei wel functioneert. Anderen zien de voordelen van

samengestelde drainage niet in. Bij een teler met grof zand in de ondergrond werkte het water vasthouden niet. Een andere teler was er van overtuigd dat het water uit zijn perceel naar omliggende watergangen met een lager peil wegstroomde (wegzijging).

Afgezien van hun eerste, specifieke ervaringen kunnen gebruikers te maken krijgen met ongewenste effecten als het ontstaan van vochttekort, verdroging, wateroverlast en afvoerpieken. Meer specifiek:

- *Risico op vochttekort.* Wanneer anticiperend op voorspelde grote hoeveelheden neerslag het ontwateringsniveau wordt verlaagd zonder dat vervolgens daadwerkelijk veel neerslag valt is de grondwaterstand verlaagd. In dat geval is het gewenst de ontwateringsbasis weer zo snel mogelijk op het gewenste ondiepe niveau te hebben, dat kan (passief) via aanvulling door neerslag en/of kwel (met alle risico's van dien), of door actief water aan te voeren. Dat laatste is niet overal en niet altijd mogelijk. Om dit risico te verkleinen zou kunnen worden verkend of de ondiepe watervorraden kunnen worden aangevuld uit diepere watervoerende pakketten (pompen om via (S)RD te infiltreren in plaats van het minder efficiënte beregenen).
- *Risico op verdroging in naast- of nabijgelegen natuur.* Peilen kunnen lager worden ingesteld dan bijvoorbeeld is overeengekomen met een waterbeheerder om (bijvoorbeeld) het drainageniveau in een beschermingsgebied rond een natuurgebieden te begrenzen. Het risico dat peilen te laag worden ingesteld kan bij (S)RD gemakkelijk worden ondervangen door het hanteren van een maximale draindiepte en deze vast te leggen in het ontwerp van regelputten. De fysieke ondergrens van regelputten ten opzichte van het maaiveld kan worden voorgeschreven.
- *Risico op wateroverlast.* Wanneer onverwacht een bui valt bij een hoge ontwateringsbasis kan wateroverlast ontstaan. Op een dergelijke gebeurtenis moet snel worden gereageerd door verlagen van het drainageniveau en dat kan beter wanneer sneller kan worden ontwaterd i.e. bij een kleine drainafstand.
- *Risico op het ontstaan van een (piek)afvoergolf in het oppervlaktewatersysteem.* Wanneer anticiperend op of reagerend op een hevige neerslagbui grootschalig en gelijktijdig (S)RD wordt ingesteld op snelle afvoer naar het oppervlaktewater kan dit leiden tot een afvoergolf in het watersysteem die overlast kan veroorzaken in benedenstrooms gelegen oppervlaktewateren. Dit risico kan worden verkleind / voorkomen door rekening te houden met de natuurlijke verschillen in reactietijd van de gedraineerde percelen van de agrariërs en de ligging in het watersysteem. Mocht dit te weinig perspectief bieden dan kan worden overwogen afspraken te maken over coördinatie van maatregelen om piekbelasting van het oppervlaktewaterstelsel te minimaliseren, bijvoorbeeld door de drainagebasis geleidelijk te verlagen.

1.6.4 Beperkingen

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

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

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

1.6.5 Kennisontwikkeling

Nieuwe gebruikers van (S)DR moeten zelf (en van elkaar) leren hun 'installatie' zo goed mogelijk te bedienen. Het is daarom zeker zinvol om informatie te gaan verzamelen over hoe (S)RD door gebruikers wordt toegepast en wat hun resultaten en ervaringen zijn. Hieruit moet vervolgens worden gedestilleerd waaraan goed beheer (en een goed ontwerp) van (S)RD onder welke omstandigheden moet voldoen. Deze nieuwe kennis moet vervolgens worden gedeeld met zo veel mogelijk collega's en andere betrokkenen, bijvoorbeeld waterbeheerders, NGO's e.d.

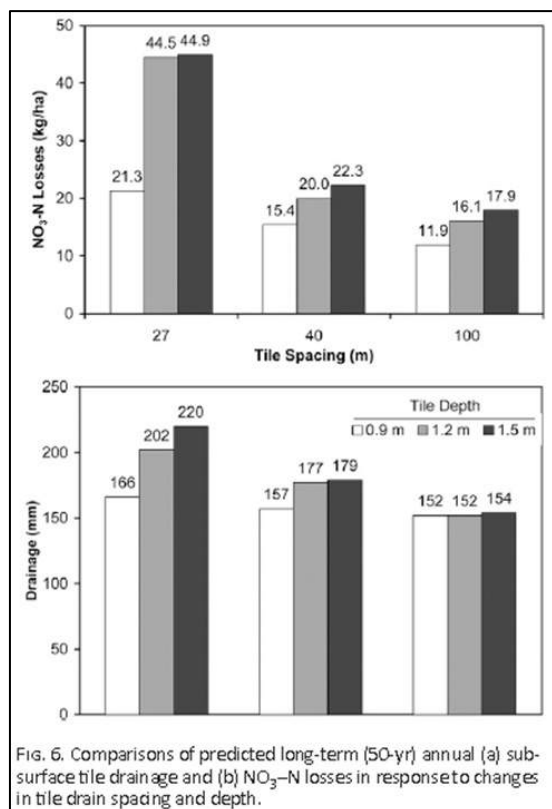
Gegeven de natuurlijke ruimtelijke variabiliteit van de bodemopbouw, de hieraan gekoppelde hydrologische eigenschappen en de onvoorspelbaarheid van weersomstandigheden, moeten praktijkproeven met hoog ambitieniveau, gericht op het vaststellen van effecten van configuratie en beheer van drainagesystemen op kwantiteit en kwaliteit van drainagewater, minstens vijf jaar duren - liefst langer - en moet aan accurate metingen, gericht op het vastleggen van de balansen van waterkwantiteit en waterkwaliteit de grootst mogelijke aandacht worden besteed.³² De complexe werkelijkheid noodzaakt tot een integrale benadering van praktijkproeven.

Bij de uitvoering van veldproeven is gedegen vooronderzoek op het beoogde proefperceel belangrijk. Tijdens praktijkproeven, tussen 2009 en 2012 uitgevoerd op te Ospel (L), bleek de uitspoeling van nutriënten (stikstof) met drainagewater niet gerelateerd aan de installatiediepte van drainbuizen van de SRD-systemen, wellicht deels door de aanwezigheid van een leemlaag. Modelonderzoek door Alterra had deze suggestie echter wel gewekt³³ en ook in buitenlands modelonderzoek werd dergelijk verband berekend (Nangia et al., 2004³⁴); zie Figuur 19.

³² Op één meetlocatie in de Atlantische kustregio van North Carolina (USA) worden al ruim 25 jaar permanent waarnemingen gedaan aan de uitspoeling van nutriënten (Prof. R. Wayne Skaggs (NCSU), persoonlijke mededeling).

³³ Bakel, P.J.T. van, E.M.P.M. van Boekel en G.J. Noij; *Modelonderzoek naar effecten van conventionele en samengestelde, regelbare drainage op de hydrologie en nutriëntenbelasting*. Alterra-rapport 1647, april 2008. Aanleg van drainage heeft veel (on)gewenste effecten op grondwaterstanden en op de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Door drainage regelbaar te maken in combinatie met een verhoging van de ontwateringsbasis en een intensivering zijn ongewenste hydrologische effecten voor een deel op te heffen. Door de drains dieper te leggen kan de nutriëntenbelasting worden gereduceerd. Met modelberekeningen zijn deze veronderstelde mogelijkheden tot reductie onderzocht en is een basis gelegd voor veldproeven.

³⁴ Nangia, V., P.H. Gowda, D.J. Mulla, * and G.R. Sands, 2004. *Modelling Impacts of Tile Drain Spacing and Depth on Nitrate - Nitrogen Losses*.



Figuur 19

Modelresultaten van het Amerikaanse Agricultural Drainage and Pesticide Transport (ADAPT)-model. Een grotere drainafstand en ondiepere ligging van drains kunnen een gunstige uitwerking hebben op de uitspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater.

Gegeven het bovenstaande: revitalisering van het zogenoemde drainagevooronderzoek³⁵, algemeen toegepast ten tijde van de ruilverkavelingen in Nederland tijdens de tweede helft van de 20^e eeuw, is geen overbodige luxe, zeker als vermoed wordt dat zich in een te draineren perceel slecht doorlatende lagen bevinden.

1.7 Hoeveel kost regelbare drainage?

Omdat verlangd wordt dat een (S)RD-systeem snel reageert op aanpassingen in de drainage-intensiteit (door de hoogte van de stelpijp in een put, of van het stuwte aan te passen) wordt bij regelbare drainage een kleinere drainafstand aangehouden dan bij conventionele drainage. Hierdoor - en ook als besloten wordt een grotere buisdiameter toe te passen dan de gebruikelijke 60 mm - wordt het systeem duurder. De drainafstand

³⁵Cultuurtechnisch Vademecum (1988): pp. 529-531; zie <http://www.debakelsestroom.nl/wp-content/uploads/Voorwoord-en-deel-III-Water.pdf>

Meer, W. van der en G. Rutten, 1976. Drainage-vooronderzoek: ontwikkelingen in het drainage-vooronderzoek in de provincie Groningen met toepassing in het ruilverkavelingsgebied Harkstede. Cultuurtechnische Dienst, Afdeling Onderzoek; zie:

http://books.google.nl/books/about/Drainage_vooronderzoek.html?id=238otwAACAAJ&redir_esc=y

Lokhorst, G.N. 1954. Enkele aspecten over het drainage-vooronderzoek in Zeeland. Voordracht no. 81, gehouden op 1 oktober 1954. Voordracht / Cultuurtechnische Dienst, Afd. Onderzoek (no. 81); zie:

http://books.google.nl/books/about/Enkele_aspecten_over_het_drainage_vooron.html?id=nkNdtwAACAAJ&redir_esc=y

Maas, G.C. 1955. Enige gegevens betreffende drainage-vooronderzoek ten dienste van de organisatie van het onderzoek.

Voordracht / Cultuurtechnische Dienst, Afd. Onderzoek (no. 83); zie <http://library.wur.nl/WebQuery/hydrotheek/lang/589028>

bij Nederlandse SRD is nu, vergeleken met CD, aanzienlijk kleiner, maar het is de vraag of dat echt nodig is. Die drainafstand mag bij (S)RD misschien iets ruimer zonder dat dat wellicht nadelige gevolgen heeft voor de werking. Een nadere kosten-batenanalyse kan vrij eenvoudig worden gedaan op grond van een simpele modelanalyse. Bij SRD-systemen zorgen de benodigde verzamelrain ('collector') en één of meerdere controleput(ten) voor extra kosten.

In de praktijk blijkt (S)RD door dit alles zeker duurder als een conventionele drainage³⁶. De terechte vervolgvraag is: en wat levert dit op, voor wie, of hoeveel geld wordt er bijvoorbeeld bespaard op beregening? Dit soort zaken wordt geregeld benoemd als *de sociaaleconomische impact van regelbare drainage*, maar daar blijft het bij. Steekhoudende calculaties zijn tot op heden echter nog niet gemaakt. Effecten op gewasopbrengsten kunnen met computermodellen inmiddels redelijk goed in beeld worden gebracht, maar in hoeverre hoeveelheden geconserveerd water in termen van geld kunnen worden uitgedrukt is niet duidelijk; dit soort analyses staat nog in de kinderschoenen. Als de ambitie bestaat om (S)RD te onderwerpen aan een kosten-batenanalyse moet deze niet beperkt zijn tot vergelijking van effecten van (S)RD ten opzichte van CD, maar ook tot effecten van CD ten opzichte van niet gedraineerde percelen.

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

³⁶ Waterschap Peel en Maasvallei gaat uit van een meerprijs van €1000 per hectare (persoonlijke mededeling J.M.P.M. Peerboom).

1.8 Conclusies

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

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

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

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

Meer specifieke conclusies zijn:

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

2 Regelbare drainage in de USA: recente ontwikkelingen

Samenvatting/vertaling	L.C.P.M. Stuyt
Auteur(s):	R. Wayne Skaggs, Norman R. Fausey, and Robert O. Evans
Jaar van publicatie:	2012
Titel publicatie:	Drainage water management
Gepubliceerd als/in:	Journal of Soil and Water Conservation 2012 67(6):167A-172A; doi:10.2489 / jswc.67.6.167A

R. Wayne Skaggs is William Neal Reynolds Distinguished University Professor en Robert O. Evans is hoogleraar en hoofd van het Department Biological and Agricultural Engineering, North Carolina State University (NCSU), Raleigh, North Carolina, USA. Norman R. Fausey is senior onderzoeker bodem aan de Soil Drainage Research Unit, USDA Agricultural Research Service, Columbus, Ohio, USA.

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk³⁷ wordt een serie onderzoeksrapportages besproken waarin wordt gerapporteerd over veldstudies naar de effectiviteit van (samengestelde) regelbare drainage - in de Verenigde Staten Drainage Water Management (DWM) genoemd - bij het conserveren van drainagewater en de uitspoeling van stikstof (N) naar het oppervlaktewater. De serie, waarover in het voorjaar van 2013 wordt gepubliceerd, is gericht op de resultaten van het in de praktijk toepassen van regelbare drainage. Het onderzoek is uitgevoerd in het middenwesten van Amerika, waar uitspoeling van N uit miljoenen hectare landbouwgrond grote problemen veroorzaakt rond de kwaliteit van het oppervlaktewater, op zowel lokale als nationale schaal.

De resultaten van de nieuwe studies die hier worden besproken zijn consistent met die van eerder onderzoek, namelijk dat regelbare drainage kan worden gebruikt om het verlies van stikstof uit gedraineerde landbouwpercelen door uitspoeling naar het oppervlaktewater, vooral in de vorm van $\text{NO}_3\text{-N}$, te verminderen. De gemeten effecten varieerden sterk, namelijk van 18% tot meer dan 75% reductie van uitspoeling van N naar het oppervlaktewater, en bleken gerelateerd aan het ontwerp van het drainagesysteem, de locatie, de bodem en de omgeving. Op sommige locaties was met regelbare drainage sprake van hogere gewasopbrengsten, maar op andere niet; de variatie in effecten van regelbare drainage op de gewasopbrengst bleek - naast bovengenoemde effecten - afhankelijk van de weersomstandigheden. Bij de projecten die hier aan de orde komen zijn er ook een aantal die rapporteren over de vooruitgang in de ontwikkeling van datasets en modellen, bedoeld om de kennis van effecten van de drainage-intensiteit en regelbare drainage op de hydrologie en waterkwaliteit op regionale-, en perceelschaal te vergroten.

Ongeveer 25% van het landbouwareaal in de Verenigde Staten en Canada moet voor landbouwproductie worden gedraineerd (Pavelis, 1987; Shady, 1989). Wereldwijd geldt dit voor ongeveer 33% (Smedema and Vlotman, 2004). Zonder drainage is landbouw in veel van deze gebieden onmogelijk, maar als deze landbouwpercelen worden gedraineerd behoren ze vaak tot de meest productieve ter wereld. Sloten of buisdrainage (buissegmenten van baksteen of beton, of plastic ribbelbuis) worden gebruikt om overtollig water te verwijderen en grondwaterstanden te verlagen, de draagkracht van de grond te verbeteren zodat

³⁷ <http://www.jswconline.org/content/67/6/167A.full.pdf>

landbouwmachines (op tijd) de percelen op kunnen, wateroverlast te voorkomen en gewasopbrengsten te verhogen. Drainage is ook nodig om het zoutgehalte van de bodem van landbouwpercelen in geïrrigeerde aride en semi-aride regio's te beheren.

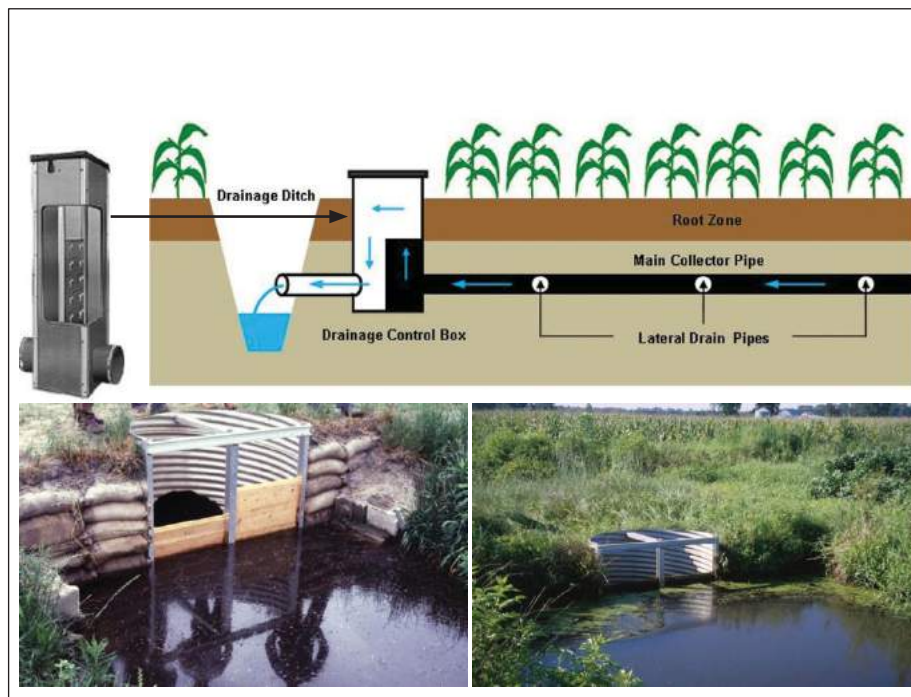
2.2 Drainage en waterkwaliteit in historisch perspectief

Al sinds de tijd van het Romeinse Rijk - maar waarschijnlijk al eerder - wordt drainage gebruikt om de productie van landbouwgewassen te verbeteren (Luthin, 1957). Tot enkele jaren geleden was de aandacht bij onderzoek en ontwikkeling van landbouwdrainage vooral gericht op verbetering van de efficiëntie van de drainage en verhoging van gewasopbrengst. Onderzoek uit het begin van de jaren 1970 (Baker et al., 1975; Gambrell et al., 1975) toonde aan dat landbouwdrainage de kwaliteit van het oppervlaktewater sterk kan beïnvloeden. Drainage vermindert de oppervlakkige afstroming, kan erosie tegengaan en vermindert het transport van aan sediment gekoppelde verontreinigingen naar het oppervlaktewater. Drainage zorgt echter ook voor een toename van stikstofuitspoeling (Gilliam et al., 1999; Dinnes et al., 2002); het wordt genoemd als één van de belangrijkste bronnen van belasting van oppervlaktewater met nutriënten, met als gevolg algenbloei en eutrofiering van benedenstrooms gelegen oppervlaktewateren. Stikstofuitspoeling uit intensief gedraineerde landbouwgronden in het Middenwesten van de Verenigde Staten wordt gezien als een belangrijke bijdrage aan excessieve concentraties N en eutrofe condities in de Golf van Mexico (Mitsch et al., 2001; Rablais et al., 2002; David et al., 2010). Tegen het einde van de vorige eeuw was de ontwikkeling van methoden om benedenstroomse milieueffecten van drainage te verminderen gaandeweg een belangrijke doelstelling geworden van drainageonderzoekers en -ingenieurs.

De ontwikkeling van methoden om uitspoeling van stikstof met het drainagewater te verminderen is uitgegroeid tot een primaire doelstelling van het aanpakken van de milieueffecten van landbouwdrainage. Het terugdringen van stikstofuitspoeling is problematisch omdat het nitraat in het bodemwater is opgelost en dus mobiel is, waardoor het via het drainagesysteem gemakkelijk kan uitspoelen. Het tegengaan van de uitspoeling van stikstof kan op verschillende manieren worden aangepakt (Dinnes et al., 2002; Heilman et al., 2012). Belangrijke stappen zijn: reductie aan de bron door overbemesting tegen te gaan ('Goede Landbouwpraktijk'), drainagewater door wetlands te laten stromen, gebruik van biofilters en toepassing van regelbare drainage. **Al dit soort maatregelen zijn nodig.**

Al in de jaren 70 en 80 van de vorige eeuw werd in de Verenigde Staten onderkend dat regelbare drainage een effectief middel zou kunnen zijn om de uitspoeling van stikstof met het drainagewater tegen te gaan. **De essentie van het willen toepassen van regelbare drainage is het feit dat dezelfde drainage-intensiteit niet gedurende het gehele groeiseizoen nodig is.** Het is, zonder negatieve invloed op landbouwgewassen, mogelijk om de intensiteit van drainage gedurende bepaalde perioden van het jaar drastisch verlagen, bijvoorbeeld tijdens de wintermaanden. Regelbare drainage kan ook worden gebruikt om de drainage-intensiteit te verminderen zodra het gewas is geplant/gepoot/ opgekomen, en zo water vast te houden voor de gewasproductie tijdens het verdere verloop van het groeiseizoen.

Regelbare drainage wordt meestal gerealiseerd door het installeren van een stuw in een kavelsloot of ingraven van een put van het perceelsrand, waarmee het peil (= de 'drainagebasis') gevarieerd en beheerd kan worden; zie Figuur 20 .



Figuur 20

Principe van regelbare drainage in een put bij een samengesteld drainagesysteem (boven); Amerikaans stuwteje voor implementatie van regelbare drainage in een sloot (onder) Bron: NCSU.

Regelbare drainage wordt al vele jaren gebruikt om de daling van gedraineerde organische bodems in de Florida Everglades en andere locaties tegen te gaan (Clayton en Jones, 1941; Stevens, 1955). De eerste experimenten waaruit bleek dat deze technologie ook effectief zou kunnen zijn voor het terugdringen van stikstofuitspoeling met het drainagewater werden uitgevoerd op geïrrigeerde landbouwgronden in Californië (Meek et al., 1970; Willardson et al., 1972), maar zij werd (nog) niet toegepast. **Gilliam et al. (1979) stelden 30 jaar geleden al vast dat regelbare drainage tijdens de wintermaanden in North Carolina kan worden ingezet om de stikstofuitspoeling uit landbouwgronden (maïs-tarwe-soja-rotatie) met 40% tot 50% terug te dringen.** Deze bevinding was aanleiding voor het doen van een aantal extra onderzoeken en veldproeven in de Atlantische kustvlakte, waar veel N in het drainagewater werd genoemd als een belangrijke bijdrage aan algengroei en vissterfte in kust nabije riviertjes en estuaria (Skaggs en Gilliam, 1981; Doty et al., 1987; Evans en Skaggs, 1989; Evans et al., 1989, 1995).

2.3 Regelbare drainage als 'Best Management Practice'

Regelbare drainage werd door de staat North Carolina erkend als een 'Best Management Practice'; de staat ging vervolgens installaties subsidiëren die nodig zijn voor het in de praktijk brengen van regelbare drainage door agrariërs. Regelbare drainage werd vervolgens intensief gepromoot door de USDA Natural Resources Conservation Service (NRCS), de Cooperative Extension Service en andere federale en nationale landbouw- en milieu instanties, als een aanbevolen praktijk voor waterconservering en verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater (Evans en Skaggs, 2004). Sinds het programma in 1984 begon zijn meer dan 4000 putten en stuwten voor regelbare drainage geïnstalleerd. Deze toepassing van regelbare drainage was onderwerp van een speciale uitgave van het Journal of Soil and Water Conservation in 1992 (Stone et al., 1992; Evans et al., 1992).

Onderzoek, uitgevoerd op glaciële bodems in koudere klimaatzones, zoals in Ontario (Lalonde et al., 1996; Tan et al., 1998; Gaynor et al., 2002 en Drury et al., 2009), Ohio (Fausey, 2005) en Zweden (Wesström en Messing, 2007), blijkt dat ook in die gebieden regelbare drainage een goed middel was om de uitspoeling van N met het drainagewater terug te dringen. Alle bevindingen en resultaten van veldproeven hebben drempelverlagend gewerkt voor toepassing van regelbare drainage in het Amerikaanse Middenwesten.

2.4 Agricultural Drainage Management Systems Task Force

Vanaf het jaar 2000 groeide al snel de bezorgdheid over de mate van eutrofiering in de Golf van Mexico, en de indicaties dat hoge concentraties NO₃-N in het oppervlaktewater in het stroomgebied van de Mississippi tot verhoogde algenbloei leidden. Besprekingen binnen de USDA (= U.S. Department of Agriculture) over oorzaken en oplossingen heeft ertoe geleid dat het Partnership Management Team van de USDA (Agricultural Research Service [ARS]; USDA NRCS, Coöperatieve State Research, Education and Extension Service / National Institute of Food and Agriculture) een overkoepelende taakgroep heeft opgericht: de 'Agricultural Drainage Management Systems Task Force'. Deze Task Force werd in 2003 formeel opgericht als een technische werkgroep om te helpen bij het aanpakken en oplossen van waterkwaliteitsproblemen op gedraineerde landbouwpercelen. The Task Force ontwikkelde een handvest en een actieplan, met de nadruk op bijeenkomsten en discussies met onder meer nationale en federale agentschappen, NGO's en vertegenwoordigers van het bedrijfsleven. Het actieplan heeft uiteindelijk geleid tot aanbevelingen aan de USDA (U.S. Department of Agriculture) om in het midden Westen van de Verenigde Staten extra onderzoek te laten doen om de milieuvordelen van regelbare drainage in kaart te brengen, de Drainage Water Management Practice 544³⁸ Standaard landelijk, en voor afzonderlijke staten te herzien, op zoek te gaan naar locaties voor het demonstreren en evalueren van regelbare drainage conform Practice 544, het bevorderen van subsidies om het gebruik van regelbare drainage aan te moedigen en het ontwikkelen een strategie om toepassing van regelbare drainage in de praktijk te bevorderen.

Het initiatief van de USDA om de Task Force in het leven te roepen was voor commerciële bedrijven, gericht op de ontwikkeling van (innovatieve) drainagesystemen een stimulans om hun expertise in te zetten om agrariërs en milieugroeperingen te helpen bij de verbetering van de waterkwaliteit en het verhogen van gewasopbrengsten voor de productie van voedsel en energie. Zo zag in 2005 de Agricultural Drainage Management Coalition (ADMC) het levenslicht. De ADMC werkt op lokaal en nationaal niveau aan de ontwikkeling van kennis en bewustwording bij agrariërs, draineerbedrijven, natuur- en milieuorganisaties en lokale, nationale en federale autoriteiten rond de nieuwste ontwikkelingen op het gebied van drainagesystemen en -technologieën. ADMC kreeg van vijf staten onderzoeksgeld, gebundeld in 'The National DWM Conservation Innovatief Grant Project'. Met dit geld kon een nieuwe serie veldproeven worden bekostigd.

Regelbare drainage (Drainage Water Management Practice 554) werd in het USDA NRC Mississippi River Basin Initiative, dat in 2009 tot stand kwam, geïdentificeerd als een praktijk met hoge prioriteit. Het aantal systemen voor regelbare drainage dat aanvankelijk werd gerealiseerd bleef echter beneden de verwachtingen. Daarom besloot de NRCS een 'National Agricultural Water Management Team' op te richten om staten te helpen bij het realiseren van waterconservering en daarmee de uitspoeling van nitraten uit landbouwpercelen terug te dringen. De prioriteit van dit team lag in eerste instantie bij de intensief gedraineerde landbouwpercelen in bovenstrooms gelegen regio's van het stroomgebied van de Mississippi.

³⁸ <ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/AR/efotg/5/544cppe.pdf>

In september 2010 werd een 'Phase I Team' opgericht om de NRCS te adviseren hoe zij de acceptatie van regelbare drainage in het stroomgebied van de Mississippi zou kunnen vergroten. Het team liet het gebruik van regelbare drainage in kaart brengen, identificeerde belemmeringen rond de implementatie van regelbare drainage en hield daarbij rekening met lessen die waren geleerd uit eerdere ervaringen. Op grond van de nieuwe informatie werden aanbevelingen geformuleerd voor maatregelen die het gebruik van regelbare drainage (DWM) zouden kunnen bevorderen.

Op basis van de rapportage van het 'Phase I Team' werd een vervolgteam, het 'Phase II Team', belast met de daadwerkelijke implementatie van regelbare drainage, gericht op waterconservering en de vermindering van de uitspoeling van nutriënten. Om het team voor het realiseren van haar doelstellingen te ondersteunen werd een actieplan ontwikkeld. In oktober 2011 organiseerde het Phase II Team in Minnesota een bijeenkomst waarop landelijke invoering van DWM werd gepromoot, gegeven de inzichten uit het recente verleden, de bestaande situatie en toekomstige mogelijkheden.

2.5 Toepassingsmogelijkheden voor regelbare drainage in het Middenwesten van de USA

Jaynes et al. (2010) evalueerden het potentiële effect van regelbare drainage op de kwaliteit van drainagewater in het Middenwesten van de Verenigde Staten. Op grond van informatie uit databases van de USDA, NRCS, U.S. Geological Survey en de U.S. Environmental Protection Agency stelden ze vast dat ongeveer 10 miljoen ha landbouwgrond in deze regio in beginsel geschikt is voor regelbare drainage (bodems conventioneel gedraineerd met hellingen <0,5%). Het 'Root Zone Water Quality' model, gekoppeld aan een Beslissings Ondersteund Systeem voor 'Agrotechnology Transfer' gewasgroeimodellen, werd gebruikt om het effect van regelbare drainage op het verminderen van nitraatuitspoeling uit gedraineerde landbouwpercelen in het Middenwesten met computers te simuleren. De resultaten lieten zien dat toepassing van regelbare drainage op 4,8 miljoen ha landbouwgrond met maisteelt zou leiden tot een vermindering van de uitspoeling van NO₃-N met 83000 ton per jaar. Gegeven de kosten van installatie en beheer zou regelbare drainage, gerekend per kilogram, één van de goedkoopste manieren zijn om dit doel te bereiken. Additionele voordelen als waterconservering en hogere gewasopbrengsten zijn dan nog niet meegerekend.

Regelbare drainage is in technische zin vrij gemakkelijk te realiseren. Technische hulpmiddelen als regelbare putten (zie Figuur 20, pagina 55) kunnen worden gemonteerd aan de 'uitgang' van bestaande, conventionele³⁹ drainagesystemen. Regelbare drainage is het meest effectief op landbouwpercelen met weinig variatie in hoogteligging, omdat dan één regelput (of stuw) voldoende is om een relatief groot areaal te bestrijken (Strock et al., 2011). Het ontwerp van nieuwe drainagesystemen kan worden geoptimaliseerd door rekening te houden met hoogtelijnen van het maaiveld en het te draineren areaal 'op te knippen' in beheerszones, ook weer op zo'n manier, dat één regelput (of stuw) voldoende is om een relatief groot areaal te bestrijken. Een goed ontwerp kan dus - bij lagere kosten - leiden tot een verhoging van de efficiëntie van de techniek, waardoor regelbare drainage op een groter percentage landbouwgrond zou kunnen worden toegepast (Pitts, 2008).

³⁹ In de Verenigde Staten zijn (ondergrondse) conventionele drainagesystemen vrijwel altijd samengestelde systemen; dat wil zeggen dat de drainbuizen uitmonden in ingegraven verzameldrains ('collectors'). Als we in Nederland over 'conventionele drainage' spreken zijn dit echter enkelvoudige systemen, waarin alle drainbuizen apart uitmonden in een kavelsloot.

2.6 Nieuwe drainage veldproeven in vijf staten van de USA

In vijf staten van de USA zijn veldproeven gehouden naar de werking van regelbare drainagesystemen. Dit project werd georganiseerd door de ADMC in nauwe samenwerking met onderzoekers van USDA ARS, de Land Grant University Faculty, en gefinancierd door USDA NRCS door de Conservation Innovation Grant Programme. Het project bestond uit demonstraties van de werking van regelbare drainage op 20 locaties in de staten Indiana, Illinois, Iowa, Minnesota, en Ohio. Op deze 20 locaties werden honderden agrariërs, landeigenaren, milieuorganisaties en het grote publiek in staat gesteld kennis te maken met de werking, het beheer en de voordelen van regelbare drainagesystemen. De regelbare drainages bevonden zich naast of in de buurt van conventioneel gedraineerde percelen op vergelijkbare bodemtypen en met dezelfde gewassen en landbouwmethoden: zogenoemde 'paired watersheds'. Alle drainagesystemen waren uitgerust met meetinstrumenten om debieten en het nitraatgehalte van het drainagewater te meten. De conventioneel gedraineerde landbouwpercelen werden vergeleken met de percelen die regelbaar konden worden gedraineerd, en wel op volumes drainagewater, uitspoeling van nutriënten en gewasopbrengsten.

Bij drainageproefvelden is het verzamelen van onderzoekgegevens van hoge kwaliteit niet gemakkelijk omdat de tijd die nodig is om geschikte locaties te vinden, de percelen in te richten op het doen van betrouwbare metingen, en het kiezen van sets van 'behandelingen' (i.c. combinaties van gewaskeuze, drainafstand, draandiepte, regelprotocollen en dergelijke) bijna altijd een zware druk legt op de tijd die daarna nog beschikbaar is om een dataset op te bouwen die qua lengte en kwaliteit goed genoeg is om hypothesen te testen.

Wat de veldproeven betreft werden sommige locaties (Jaynes, 2012; Helmers et al., 2012) vastgesteld op grond van criteria voor wetenschappelijk veldonderzoek waarbij het effect van regelbare drainage goed vergeleken zou kunnen worden met conventionele drainage in goed geïnstrumenteerde, vergelijkbare percelen. Andere locaties (Cooke en Verma, 2012; Ghane et al., 2012; Adeuya et al., 2012) werden ingericht op plaatsen waarop agrariërs gewoon aan het produceren waren. Qua bodemtype en overige condities liep deze laatste categorie percelen aanzienlijk uiteen: de locaties vertoonden een grote spreiding over vele regio's van de deelnemende staten. Beide benaderingen hebben zo hun eigen voor- en nadelen. Uiteindelijk leverden de resultaten van beide categorieën proeflocaties waardevolle informatie op, en kon onze database over de effectiviteit van regelbare drainage sterk worden uitgebreid, vooral met betrekking tot het grote, conventioneel gedraineerde landbouwareaal in het Midwesten van de Verenigde Staten.

2.7 Effect van regelbare drainage op stikstofuitspoeling met drainagewater

De resultaten van alle veldproeven die we in ons project hebben gehouden voegen veel toe aan onze kennis over de effectiviteit van regelbare drainage in het beperken van de uitspoeling van stikstof naar het oppervlaktewater. Een samenvatting van de resultaten van inmiddels gepubliceerde studies over het effect van regelbare drainage op stikstofuitspoeling in drainwater is gegeven in Tabel 4. Onderzoek naar de resultaten van de afzonderlijke studies geeft aan dat stikstof in drainagewater nagenoeg geheel uitspoelt in de vorm van nitraat. De effecten van regelbare drainage op de uitspoeling van stikstof, weergegeven in Tabel 4, kunnen daarom worden geïnterpreteerd als effecten op de uitspoeling van $\text{NO}_3\text{-N}$. Tabel 4 werd oorspronkelijk gepresenteerd door Skaggs et al. (2010); resultaten die daarna zijn gepubliceerd zijn later toegevoegd.

In Tabel 4 zijn gegevens opgenomen van veldstudies waarin effecten van regelbare drainage op de jaarlijks afgevoerde volumes drainagewater en stikstofverliezen, op grond van veldmetingen en -observaties zijn bepaald. Omdat de nadruk is gelegd op het effect van conventionele en regelbare drainage op waterconservering en de uitspoeling van nitraat, zijn in Tabel 4 geen gegevens opgenomen over sub-irrigatie.

Ook bevat de tabel geen informatie over modelstudies. Zulke studies zijn echter heel nuttig om te begrijpen hoe regelbare drainage bij verschillende (weers)omstandigheden en bij diverse ontwerpen en operationele strategieën werkt, en hoe de effecten van implementatie op regionale en nationale schaal zouden kunnen uitpakken (opschalen; Jaynes et al., 2010). Modelstudies spelen daarom een belangrijke rol bij het kwantificeren van effecten van regelbare drainage op de jaarlijkse stikstofbelasting van het oppervlaktewater. Zij zijn nodig om kennis te ontwikkelen waarmee de handhaving van de regelgeving rond de uitspoeling van nutriënten en/of aanverwante prikkels om reductie van stikstofuitspoeling naar het oppervlaktewater (Skaggs et al., 2012) kan worden bevorderd.

De recente studies naar effecten van regelbare drainage hebben onze database vergroot van 12 tot 20 locaties. **Regelbare drainages hebben de gemeten gemiddelde jaarlijkse afvoer via de drainage omlaag gebracht met 18% tot meer dan 85%, afhankelijk van locatie en meetjaar. Regelbare drainage heeft ook nu weer geen grote invloed op de concentraties NO₃-N; deze bevinding is consistent met waarnemingen, gedaan in eerdere studies. Effecten op de uitspoeling van stikstof, gerekend in %, waren vergelijkbaar met effecten op drainagevolumes; reducties van NO₃-N belasting varieerden van 18% tot 79%.** De effecten op grond van regelbare drainage, zowel met betrekking tot waterkwantiteit als waterkwaliteit, zijn vergelijkbaar met bevindingen uit eerdere studies, waarvan sommige werden uitgevoerd op zeer verschillende gronden, teeltsystemen en klimatologische omstandigheden.

Afgezien van het feit dat structureel - want in alle studies - lijkt aangetoond dat regelbare drainage een substantiële reductie teweegbrengt van zowel de hoeveelheid drainagewater als de hoeveelheid N in het drainagewater, roepen de resultaten in Tabel 4 de vraag op wat er gebeurt met het water dat niet door drainage uit de bodem werd verwijderd, en waarom de effecten van regelbare drainage tussen de verschillende locaties en bodems zo sterk varieerden. Deze vraag is gedetailleerd besproken door Skaggs et al. (2010). Zij concludeerden dat met regelbare drainage de hoeveelheid afgevoerd drainagewater vermindert door toename van de evapotranspiratie, van de kwel en van de oppervlakkige afstroming. Het effect van regelbare drainage op elk van deze componenten van de waterbalans is afhankelijk van het weer, bodemeigenschappen, de omgeving, ontwerp en beheer van het drainagesysteem en de geteelde gewassen.

Wat gebeurt er met de stikstof? De effectiviteit van regelbare drainage qua reductie van de uitspoeling van stikstof naar het oppervlakte- en grondwater is zowel afhankelijk van het effect op de waterbalans als op de dynamiek van N in het bodemprofiel. Deze effecten zijn op elke locatie weer anders. Een deel van de stikstof kan extra door het gewas worden opgenomen als de gewasverdamping toeneemt. Als het dieper gelegen deel van het bodemprofiel waterverzadigd en dus anaeroob (zuurstofloos, gereduceerd) blijft, en wanneer ondiep grondwater deze anaerobe zones passeert, kan de stikstof door denitrificatie worden omgezet en het bodemprofiel in de vorm van stikstofgas verlaten. Op betrekkelijk goed gedraineerde percelen kan regelbare drainage de drainafvoer wel zwaar effectief 'onderdrukken', maar is de effectiviteit om stikstofuitspoeling vaak beperkt omdat kwelwater met NO₃-N het oppervlaktewater via verschillende alternatieve routes ('stroombanen') uiteindelijk toch zal weten te bereiken.

Tabel 4

Samenvatting van de resultaten van veldonderzoek van de effectiviteit van drainagewater management in het verminderen van drainage volumes en stikstofbelasting.

project (referentie)	staat (USA) provincie (Canada)	bodemtype	duur van de proef (jaar)	oppervlak percelen (ha)	drainafstand (m)	draindiepte (m)	instelling drainage (m -mv) *	reductie drainage- afvoer (%)	reductie stikstof- uitspoeling
Gilliam et al., 1979	North Carolina	Portsmouth	3	5 to 16	30 en 80	1,2	0,3 tot 0,5	50	50
	North Carolina	Goldsboro	3	3	30	1	0,3	85	85
Evans et al., 1989	North Carolina	Ballanhack	2	4	18	1	0,6	56	56
	North Carolina	Wasda muck	2	4	100	1,2	0,6	51	56
	North Carolina	Wasda muck	2	4	18	1	0,6	17	18
Lalonde et al., 1996	Ontario	Bainessville	2	0,63	18,3	1	0,75	49	69
							0,5	80	82
Breve et al., 1997†	North Carolina	Portsmouth	1,2	1,8	22	1,2	0,4 tot 0,5	16	20
Tan et al., 1998	Ontario	Brookston	2	2,2	9,3	0,65	0,3	20	19
Gaynor et al., 2002‡	Ontario	Brookston	2	0,1	7,5	0,6	0,3	16	
Drury et al., 2009§	Ontario	Brookston	4	0,1	7,5	0,6	0,3	29	31 to 44‡
Wesstrom and Messing, 2007	Sweden	Loamy sand	4	0,2	10	1	0,2 tot 0,4	80	80
Fausey, 2005	Ohio	Hoytville	5	0,07	6	0,8	0,3	41	46
Jaynes, 2012	Iowa	Kossuth/Ottosen	4	0,46	36	1,2	0,6	18	21
Helmets et al., 2012	Iowa	Taintor/Kalona	4	1,2 tot 2,4	18	1,2	0,3	37	36
Adeuya et al., 2012	Indiana	Rensselaer	2	3	21	1	0,15 tot 0,6	19	23
	Indiana	Rensselaer	2	6 tot 9	43				18
Cooke and Verma, 2012	Illinois	Drummer	2	15	30	1,15	0,15	44	51
		Drummer/Dana	1 tot 2#	8,1	15	1,15	0,15	44	52
		Orion Haymond	1 tot 2#	5,7	18 to 21	1,15	0,15	89	79
		Patton	1 tot 2#	16,2	12	0,85	0,15	38	73

* Regelbare drainage was uitgeschakeld aan het begin van het groeiseizoen (zaaien, planten, poten e.d.) en tijdens de oogst.

† Alleen regelbare drainage tijdens het groeiseizoen; reductie drainafvoeren 16%; reductie stikstofuitspoeling 20%.

‡ Effecten van regelbare drainage, ten opzichte van conventionele drainage: reductie drainafvoeren 35%, toename oppervlakteafvoer 28%, reductie totale afvoer vanaf perceel 16%. Geen gegevens over stikstofuitspoeling; wel over uitspoeling van bestrijdingsmiddelen.

§ Reductie drainafvoeren 29%, toename oppervlakteafvoer 38%, reductie totale afvoer vanaf perceel 11%.

‡ Reductie nitraatuitspoeling: 44% voor aanbevolen nitraatgift en 31% voor verhoogde nitraatgift.

Drainagevolume gedurende twee jaar gemeten; nitraat uitspoeling slechts één jaar.

2.8 Effect van regelbare drainage op de gewasopbrengst

Het effect van regelbare drainage op de gewasopbrengst is afhankelijk van bodemeigenschappen, de eigenschappen van de locatie, het ontwerp van het drainagesysteem en de beheerstrategie. In een bepaald jaar is het effect van regelbare drainage op de gewasopbrengst sterk afhankelijk van de weersomstandigheden tijdens het groeiseizoen. Regelbare drainage kan in beginsel zorgen voor een hogere gewasopbrengst door water op het perceel vast te houden, zodat het voor het gewas beschikbaar is als er een tijdje geen regen valt. Als een groeiseizoen echter extreem droog is kan er ook geen water in de bodem worden vastgehouden, en is het effect van regelbare drainage, althans wat dit aspect betreft, te verwaarlozen.

Anderzijds: als tijdens het groeiseizoen tijdens cruciale perioden voldoende neerslag valt om de gewassen van het benodigde water te voorzien, is drainagewater dat door regelbare drainage vastgehouden zou kunnen worden niet nodig en heeft regelbare drainage waarschijnlijk weinig effect op de gewasopbrengst.

Het effect van regelbare drainage op de gewasopbrengst zal maximaal zijn in jaren waarin een natte periode tijdens het groeiseizoen wordt gevolgd door een droge periode, gevolgd door weer een natte periode, enzovoort. Zulke omstandigheden lenen zich het beste om water in de bodem vast te houden als het kan, en dit vervolgens tijdens de wat drogere periode ten goede te laten komen aan het gewas. Zulke regelmatige afwisselingen van droge en natte periode treden op sommige locaties en in sommige jaren meer op dan op andere locaties en in andere jaren. Om al dit soort effecten in kaart te kunnen brengen zijn lange termijn studies - i.c. gegevens uit veldproeven - nodig om de gemiddelde effecten van DWM op de gewasopbrengst te kunnen bepalen.

Als andere factoren vergelijkbaar zijn, zal regelbare drainage naar verwachting het meeste effect op waterconservering en gewasopbrengst hebben als de drainbuizen diep worden geïnstalleerd en de drainage-intensiteit hoog is, dat wil zeggen als er sprake is van kleine drainafstanden. In situaties waar drains relatief ondiep en op grotere afstand zijn geïnstalleerd, en/of waar de hydraulische doorlatendheid van het bodemprofiel laag is, moet regelbare drainage zorgvuldig worden beheerd om negatieve effecten op de gewasopbrengst te voorkomen.

Effecten van regelbare drainage op gewasopbrengsten, zoals gemeten in veldproeven en op demonstratieobjecten sites zijn samengevat in Tabel 5. De resultaten zijn voor het grootste deel van recente datum. Hoewel regelbare drainage in sommige gevallen zeker positieve effecten had op de gemeten gewasopbrengst waren deze effecten in andere gevallen verwaarloosbaar, of statistisch niet significant.

Tabel 5

Samenvatting van de gemeten effecten van Regelbare drainage(DWM) op gewasopbrengst.

Project (referentie)	staat (USA) / land	duur van de proef (jaar)	aantal onderzochte percelen	onderzocht gewas	effecten van regelbare drainage op de gewasopbrengst
Tan et al., 1998	Ontario	2	1	sojabonen	geen effect
Drury et al., 2009	Ontario	2	1	maïs	geen effect
		2	1	sojabonen	geen effect
Wesstrom and Messing, 2007	Sweden	4	1	granen	2% tot 18% toename
Fausey, 2005	Ohio	5	1	maïs	geen effect
	Ohio	5	1	sojabonen	geen effect
Poole et al., 2011	North Carolina	6	2	maïs	11% toename
	North Carolina	5	2	tarwe	geen effect
	North Carolina	6	2	sojabonen	10% toename
Delbecq et al., 2012	Indiana	5	2	maïs	5.8% to 9.8% toename
Jaynes, 2012	Iowa	2	1	maïs	geen effect
	Iowa	2	1	sojabonen	8% toename
Helmerts et al., 2012	Iowa	4	1	maïs	afname
	Iowa	4	1	sojabonen	geen effect
Cooke and Verma 2012	Illinois	2	4	maïs	geen effect
		2	3	sojabonen	geen effect
Ghane et al., 2012	Ohio	1 to 2	7	maïs	1% tot 19% toename in 6 van de 9
		1 to 2	7	sojabonen	1% tot 7% toename in 7 van de 11

Er zijn zeker situaties denkbaar waar de relatief korte waarnemingsperiode kan hebben bijgedragen aan het feit dat geen effect op de gewasopbrengst kon worden vastgesteld. In slechts één geval bleek regelbare drainage een negatief effect op de gewasopbrengst te hebben, althans voor één van de twee onderzochte gewassen (Helmerts et al., 2012). Het is wel duidelijk dat meer veldonderzoek moet worden uitgevoerd om het effect van

regelbare drainage op de gewasopbrengst te bepalen, en wel voor een categorie bodems, drainageontwerpen, beheerstrategieën en weersomstandigheden.

Noch bij vroegere studies, noch bij de studies die hier worden besproken was sprake van situaties waarin regelbare drainage gedurende de winter en het vroege voorjaar een negatieve invloed had op de gewasopbrengst. Dit is een belangrijk feit, omdat het effect van het beheer van regelbare drainage tijdens de winter - als percelen braak liggen - op het verminderen van drainagevolumes en uitspoeling van N naar het milieu grootst is.

Krachtig samengevat: terwijl regelbare drainage in sommige gevallen wel, en in andere niet tot oogstvermeerdering leidt, is het effect op het beperken van de waterafvoer en de uitspoeling van stikstof naar het oppervlaktewater in alle situaties significant.

2.9 Abstracts Amerikaanse publicaties over Regelbare Drainage 2012

Journal of soil and water conservation, november/december 2012; 67 (6)



On the cover: Top: Drainage ditch to save lowland fields from flooding. Lower left and right: Open ditch outlets; photos from the Research Introduction article, courtesy of R. Wayne Skaggs, Norman R. Fausey and Robert O. Evans.

Performance of drainage water management systems in Illinois, United States.

R. Cooke and S. Verma

Drainage water management (DWM) is the practice of varying the drainage intensity of a subsurface drainage system to ensure that no more water is transported from a field than is necessary for optimizing crop growth and for facilitating seedbed preparation and other agrotechnical practices. This variation is achieved by using stop logs in a control structure to adjust the outlet elevation of the drainage system.

An experiment was set up to test the hypothesis that the implementation of this practice will reduce nitrate (NO₃) loads from subsurface drainage systems in Illinois, United States, without adversely affecting yields. This experiment consisted of instrumenting and collecting precipitation, flow, and water quality data from four pairs of fields on different soils in Illinois. Each pair consisted of one field with a conventional (free) drainage system and one field with a drainage system whose outlet was managed in accordance with the Illinois Practice Standard for DWM.

Annual NO₃ load reductions from the managed fields ranged from 37% to 79%, with an average load reduction of 61%. However, because of difficulties in measuring flow under submerged outlet conditions and because water left the managed fields by pathways other than through the outlets of the drainage systems, the efficacy of the practice is likely less than these numbers would indicate.

There were no consistent patterns to the relationship between DWM and yields. In some instances, yields increased on the managed fields, and in others, yields decreased. Because of confounding factors, such as weather and topography, studies of longer duration are required to determine the effect of DWM on yield.

© 2012 by the Soil and Water Conservation Society

Crop yield evaluation under controlled drainage in Ohio, United States

E. Ghane, N.R. Fausey, V.S. Shedekar, H.P. Piepho, Y. Shang and L.C. Brown

Controlled drainage (CD) is an important practice for reducing nutrient loading to surface water bodies across the midwestern United States. There may also be a positive crop yield benefit, which could add an incentive for adoption of this practice.

The objective of this multi-environment trial was to assess yield stability and yield performance of CD in northwest Ohio, United States. The trial was a split-plot experiment with environments as whole plots (randomization unit). The main plot factor was crop with three levels: corn (*Zea mays* L.), popcorn (*Zea mays* L. var. *everta*), and soybean (*Glycine max* [L.] Merr.).

The subplot factor was drainage management with two levels: conventional free drainage (FD) and CD. The design of the main plot factor was a completely randomized design.

Mixed model analysis showed that CD management produced a statistically greater (p -value = 0.0246) crop yield compared to FD management over 23 site-year environments during 2008 to 2011. Interaction between drainage management and crop was not significant, implying that CD management had the same yield-increasing effect for all crops. The CD management provided 3.3%, 3.1%, and 2.1% greater yield for corn, popcorn and soybean, respectively, relative to the FD management.

The stability analysis based on 23 environments suggested that the drainage managements were not different in yield stability, though a larger number of environments are needed to make a more accurate assessment of yield stability.

Area of influence analysis indicated that CD can provide more profit than FD for relatively flat fields where the influence of CD extends over the entire field. In conclusion, CD provided crop yield advantage over FD across different environments in northwest Ohio.

© 2012 by the Soil and Water Conservation Society

Abstract 3 of 7: Water Quality and Yield Benefits of Drainage Water Management in the US Midwest

Impacts of drainage water management on subsurface drain flow, nitrate concentration, and nitrate loads in Indiana

R. Adeuya, N. Utt, J. Frankenberger, L. Bowling, E. Kladvko, S. Brouder and B. Carter

Drainage water management is a conservation practice that has the potential to reduce drainage outflow and nitrate (NO₃) loss from agricultural fields while maintaining or improving crop yields. The goal of this study was to quantify the impact of drainage water management on drain flow, NO₃ concentration, and NO₃ load from subsurface drainage on two farms in Indiana.

Paired field studies were conducted following the paired watershed statistical approach modified to accommodate autocorrelation. Annual NO₃ load reductions ranged from 15% to 31%, with an overall reduction of 18% to 23% over the 2-year period, resulting from reductions in both flow and NO₃ concentration.

Although the study revealed weaknesses in using the paired statistical approach for a dynamic practice like drainage water management, the results of this study support the use of drainage water management as a conservation practice and provide information for decision-makers about the level of benefits that can be anticipated.

© 2012 by the Soil and Water Conservation Society

Abstract 4 of 7: Water Quality and Yield Benefits of Drainage Water Management in the US Midwest

Changes in yield and nitrate losses from using drainage water management in central Iowa, United States

D.B. Jaynes

Drainage water management (DWM) is a potentially valuable management practice for reducing NO₃ losses to surface waters in areas of artificial drainage. But the practice is essentially untested in Midwest United States conditions and its water quality and crop yield benefits uncertain.

This paper reports results from applying DWM to a 22 ha (54 ac) production field in central Iowa as part of a five-state Conservation Innovative Grant effort to document the impact of DWM across the Midwest. Three of nine plots in an existing tile drainage research site were retrofitted with control structures so that the drainage level could be controlled. Water flow from the tile in each plot, NO₃ concentration in the drainage, and crop yield were measured over a four year period from 2006 to 2009. The field was in a two year corn (*Zea mays* L.) -soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) rotation with nitrogen (N) fertilizer applied before the corn crop only.

During four years of monitoring tile flow, there was a significant ($p = 0.05$) 21% decrease in tile flow, no significant decrease in NO₃ concentration, and a significant 29% reduction in NO₃ load leaching from the DWM treatment compared to conventional drainage.

No yield benefits from DWM were observed for the two year average for corn (2006 and 2008), but a significant yield increase of 8% was observed for the two year average for soybean (2007 and 2009). For the four years monitored in this study, it is unclear if the yield increase for soybean versus no increase for corn was due to weather patterns or because corn and soybean responded differently to the raised water table caused by DWM.

© 2012 by the Soil and Water Conservation Society

Abstract 5 of 7: Water Quality and Yield Benefits of Drainage Water Management in the US Midwest

Water table, drainage, and yield response to drainage water management in southeast Iowa

M. Helmers, R. Christianson, G. Brenneman, D. Lockett and C. Pederson

Subsurface drainage is an important practice for optimizing crop production, but it accelerates nitrate-nitrogen (NO₃-N) loss to downstream water bodies. As a result, there is a need for practices that can maintain crop production while decreasing subsurface drainage volume and NO₃-N export.

The objectives of this work were to evaluate the impact of drainage water management through controlled drainage, shallow drainage, conventional drainage, and no drainage on subsurface drainage volumes, water table depths, crop yields, and NO₃-N export.

This research was conducted at the Iowa State University Southeast Research Farm and consisted of four management schemes with two replicates for a total of eight plots. Plots consisted of a corn (*Zea mays* L.)-soybean (*Glycine max* L. Merr.) rotation with half of the plot planted in corn and half planted in soybeans each year.

Findings from four years show that undrained plots had a high occurrence of elevated water tables. Controlled and shallow plots had elevated water tables in the early spring and early fall in accordance with the rainfall and management protocols for controlled drainage. Water table response was quick, with drawdown to tile depth within one to two days after significant rain events.

During the period of the study, drainage water management through controlled drainage or shallow drainage reduced overall drainage volume by 37% and 46%, respectively. Average annual NO₃-N loss for the study period was reduced by 36% and 29% for controlled drainage and shallow drainage, respectively. Over the four-year period, corn yields in the controlled plots were significantly lower than conventional drainage; however, yields were not statistically different from shallow drained plots.

There was no statistically significant difference between drained plots in terms of soybean yield for the study period. Undrained plots, however, had significantly lower yields for corn when compared with shallow and conventional treatments and for soybeans when compared to all treatments. This study highlighted the potential for use of drainage water management practices in reducing subsurface drainage volume and downstream NO₃-N loss. In addition, the study highlighted the overall importance of drainage on maintaining crop yields.

© 2012 by the Soil and Water Conservation Society

Abstract 6 of 7: Water Quality and Yield Benefits of Drainage Water Management in the US Midwest

The Nashua agronomic, water quality, and economic dataset

P. Heilman, R.S. Kanwar, R.W. Malone, L. Ma, J.L. Hatfield and K. Boyle

This paper describes a dataset relating management to nitrogen (N) loading and crop yields from 1990 to 2003 on 36, 0.4 ha (1 ac) individually tile-drained plots on the Northeast Research and Demonstration Farm near Nashua, Iowa, United States. The field-measured data were used to calibrate the Root Zone Water Quality Model (RZWQM), and the results were summarized in a special issue of *Geoderma* (Ahuja and Hatfield, 2007).

With a comprehensive, long-term measured dataset and a model that simulates many of the components of the agricultural system, one can begin to understand the effects of management practices on N loading, crop yields, and net income to the farmers. Other researchers can use this dataset to assess the effects of management on similar tile-drained systems occurring some distance from Nashua, under alternative climates and soils, with other management systems, or with simulation models using different process representations.

By integrating the understanding developed at Nashua with datasets from other highly monitored sites and other sources, progress can be made in addressing problems related to excessive N fluxes in the Mississippi Basin.

An example 30-year RZWQM simulation of 18 management systems implies that significant management changes are needed to meet the goal of reducing N loads to the Gulf of Mexico by 45%. This paper and the

associated datasets are intended to be used in conjunction with the analyses and process descriptions presented in the *Geoderma* special issue. The datasets and additional explanatory materials are available for download at <http://apps.tucson.ars.ag.gov/nashua>.

© 2012 by the Soil and Water Conservation Society

Abstract 7 of 7: Water Quality and Yield Benefits of Drainage Water Management in the US Midwest

Evaluating hydrology of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) with new tile drain equations

D.N. Moriasi, C.G. Rossi, J.G. Arnold and M.D. Tomer

Although subsurface drainage is a water management system widely used to maximize crop production in regions with seasonal high water tables, such as the midwestern United States, it is also a major source of nutrients into water bodies.

Recently, physically based Hooghoudt and Kirkham tile drain equations were incorporated into the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model (herein referred to as Modified SWAT) as alternative tile flow simulation methods and a tool to design cost-effective and environment-friendly tile drain water management systems.

The goal of this study was to determine a range of values for the new tile drain parameters and to use measured streamflow data from the South Fork Watershed (SFW) in Iowa to evaluate the capability of the Modified SWAT to simulate water balance components for this tile-drained watershed. This was accomplished by reviewing literature of tile drainage studies and by comparing measured streamflow with that predicted by the Modified SWAT using the Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) and percent bias (PBIAS [%]) statistical methods in addition to hydrographs.

During the calibration period, the Modified SWAT simulated streamflow very well (monthly NSE = 0.85 and PBIAS = ±2.3%). During the validation period, the Modified SWAT model simulated streamflow well (monthly NSE = 0.70 and PBIAS = ±2.5%).

Simulated water balance results indicated that the soil water with tile drainage (260 mm [10 in]) was significantly (p -value = 0.00) lower than soil water without tile drainage (355 mm [14 in]), while streamflow with (205 mm [8 in]) tile drainage was significantly (p -value = 0.03) greater than streamflow without (128 mm [5 in]) tile drainage. This shows that the Hooghoudt steady-state and Kirkham tile drain equations are potential alternative tile flow simulation methods and tile drainage design tools in SWAT.

© 2012 by the Soil and Water Conservation Society

2.10 Referenties naar Amerikaanse publicaties over Regelbare Drainage

- Amatya, D.M., R.W. Skaggs, J.W. Gilliam en J.H. Hughes, 2003. Effects of orifice-weir outlet on hydrology and water quality of a drained forested watershed. *Southern Journal of Applied Forestry*. 2003, 27: 2, 130-142; 24 ref.
- Burchell, A.R., R.W. Skaggs, G.M. Chescheir, J.W. Gilliam en L.A. Arnold, 2005. Shallow subsurface drains to reduce nitrate losses from drained agricultural lands. *Transactions of the ASAE* 48:1079-1089.
- Chescheir, G.M., R.W. Skaggs, J.W. Gilliam, 1992. Evaluation of wetland buffer areas for treatment of pumped agricultural drainage water. *Transactions of the ASAE*. ,1992, 35: 1, 175-182; 22 ref.
- Chescheir, G.M., R.W. Skaggs en J.W. Gilliam, 1992. Evaluation of Wetland Buffer Areas for Treatment of Pumped Agricultural Drainage Water. *Transactions of the ASAE* 35:175-182.
- Chescheir, G.M., R.W. Skaggs, J.W. Gilliam en R.O. Evans, 1995. Effects of water table management on water quality. *Clean water, clean environment, 21st century team agriculture, working to protect water resources conference proceedings*, March 5-8, 1995, Kansas City, Missouri / 3:61-64.

- Deal, S.C., J.W. Gilliam, R.W. Skaggs en K.D. Konyha, 1986. Prediction of Nitrogen and Phosphorus Losses as Related to Agricultural Drainage System-Design. *Agriculture Ecosystems & Environment* 18:37-51.
- El-Sadek, A, J. Feyen, W. Skaggs en J. Berlamont, 2002. Economics of nitrate losses from drained agricultural land. *Journal of Environmental Engineering-Asce* 128:376-383.
- Evans, R.E., J.W. Gilliam en W. Skaggs, 1996. Controlled drainage management guidelines for improving drainage water quality. In: Service NCCE (ed) Publication Number: AG 443 at www.bae.ncsu.edu/programs/extension/evans/ag443.html, pp 1-19.
- Evans, R.O., J.W. Gilliam en R.W. Skaggs, 1989. Managing water table management systems for water quality. *Pap Amer Soc Agric Eng*: 24.
- Evans, R.O., R.W. Skaggs en J.W. Gilliam, 1995. Controlled Versus Conventional Drainage Effects on Water-Quality. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-Asce* 121:271-276.
- Evans, R.O., R.W. Skaggs en R.E. Sneed, 1990. Normalized crop susceptibility factors for corn and soybean to excess water stress. *Trans A S A E* 33:1153-1161.
- Evans, R.O., R.W. Skaggs en R.E. Sneed, 1991. Stress day index models to predict corn and soybean relative yield under high water table conditions. *Trans A S A E* 34:1997-2005.
- Evans, R.O., R.W. Skaggs en R.E. Sneed, 1991. Stress Day Index Models to Predict Corn and Soybean Relative Yield under High Water-Table Conditions. *Transactions of the Asae* 34:1997-2005.
- Fouss, J.L., R.W. Skaggs en J.S. Rogers, 1987. 2-Stage Weir Control of Subsurface Drainage for Water-Table Management. *Transactions of the Asae* 30:1713-1719.
- Gilliam, J.W., G.M. Chescheir, R.W. Skaggs, R.G. Broadhead, D.D. Hook et al., 1988. Effects of pumped agricultural drainage water on wetland water quality. *Ecology and management of wetlands*. Vol. 2. Management, use and value of wetlands. 1988 275 283; 8 fig.; 4 ref.
- Gilliam, J.W., R.W. Skaggs, 1986. Controlled Agricultural Drainage to Maintain Water-Quality. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-Asce* 112:254-263.
- Gilliam, J.W., R.W. Skaggs en S.B. Weed, 1979. Drainage Control to Diminish Nitrate Loss from Agricultural Fields. *Journal of Environmental Quality* 8:137-142.
- Mohammad, F.S. en R.W. Skaggs, 1984. Effect of Drain Tube Openings on Drainage and Subirrigation. *Transactions of the Asae* 27:1455-1462.
- Munster, C.L., R.W. Skaggs en V.R. Pemmireddy, 1996. Effect of water table management on the fate of the pesticide aldicarb. *Transactions of the Asae* 39:55-66.
- Seymour, R.M., R.W. Skaggs en R.O. Evans, 1992. Predicting corn yield response to planting date delay. *Trans A S A E* 35:865-869.
- Skaggs, R.W., 1973. Water Table Movement During Subirrigation. *Transactions of the Asae* 16:988-993
- Skaggs, R.W., 1980 Combination Surface-Subsurface Drainage Systems for Humid Regions. *Journal of the Irrigation and Drainage Division-Asce* 106:265-283.
- Skaggs, R.W. 1991. Modeling Water-Table Response to Subirrigation and Drainage. *Transactions of the Asae* 34:169-175.
- Skaggs, R.W., M.A. Breve en J.W. Gilliam, 1994. Hydrologic and Water-Quality Impacts of Agricultural Drainage. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 24:1-32.
- Skaggs, R.W., M.A. Breve MA en J.W. Gilliam, 1994. Hydrologic and Water-Quality Impacts of Agricultural Drainage. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 24:1-32.
- Skaggs, R.W., M.A. Breve en J.W. Gilliam, 1995. Predicting effects of water table management on loss of nitrogen from poorly drained soils. *European Journal of Agronomy* 4:441-451.
- Skaggs, R.W., M.A. Breve MA en J.W. Gilliam , 1995. Predicting effects of water table management on loss of nitrogen from poorly drained soils. *European Journal of Agronomy* 4:441-451.
- Skaggs, R.W. en G.M. Chescheir, 2003. Effects of subsurface drain depth on nitrogen losses from drained lands. *Transactions of the Asae* 46:237-244.
- Skaggs, R.W. en J.W. Gilliam, 1981. Effect of drainage system-design and operation on nitrate transport. *Transactions of the Asae* 24:929-934, 940.

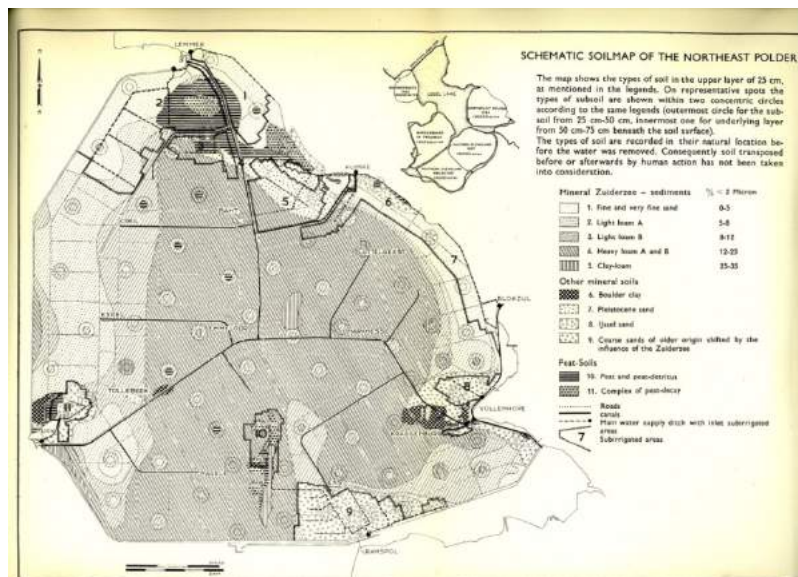
- Skaggs, R.W., S. Hardjoamidjojo, E.H. Wiser en E.A. Hiler, 1982. Simulation of crop response to surface and subsurface drainage systems. Transactions of the Asae 25:1673-1678.
- Smedema, L.K., and W.F. Vlotman. 2004. Modern Land Drainage: Planning, Design and Management of Agricultural Drainage Systems. London: Taylor and Francis Group
- Smith, M.C., R.W. Skaggs en J.E. Parsons, 1985. Subirrigation system control for water-use efficiency. Transactions of the Asae 28:489-496.
- Wright, J.A., A. Shirmohammadi, W.L. Magette, J.L. Fouss, R.L. Bengtson en J.E. Parsons, 1992. Water-Table management practice effects on water-quality. Transactions of the Asae 35:823-831.

3 Samengestelde regelbare drainage in Nederland

Auteur: L.C.P.M. Stuyt

3.1 Samengestelde regelbare drainage-infiltratiesystemen in de Noordoostpolder (1950)

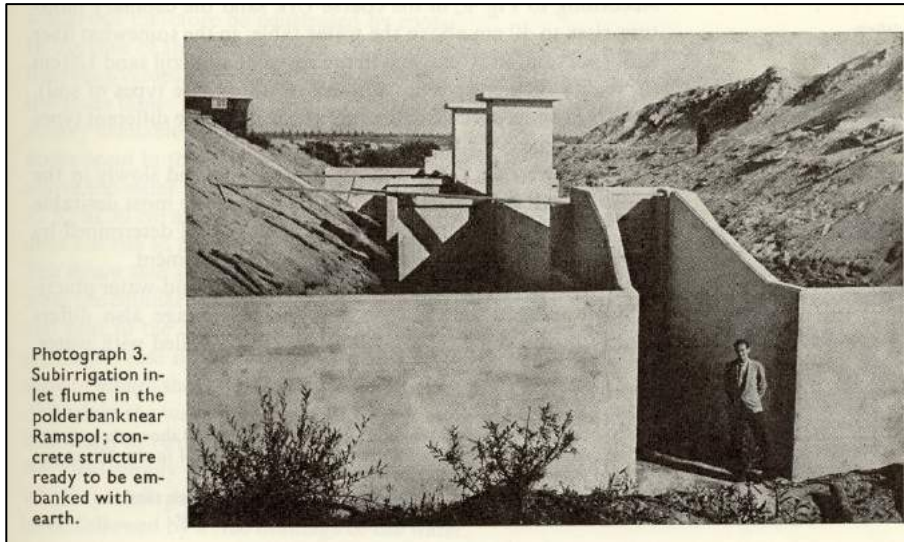
In de Noordoostpolder is halverwege de vorige eeuw uitgebreid geëxperimenteerd met samengestelde drainagesystemen, die onder meer zijn gebruikt voor infiltratie via drains. De systemen in de Noordoostpolder werden rond 1950 aangelegd. Het betrof vooral de 10.000 ha droogtegevoelige gronden, voornamelijk langs de oostelijk gelegen randen van de polder (Kalisvaart, 1954, 1957, 1958; Enserink, 1956; Visser, 1995; zie Figuur 21). In dit gebied komen stabiele, grofzandige afzettingen voor. Destijds waren het droogtegevoelige graslandgebieden op lichte gronden; tegenwoordig is het bebost (Voorsterbos). Het water werd ingelaten via enorme kunstwerken; zie Figuur 22.



Figuur 21

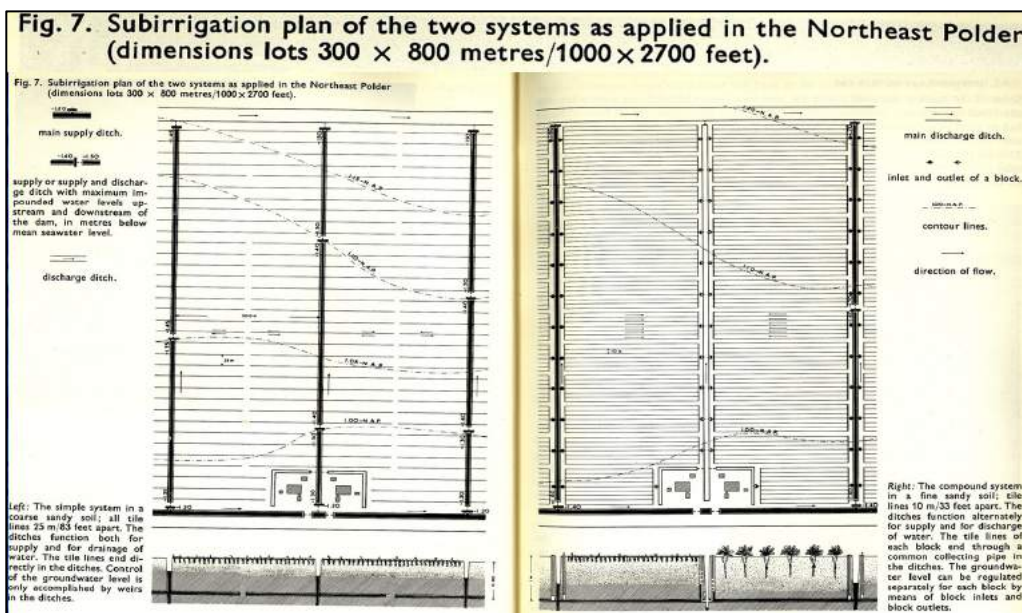
Bodemkaart van de Noordoostpolder; aan de oostzijde de droogtegevoelige, zandige gebieden, genummerd van 1 tot 9, die via een samengesteld, regelbaar drainagesysteem van water moesten worden voorzien.

Infiltratie via drains (sub-irrigatie) was veel goedkoper dan beregening (Kalisvaart, 1958). Er bestonden twee vormen van infiltratie: het zgn. Vollenhove-systeem en de zgn. Ramspol-methode. In beide systemen werd gebruik gemaakt van $\varnothing 50$ mm gebakken kleibuisen, bedekt met heide en stro; zie Figuur 23. Naar het werk van Kalisvaart wordt ook in Amerikaanse publicaties verwezen.



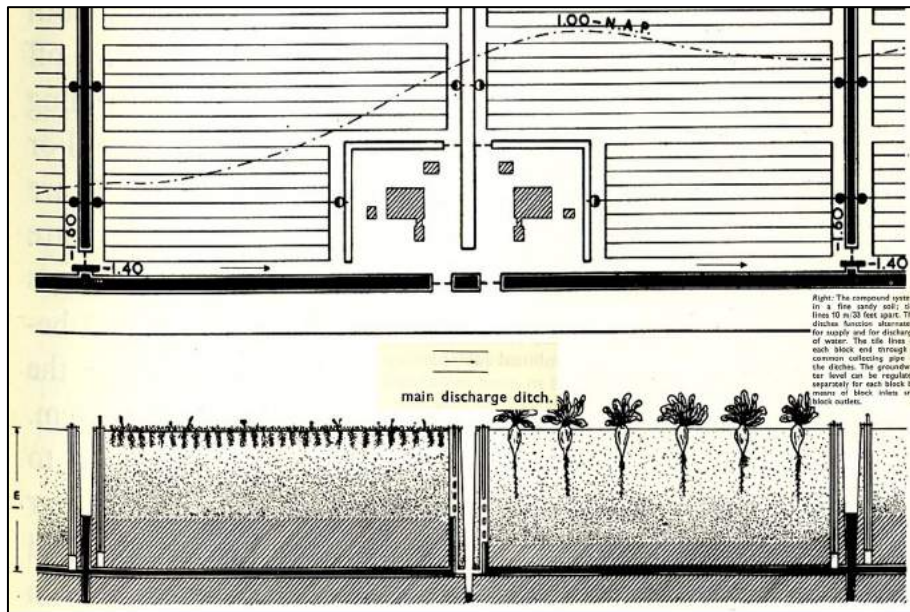
Figuur 22
Kunstwerk voor waterinlaat in de Noordoostpolder.

De eenvoudigste manier van infiltreren was het zogenoemde Vollenhove-systeem. Dit werd zo genoemd omdat het voor het eerst werd toegepast in het gebied in de Noordoostpolder nabij Vollenhove. Het werd op ca. 7000 ha geïnstalleerd. Bij het enkelvoudige Vollenhove-systeem heeft iedere drainbuis zijn eigen uitmonding in de collectorsloot, waarin het gewenste peil wordt gehandhaafd. Alle sloten worden voor wateraanvoer en -afvoer gebruikt, en om de grondwaterstand te sturen. De drains lopen tot het midden van de percelen. De draandiepte was in het midden van het perceel 90 cm -mv; de uitmondingen lagen bij 120 cm -mv. **Het afschot dat 2‰ bedroeg (20 cm/100m), werd nodig geacht voor de afvoer van zand naar de collectorsloot.**



Figuur 23
Twee systemen voor sub-irrigatie in de Noordoostpolder: het enkelvoudige systeem, waarin drainbuizen in sloten uitmondten (links) en het samengestelde systeem waarin de drains waren aangesloten op verzameldrains (rechts).

Bij het samengestelde Ramspol-systeem werden voor wateraanvoer en -afvoer tijdens het infiltratieseizoen *verschillende* sloten gebruikt. Dit systeem werd op ca. 3000 ha geïnstalleerd. De drains lagen horizontaal op een diepte van 70 cm in grof zand, tot 100 cm in fijn zand en veen. Zij werden, in blokken van ca. 3 ha, geïntegreerd tot samengestelde eenheden door groepen van vijf drains aan beide uiteinden van de kavel te verbinden door $\varnothing 80$ mm verzameldrains; zie Figuur 24.



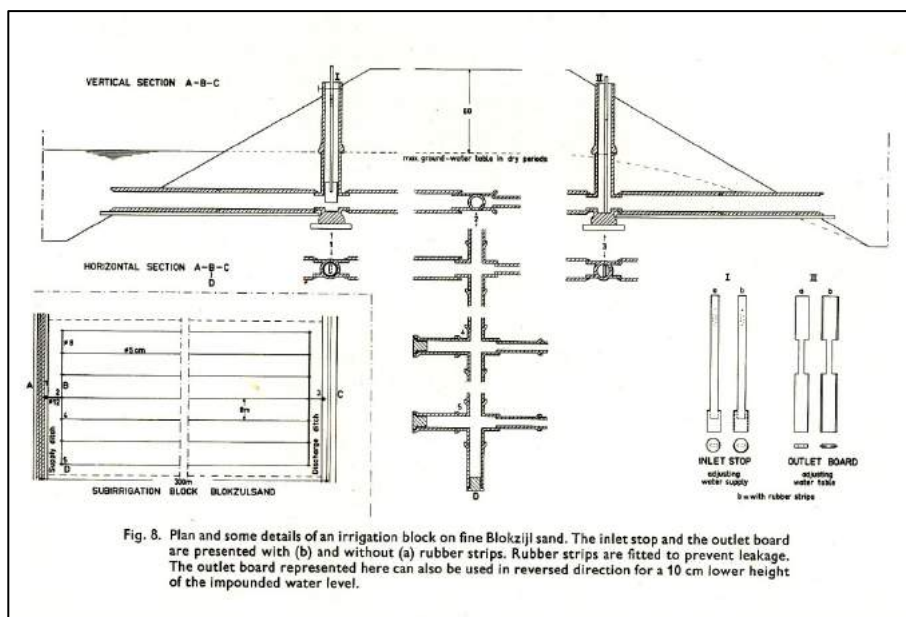
Figuur 24

Het samengestelde Ramspol-systeem; zie tekst.

In het Ramspol-systeem fungeerden de kavelsloten om en om als aanvoer- of afvoersloot, waarin respectievelijk afsluitbare inlaten en de peilregelende uitlaten van een drainageblok uitmondten. Zowel de inlaat- als de uitlaatzijde was regelbaar met kleppen; zie Figuur 25. In elk blok kon de grondwaterstand daarom onafhankelijk van de andere blokken worden ingesteld. De ene verzameldrain diende als inlaat en de andere als uitlaat. De hoogte van de waterstand in de aanvoersloot hoefde minder nauwkeurig geregeld te worden dan bij het enkelvoudige Vollenhove-systeem.

Een voordeel van het enkelvoudige Vollenhove-systeem was onder andere dat de drukhoogte in de drains gemakkelijk met stuwen gereguleerd kon worden ('men ziet wat men doet'). De stuw aan de inlaatzijde van de kavelsloot wordt bediend door de waterbeheerder. De stuw aan de uitlaatzijde wordt bediend door de boer die hem bij overvloedige neerslag desgewenst kan openen. Bovendien konden de drains vrij gemakkelijk worden onderhouden (o.a. verwijderen van verstoppingen).

Het samengestelde Ramspol-systeem was flexibeler, omdat binnen percelen meerdere grondwaterstanden konden worden ingesteld. Hierdoor was dit systeem meer geschikt voor fijnzandige profielen waar grondwaterstanden moeilijker gereguleerd kunnen worden. Bovendien hoefden slootpeilen niet nauwkeurig ingesteld te worden. Een nadeel van het Ramspol-systeem was echter dat het onderhoud van drains moeilijk en duur was. Daarnaast was het gebruik in operationeel opzicht vrij ingewikkeld ('men ziet niet wat men doet').



Figuur 25

Techniek, gebruikt voor waterinlaat in het Ramspol-systeem. Watertoevoer werd gereguleerd met verticaal gepositioneerde zuigers ('kleppen').

Verstopingen met zand waren niet ongebruikelijk. Zij werden geweten aan open stukken in omhullingsmaterialen van turfmoen en beschadigde buiseinden (kleibuizen met kraag). Er deden zich ook onverwachte verstoppingsproblemen voor. Uit een drain is wel eens een gezelschap van 40 kikkers gekropen. In de zomer van 1952 bleken drains in de Noordoostpolder overal vol te zitten met driekantige zoetwatermossels. Verder veroorzaakten slierten van waterplanten soms verstoppingen. Het aanbrengen van gaas op inlaatbuizen (horren- of fijn kippengaas) gaf geen uitkomst omdat dit gaas in korte tijd geheel dicht ging zitten, vooral door algen (Enserink, 1956).

Overigens bleek de capaciteit van beide systemen tijdens lange warme en droge perioden te gering om in het waterverbruik van de gewassen te voorzien. Een andere belangrijke factor was de hoogteligging van het terrein. Te grote of ongunstig liggende hoogteverschillen kunnen infiltratie vrijwel onuitvoerbaar maken. De perceelsbreedte in de Noordoostpolder van 300 m is voor de samengestelde Ramspol-methode te groot gebleken. In Oostelijk Flevoland zijn de infiltratiekavels dan ook op 200 m breedte ontworpen. Van 1954 tot 1958 zijn de hoeveelheden geïnfilterd water in tien verschillende gebieden in de Noordoostpolder gemeten. De hoeveelheid geïnfilterd water varieert gemiddeld van 66 tot 392 mm op jaarbasis, gerekend van 1 april tot 1 november. Deze cijfers zijn grotendeels afhankelijk van neerslaghoeveelheden en andere hydrologische randvoorwaarden, onder andere kwel en waterverspilling (Kalisvaart, 1959).

Later is het Ramspol-systeem vervangen door een verbeterd Ramspol-systeem. In dit systeem wordt niet meer gewerkt met blokken, maar monden de drains afzonderlijk uit in de aan- en de afvoersloot. Beide uiteinden zijn flexibel, en kunnen desgewenst onder- en boven het open waterniveau worden gehouden. Staat de uitmonding in de aanvoersloot boven water en die in de afvoersloot omlaag, dan wordt het profiel gedraineerd. In de omgekeerde situatie wordt er geïnfilterd. De drains konden gemakkelijk worden onderhouden, maar de perceelsbreedte was beperkt tot 200 m. Over het verbeterde Ramspol-systeem is nooit gepubliceerd.

3.2 Samengestelde regelbare drainage-infiltratiesystemen in de bloembollenteelt (1970)

In de bollenteelt zijn samengestelde, regelbare drainagesystemen geen onbekende. Fa. Th. Apeldoorn, gelegen aan de binnenduinrand te Egmond (zie Figuur 26 en Figuur 27) gebruikt al decennialang zo'n systeem.

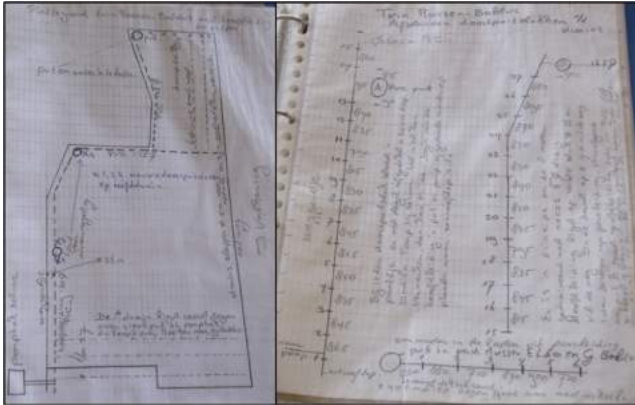


Figuur 26
Locatie bloembollenteler Fa. Apeldoorn te Egmond.



Figuur 27
Perceel Fa. Apeldoorn te Egmond.

De drainagesystemen zijn in de jaren 70 van de vorige eeuw ontworpen en aangelegd. Zij kunnen worden gebruikt voor drainage en infiltratie met zoet water, afkomstig uit de nabijgelegen duinen. De Ø60mm PVC drains zijn omwikkeld met een filter van kokosvezels, en zijn gelegd op een onderlinge afstand van circa 6 m. Zij zijn aangesloten op PVC hoofddrains, Ø120 mm en Ø160 mm; zie Figuur 28.



Figuur 28

Ontwerp layout drainage / infiltratiesysteem Fa. Apeldoorn te Egmond.

De hoofddrains zijn geschakeld via PVC-putten, die geheel zijn ingegraven en bedekt met metalen platen. Er zijn putten die geschikt zijn om water in te laten (het bedrijf beschikt over een eigen persleiding, waarmee ook sprinklers kunnen worden aangestuurd; zie Figuur 29), maar er is ook een zogenoemde zuigput, waarop een pomp kan worden aangesloten, zodat de drainage desnoeds kunstmatig versneld wordt. Ter plekke van alle putten zijn één tot twee aansluitingen aangebracht om doorspuiten van het systeem mogelijk te maken: 'doorspuitstukken'.



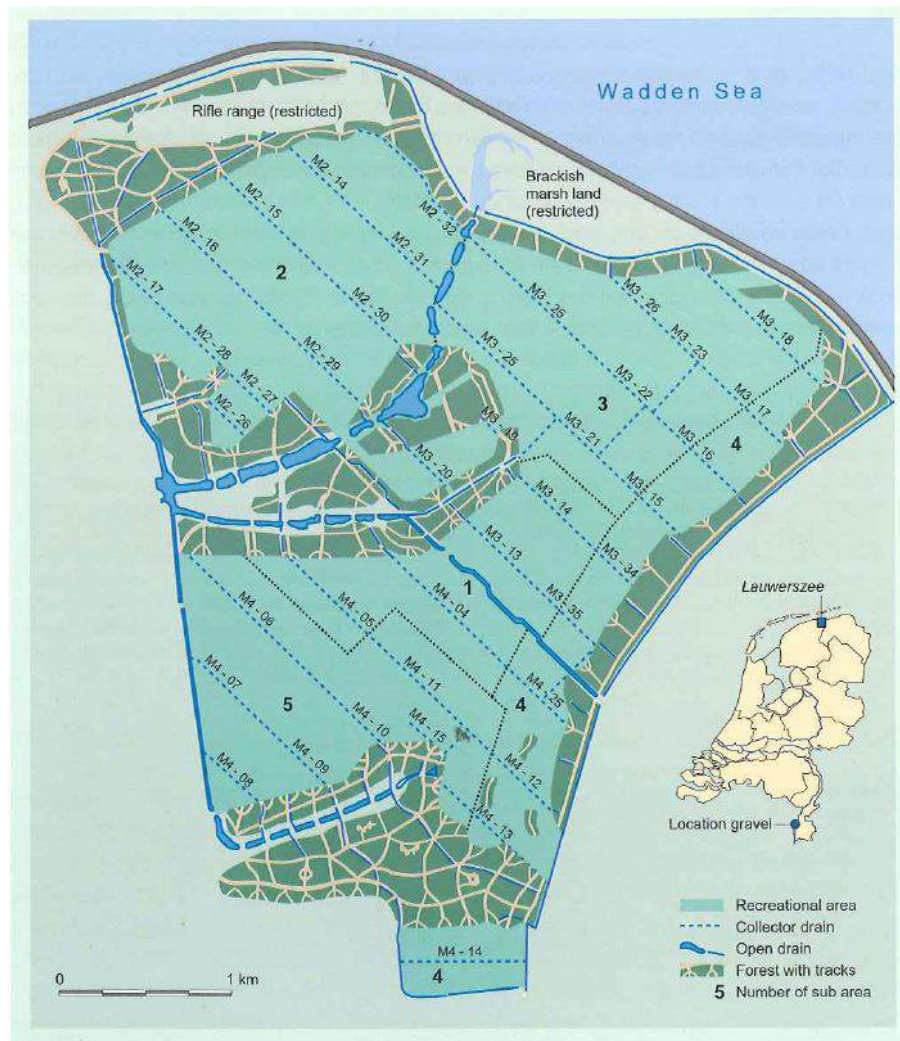
Figuur 29

Een drainageput wordt van zoetwater voorzien via de op het bedrijf aangelegde persleiding.

Het systeem van Fa. Apeldoorn is een goed voorbeeld van flexibel en creatief gebruik van een drainage / infiltratiesysteem, waarmee een vollegrondsteler (in dit geval een tuinder) op zijn eigen percelen waterbeheerder is geworden. In beginsel is elk samengesteld, regelbaar drainagesysteem hiervoor geschikt, maar de agrariër moet het zelf gaandeweg ontdekken ('learning by doing').

3.3 Samengestelde, regelbare drainage in militair oefenterrein Marnewaard (1985)

In 1985 is in Nederland op grote schaal een samengesteld, regelbaar drainagesysteem aangelegd. Dit gebeurde in de Marnewaard, waar een militair oefenterrein werd ingericht. Het oefenterrein Marnewaard is 1500 ha. groot en ligt in Lauwersmeer (voormalige Lauwerszee); zie Figuur 30.

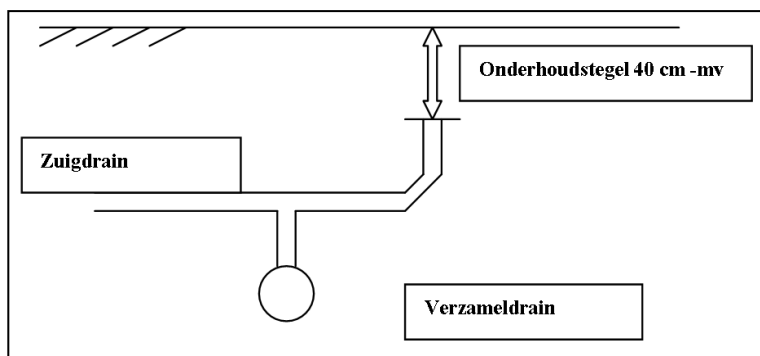


Figuur 30

Plattegrond van het 1500 ha grote recreatieterrein / militaire oefenterrein Marnewaard, dat grotendeels gedraineerd is met een samengesteld, regelbaar drainagesysteem dat aan zeer hoge eisen voldoet (bron: Nijland et al., 2005)⁴⁰.

Het stelsel is in de periode 1980-1985 aangelegd, op grond van een ontwerp van Henk Nijland, drainage ingenieur, in dienst van het toenmalige ILRI (International Institute for Land Reclamation and Improvement) te Wageningen. ILRI hield zich onder meer bezig met drainage en irrigatie in ontwikkelingslanden, en heeft bij deze gelegenheid een drainage-ontwerp dat in het buitenland succesvol was gebleken voor het eerst in Nederland toegepast.

⁴⁰ Nijland, H.J., F.W. Croon en H.P. Ritzema. 2005. Subsurface Drainage Practices. Guidelines for the implementation, operation and maintenance of subsurface pipe drainage systems. ILRI Publication 60, Alterra, Wageningen.



Er zijn al veel buitenlanders naar de drainage in het Lauwersmeergebied komen kijken. Op de meeste plaatsen is grind gebruikt als afdekkingsmateriaal; soms polypropyleen. Elk jaar doorspuiten is nodig door slibafzetting en wortelingroei (bomen).

Omdat het een militair oefenterrein betrof moest het drainagesysteem aan zeer hoge eisen voldoen. De drainage is zeer stelselmatig aangelegd. De zuigdrains hebben een diameter van 65 of 80 mm, de verzameldrains een diameter van 160 tot 600 mm, de draandiepte varieert van 150 tot 90 cm beneden het maaiveld. Alle drains worden elk jaar gereinigd, het systeem werkt perfect. De verzameldrains wateren af met stuwputten. Omstreeks 1 april wordt in deze stuw / verzamelputten de waterstand één meter verhoogd; rond eind augustus wordt deze waterstand verlaagd naar een vrije afwatering.

Onderstaande overdrukken van een rapport uit 1985 van de toenmalige Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders⁴¹ geven - zij het summier - een beeld van het onderhoud dat aan het drainagesysteem zou moeten worden gedaan. Er wordt onder andere gesproken over het 'leegzuigen van putten': dit zijn de putten waarmee het peil van de drainagesystemen kon worden ingesteld.

⁴¹ <http://www.scribd.com/doc/59172099/Exploitatiekosten-van-het-compagniesoefenterrein-in-de-Marnewaard-Lauwerszee>

4.1.1.5. Drainage

Het onderhoud van drains bestaat uit het regelmatig doorspuiten met speciale apparatuur. Hierbij wordt 50-60 liter water per minuut verbruikt bij een druk aan de spuitkop van ca. 15 bar.

In de eerste jaren na aanleg dient dit jaarlijks te gebeuren. Na enkele jaren zal in gebieden in het free-for-all terrein en in de banen, waar invloed van kwel bestaat, dit jaarlijks onderhoud een noodzaak blijven. In de overige gebieden is eenmaal in de twee jaar voldoende.

De drainage in de bossen dient ook jaarlijks te worden doorgespoten, om daarin ook de wortelgroei zoveel mogelijk tegen te gaan. In de loop van de tijd kan echter de wortelgroei te sterk worden waardoor dit onderhoud zal afnemen of in het uiterste geval niet meer is uit te voeren.

Het draindoorspuiten wordt tot nu toe uitgevoerd met één eenheid bestaande uit twee doorspuitmachines, één tankwagen voor de aanvoer van water en één mobiele kraan. Hiermee is het mogelijk gebleken dat globaal de helft van de drainage in de daarvoor geschikte periode kan worden

bewerkt, waarbij de kraan capaciteit over heeft. Dit houdt in dat het totale drainonderhoud in de toekomst met vier doorspuitmachines, twee tankwagens en één mobiele kraan kan worden uitgevoerd. Wel dient hierbij te worden opgemerkt dat de werkorganisatie en -inzet bij het tot nu toe uitgevoerde loonwerk op hoog peil staat.

Het leegzuigen van stuw- en inspectieputten met behulp van een vacuüm-tankwagen voldoet uitstekend.

Totale kosten per jaar: f 190.000

4.1.2. *Incidenteel onderhoud*

4.1.2.1. Drainage

Na verloop van tijd functioneert een drainagesysteem niet voldoende meer. Dit kan b.v. een gevolg zijn van dichtslibben; doorspuiten helpt ten slotte niet meer.

Er wordt vanuit gegaan dat de drainage in het free-for-all terrein en in de banen ca. 20 jaar meegaat. Hoewel dit enigszins schoksgewijs zal verlopen houdt dit in dat jaarlijks 5% voor vervanging in aanmerking komt. Hierbij moet dan in hoofdzaak alleen zuigdrains worden vernieuwd, waarbij voor de helft drains met polypropyleen-omhulling en de helft met grindomhulling is gerekend. Bij de bepaling van de kosten is er dan ook van uitgegaan dat de hoofddrains, putten, kruisstukken, doorsteekpunten e.d. blijven bestaan.

Uit het voorgaande mag niet worden afgeleid dat hierop geen enkele afschrijving behoeft plaats te vinden.

Gelet echter op b.v. het soort materiaal en het gebruik daarvan mag ervan worden uitgegaan dat de levensduur een groot aantal jaren beslaat. Wegens onvoldoende ervaring hiermee zijn echter (nog) geen kosten opgevoerd.

Totale kosten per jaar: f 248.000

Omschrijving	Totale eenheden	Aantal "bewerkingen"	Jaarlijks te "bewerken" eenheden	Kosten/eenheid in gld.	Totale kosten in gld.
4.1.1.5. <u>Drainage</u>					
- doersp.free-for-all terr.	450 km	0,6	270	400	108.000
- doersp.rondweg en bosbanen	68 km	0,6	40	220	8.800
- doersp.dr.bossen	260 km	0,8	208	220	45.760
- leegzuigen putten	190 st	1	190	130	24.700
- herstel storingen e.d.	50 st	1	50	50	2.500

4 Drainwater-monitoringsproject Hoeksche Waard (1993-1996)

Auteur: L.C.P.M. Stuyt

Bron: J. Th. M. Huinink
Jaar van publicatie: 1997
Titel publicatie: Drainwater-monitoringsproject Hoeksche Waard
Gepubliceerd als/in: Rapport IKC-UHW_97, uitgegeven door IKC-Landbouw, Galvanistraat 7, Postbus 482, 6710 BL EDE, 13 maart 1997; H₂O (30) 1997, nr. 22: 662-665

Op dertien klei-akkerbouwpercelen werd vier jaar lang (1993-1996) wekelijks - als er sprake was van drainafvoer - drainwater geanalyseerd op stikstof en fosfaat, en werd gezocht naar een relatie tussen de drainwatersamenstelling enerzijds, en teeltmaatregelen en meteorologische factoren in verleden en heden, anderzijds. Op elk bedrijf werd een proefstrook gekozen waar het onderzoek werd uitgevoerd. Op de meeste proefstroken bestaat de bodem uit aflopende (zeer) humusarme, matig zware zavel. Afgezien van een enkele, lichte verdichting onder de bouwvoor (ploegzool), waren er geen afwijkingen in de bodemopbouw. De draindiepte en de drainafstand voldoen op de meeste proefpercelen aan de huidige normen. Kwel treedt vaak op, maar blijft meestal beperkt tot 0,25 mm per dag. De bodemopbouw op alle dertien proefstroken bestond uit aflopende, matig zware zavel. Het bouwplan uit aardappelen, suikerbieten en graan met nu en dan graszaad, blauwmaanzaad, erwten of spruitkool. De dertien deelnemende bedrijven mogen beschouwd worden representatief te zijn voor de Nederlandse klei-akkerbouw. Doel van het project was (onder andere) het verzamelen van betrouwbaar cijfermateriaal over emissies via drainwater en inzicht verkrijgen in effecten van een zorgvuldige teeltwijze en in factoren die de akkerbouwer zou kunnen beïnvloeden.

Uit het onderzoek komt naar voren dat drainwatersamenstellingen die binnen een jaar variëren tussen 2 en 32 mg N/liter en 0,04 tot 0,50 mg P/liter, als normaal gezien mogen worden. Ook blijkt dat de chemische samenstelling van het drainwater niet van het seizoen afhankelijk is. Er is geen sprake van een relatie met neerslagverdeling of -intensiteit. Wel werden N-pieken relatief vaak aangetroffen in de natte en zachte maand april 1994, in de wisselvallige maand augustus 1994, in de natte decembermaand van 1994 en in de droge decembermaand van 1996. Hiervoor is tot nu toe geen goede verklaring gevonden. Daarnaast ontbreekt een duidelijke samenhang met een toegenomen N-voorraad in de bodem. De genoemde maanden hebben een bovengemiddelde temperatuur met elkaar gemeen, maar dit geldt voor meer maanden tijdens de onderzoeksperiode. Relatief hoge temperaturen zijn geen afdoende verklaring voor N-stijgingen in het drainwater.

Samenvattend luiden de conclusies uit dit monitoringproject:

- De drainwatersamenstelling varieert sterk: zowel in de tijd, tussen percelen, en tussen aangrenzende drains.
- Bij *Goede Landbouwkundige Praktijk* hoeft het P_w-getal in de bouwvoor niet hoger te zijn dan gemiddeld 32 en bedraagt het overschot op de mineralenbalans niet meer dan 35 kg P₂O₅ en 116 kg N per ha/jr. Lang niet al deze 116 kg N belast het grond- of oppervlaktewater: minimaal 70 kg denitrificeert en vervluchtigt naar de atmosfeer, waarmee de vracht naar gronden oppervlaktewater maximaal 46 kg N bedraagt. Met uitzondering van de eutrofieringsnorm voor oppervlaktewater voldoet het drainwater dan ook aan de N- en

P-kwaliteitsnormen voor grond- en oppervlaktewater: gemiddeld bevat het drainwater 10 mg N/1 en 0,11 mg P/1.

- Mocht de N-bijdrage van landbouw naar het oppervlaktewater ten opzichte van overige bronnen relatief groot zijn, is bij de huidige normen voor *Goede Landbouw Praktijk* de N-eutrofiëringnorm in het oppervlaktewater bij klei-akkerbouw niet haalbaar.
- De N_{\min} -voorraad in de bodem na de oogst lijkt geen bruikbaar criterium voor *Goede Landbouwkundige Praktijk* of zorgvuldig bemesten.
- In veldonderzoek en dus in dit monitoringproject is het niet mogelijk de herkomst van N en P in grond- of oppervlaktewater te achterhalen. De conclusie dat de *afzonderlijke* emissies van nutriënten vanuit de landbouw of vanuit andere bronnen *kwantitatief niet uit de watersamenstelling onderscheiden kunnen worden* is een andere dan de veelvuldig in de pers verschenen suggestie dat *de emissie vanuit landbouw niet aantoonbaar (en dus nihil) is*.
- Bij een *Goede Landbouwkundige Praktijk* (waarvan een mineralenboekhouding een essentieel onderdeel vormt) is de emissie via de drains niet merkbaar terug te brengen met in de praktijk gangbare teeltmaatregelen. Invoering van een mineralenaangiftesysteem zal op bedrijven waar al van een *goede landbouwkundige praktijk* sprake is, niet tot een lagere emissie van nutriënten leiden. Een mineralenaangiftesysteem kan de drainwatersamenstelling wel duidelijk verbeteren als het bedrijven waarop onzorgvuldig hoge meststofftoediening plaatsvindt, dwingt tot een goede landbouwkundige praktijk. Afhankelijk van de geschiedenis van het perceel zal het effect ervan echter pas op langere termijn meetbaar zijn.
- Hoewel het gewenst zou zijn de hoogte van een milieueffing te relateren aan de daadwerkelijke emissie is het in de praktijk niet mogelijk te heffen op basis van de vracht aan nutriënten in het drainwater. Mocht desondanks worden besloten tot drainwatermonitoring als handavings- dan wel doelinstrument voor het waterkwaliteitsbeheer, dan moet rekening worden gehouden met uitvoerbaarheid, kosten, en mogelijk ook met draagvlak bij de doelgroep. Gezien de grote spreiding in de watersamenstelling tussen aangrenzende drainbuizen als in de drainwatersamenstelling met de tijd, zullen strenge en gecompliceerde eisen moeten worden gesteld aan het bemonsteringsprotocol, wil men een toetsingsuitkomst ook representatief laten zijn voor een geheel perceel.
- Er bestaat geen aantoonbare relatie tussen drainwatersamenstelling en het handelen van de akkerbouwer. Ook temperatuur, neerslagverdeling en neerslagintensiteit, het Pw-getal en de bodemvoorraad N bieden geen verklaringen voor verschillen in de drainwatersamenstelling.
- Een verwacht verband tussen het gemiddelde jaarlijkse N-of P-overschot op de mineralenbalans en de gemiddelde gehalten aan N en P in het drainwater is niet aangetoond. Er lijkt zelfs sprake te zijn van een negatieve relatie.
- Niet-perceelgebonden factoren hebben een overheersende invloed op de samenstelling van het drainagewater. Voorbeelden zijn de bodemopbouw en de kwel vanuit andere landbouwpercelen, stedelijke gebieden of grote oppervlaktewateren. Ook calamiteiten in het meststoffengebruik zijn zo'n factor. Puntverontreinigingen leiden (pas) na verloop van tijd tot ongebruikelijk hoge N-gehalten in het drainwater.
- Het monitoringproject bevestigt dat drainwater bestaat uit een mengsel van waterstromen van uiteenlopende ouderdom. Dit verklaart mede dat geen relatie kan worden aangetoond tussen het handelen van de landbouwer en de drainwatersamenstelling, calamiteiten daargelaten. Dat er toch een relatie bestaat wordt bevestigd door een voorval waarbij een onbedoelde puntbelasting van de bodem met N na verloop van tijd samengaat met abnormaal hoge N-gehalten in het drainwater. Indien er mogelijkheden zijn om de samenstelling van het drainwater via aanpassing van het bodemgebruik te beïnvloeden, zal het effect ervan eerst na langere tijd meetbaar zijn.

Per saldo luidt de conclusie: ondanks zeer zorgvuldig werken door akkerbouwers hebben in de sterk van het weer en weersinvloeden afhankelijke akkerbouwsector andere factoren kennelijk een dominante invloed op de samenstelling van drainagewater, en dus op de emissie langs deze weg naar het milieu.

Het monitoringproject bevestigt dat drainwater bestaat uit een mengsel van waterstromen van uiteenlopende ouderdom. Dit verklaart mede het feit dat er geen relatie kon worden aangetoond tussen het handelen van de landbouwer en de drainwatersamenstelling. Dat er desondanks wel een relatie bestaat wordt bevestigd door een voorval waarbij een onbedoelde puntbelasting van de bodem met N na verloop van tijd samengaat met abnormaal hoge N-gehalten in het drainwater. Als er mogelijkheden zijn om vanuit het bodemgebruik de samenstelling van het drainwater te beïnvloeden, zal het effect ervan pas na langere tijd meetbaar zijn.

5 Rusthoeve praktijkproef nutriëntenbalans (1994-1996)

Auteur: G.A.P.H. van den Eertwegh (Future Water)

Drainage, hydrologie en samenstelling drainagewater

De voedselrijkdom van het Nederlandse oppervlaktewater is op veel plekken zo groot dat van eutrofiëring kan worden gesproken. Eutrofiëring is de (over)belasting van het open water met nutriënten zoals stikstof (N) en fosfor (P), met als gevolg een toename van de groei van algen en waterplanten. Eutrofiëring kan leiden tot algenbloei, verminderd doorzicht in open water en zuurstofloosheid. Dit zijn voorbeelden van ongewenste verschijnselen uit het oogpunt van onder andere natuur en recreatie waardoor het gebruik en de functie van het oppervlaktewater in gevaar komen. De belangrijkste soorten bronnen van N en P in het oppervlaktewater in Nederland zijn puntbronnen, diffuse bronnen en interne bronnen. Voorbeelden van puntbronnen zijn industriële lozingen en effluentstromen van zuiveringsinstallaties van afvalwater (a.w.z.i.'s). Voorbeelden van diffuse bronnen zijn kwel van nutriëntrijk grondwater, drainagewater van landbouwgronden en atmosferische depositie. Een voorbeeld van een interne bron is de uitwisseling van fosfaat tussen een (onder)waterbodem richting het bovenstaande open water. Het Nederlandse oppervlaktewater komt uiteindelijk terecht in de Noordzee en draagt zo bij tot een belasting van het zeewater met onder andere nutriënten. De overheid heeft diverse maatregelen getroffen die tot een reductie hebben geleid van de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten. De stofconcentraties in het effluentwater van a.w.z.i.'s en van industriële complexen zijn significant gedaald sinds de invoering van de Wet verontreiniging oppervlaktewater (Wvo) in de 70-er jaren. Reducties van andere puntbronnen dan de a.w.z.i.'s zijn ook gerealiseerd. Terwijl de terugdringing van puntbronnen gestaag vorderde, is de sanering van diffuse bronnen achtergebleven. Deze situatie heeft ertoe geleid dat het relatieve aandeel van diffuse bronnen in het totaal van bronnen van N en P is gegroeid. Streefbeeld en MTR- (Maximaal Toelaatbaar Risico) waarden voor het oppervlaktewater worden vaak niet gehaald. Om deze binnen afzienbare tijd in zicht te krijgen of überhaupt ooit te bereiken, moeten de diffuse bronnen verder gesaneerd worden. In een poging om deze bronnen verder terug te dringen is een aantal beleidsmaatregelen en verplichte regelgeving voor onder andere de Nederlandse agrarische sector tot stand gekomen op het gebied van mest- en mineralengebruik.

Meststoffen die op het land gebracht worden, komen voor een deel terecht in de oogst van gewassen en bodem, maar belanden daarnaast als opgeloste stoffen in het grondwater en via drainage in het oppervlaktewater. Om de belasting van het oppervlaktewater te kunnen berekenen moet bekend zijn hoe en wanneer het neerslagoverschot (neerslag minus verdamping), inclusief de daarin opgeloste meststoffen, het oppervlaktewater bereikt. De stroming van water in de bodem en in het oppervlaktewater is het belangrijkste transportmechanisme voor de in het water aanwezige nutriënten. De afvoerroutes van het neerslagoverschot, de stroomsnelheden van het water en de verblijftijd van drainagewater zijn de sleutelfactoren om de stofvrachten van drainagewater te kunnen interpreteren en analyseren. Deze verblijftijd bepaalt wanneer het neerslagoverschot in het open water tot afvoer komt. Daarmee bepaalt de verblijftijd het moment waarop effecten van het landgebruik zichtbaar worden in de hoeveelheid en samenstelling van het drainagewater. Het landgebruik is een belangrijke factor in de verdamping van water en de toegepaste soort en hoeveelheid meststoffen. Indien het landgebruik significant verandert ten opzichte van een referentiesituatie zullen pas na een bepaalde (verblijf)tijd de effecten ervan op het drainagewater zichtbaar worden. De verblijftijd van

drainagewater is gedefinieerd als de tijdsperiode die het duurt voordat het neerslagoverschot het oppervlaktewater bereikt, gerekend vanaf het moment van infiltratie aan het maaiveld, gevolgd door een stroming door de bodem.

Eind jaren 80 en in de 90-er jaren is er veel onderzoek verricht naar drainagesystemen en de belasting van open water met meststoffen en bestrijdingsmiddelen. Veelal waren het onderzoeken met uitgebreide veldmetingen en -proeven, in relatie tot de Meststoffenwet. Het RIVM heeft mede op basis van onderzoek van Meinardi en Van den Eertwegh (1997) en Van den Eertwegh (2002) landelijke meetnetten opgezet ter monitoring van effecten van beleidsmaatregelen op de samenstelling van grond- en drainagewater (LMM; o.a. Boumans en Fraters, 2005).

Rusthoeve-Praktijkproef Nutriëntenbalans - een voorbeeld

In de periode juni 1994 tot en met juni 1996 zijn op de proefboerderij Rusthoeve op Noord-Beveland metingen uitgevoerd aan de emissie van meststoffen via drainage van akkerbouwpercelen op zavelgrond. De vanggebieden van vier draineerbuizen (1,32 ha) en van een kavelsloot (9,57 ha) zijn intensief en vrijwel continu bemeten, zowel voor de hydrologie als de stofhuishouding van chloride en nutriënten (N, P). Op basis van de tweejarige meetreeks en langjarige registraties van teeltgegevens zijn water- en stofbalansen opgesteld. De landbouwkundige balansen voor stikstof en fosfor zijn in verband gebracht met de gemeten uitspoeling via de drainagemiddelen. Op de percelen zijn gewassen geteeld volgens Goede Landbouw Praktijk (GLP). GLP wil zeggen: bemesting volgens adviezen van de landbouwvoorlichting en grondbewerking en gewasbescherming volgens de huidige landbouwpraktijk. De waterbalansen zijn opgesteld voor de vanggebieden van vier gekoppelde draineerbuizen en van de kavelsloot voor de periode juli 1994 tot en met juni 1996 over een diepte van 0 tot 2 m-m.v. Op het huiskavel van de proefboerderij treedt nauwelijks kwel op. Afvoer van overtollig water vindt plaats via drainbuizen (75%), kavelsloot (5%) en kreek (20%).

Er is tijdens de proef geen oppervlakte-afvoer waargenomen. Er kan preferent transport van water en stoffen plaatsvinden in de onverzadigde zone van de bodem door de aanwezigheid van structuur (macro-poriën). De dynamische bergingscoëfficiënt is 's winters <5%. De N-totaal concentratie in het drainwater varieert van <1 tot 29 mg/L met een gemiddelde van ongeveer 4 mg/L. De stikstofconcentratie in het slootwater varieert van 1 tot 27 mg/L met een gemiddelde van ruim 6 mg/L. De variatie van N-totaal in de tijd wordt grotendeels verklaard door de variatie in de fractie nitraat. De hoogste concentraties stikstof in drain- en slootwater zijn gemeten tijdens hoge drainage-intensiteiten. Tijdens deze afvoerpieken bestaat N-totaal nagenoeg geheel uit nitraat en wordt een groot deel van de jaarvrucht N afgevoerd. De totaal-fosfaatconcentratie in het drainwater varieert van 0,05 tot 1,22 mg/L P met een gemiddelde van 0,21 mg/L P. In het slootwater variëren de concentraties tussen 0,03 en 1,64 mg/L P met een gemiddelde van 0,31 mg/L P. Het totaal-fosfaat bestaat voor gemiddeld ruim 70% (drainwater) en ruim 50% (slootwater) uit ortho-fosfaat. De stofvruchten van het drainwater zijn alleen voor het eerste meetseizoen berekend en bedragen 18,6 kg ha⁻¹ N en 0,68 kg ha⁻¹ P. Voor het tweede seizoen zijn de stofvruchten geschat op bijna 12,8 kg ha⁻¹ N en 0,30 kg ha⁻¹ P. De stikstof- en fosfaatvruchten van het drainagewater van het vanggebied van de kavelsloot bedragen voor het eerste jaar 22,9 kg ha⁻¹ N en 1,03 kg ha⁻¹ P. In het tweede jaar zijn de berekende stofvruchten 17,5 kg ha⁻¹ N en 0,27 kg ha⁻¹ P. Het drainagewater bestaat uit een mengsel van water van verschillende ouderdom en herkomst.

Het drainagewater bestaat uit een mengsel van water van verschillende ouderdom en herkomst. De samenstelling van het drainagewater is zowel beïnvloed door de maaiveldbelasting en het neerslagoverschot als door het mariene sediment en kwelwater. Ongeveer 25% van het afgevoerde water heeft een verblijftijd in de bodem van minder dan één jaar, 45% van minder dan twee jaar, 65% van minder dan drie jaar, ruim 80% van minder dan vier jaar en 20% van meer dan vier jaar. Op basis hiervan blijkt dat voor de analyse van een verband tussen landbouwkundige stofbalansen en uitspoeling via drainage een periode van tenminste vier jaar nodig is. De relatie tussen de landbouwkundige stofbalansen en de gemeten uitspoeling van stikstof en fosfor via de drainage is gelegd door zesjarig gemiddelde landbouwkundige balansen te koppelen aan de tweejarig

gemiddelde metingen van de stofvrucht van het drain- en slootwater. De gemiddelde landbouwkundige overschotten voor het vanggebied van de drainbuizen zijn +55 kg ha⁻¹ N en -3 kg ha⁻¹ P (tekort). De gemiddelde landbouwkundige overschotten voor het vanggebied van de kavelsloot zijn +70 kg ha⁻¹ N en -3 kg ha⁻¹ P (tekort). Het berekende tekort kan het gevolg zijn van een overschatting van de P-afvoer via de oogst, door het niet meenemen van P-levering uit de kleibodem en/of van fosfaat, aangevoerd door het brakke kwelwater. De gewassen hebben geen P-gebrek. Van de gemiddelde maaiveldbelasting met stikstof verdwijnt 75% in de oogst, 10 tot 15% via denitrificatie naar de lucht en 10 tot 15% via drainage naar het oppervlaktewater. Van de gemiddelde maaiveldbelasting met fosfaat verdwijnt vrijwel alles in de oogst. Ongeveer 4% van de totale aanvoer belandt via drainage naar het oppervlaktewater. Er vindt extra aanvoer plaats van fosfaat vanuit het grondwater.

Referenties

- Booltink, H.W.G., 1993. Morphometric methods for simulation of water flow. PhD thesis Wageningen UR.
- Bronswijk, J.J.B., 1991. Magnitude, modeling and significance of swelling and shrinkage processes in clay soils. PhD thesis Wageningen UR.
- Eertwegh, G.A.P.H. van den, 1999. Praktijkproef Nutriëntenbalans. Nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater via drainagewater van akkerbouwpercelen op zavelgrond. Eindrapport. Wageningen UR, sectie Waterhuishouding, rapport nr. 75. RIVM MAP Milieu 1992-1996 en 1996-2000.
- Eertwegh, G.A.P.H. van den, 2002. Water and nutrient budgets at field and regional scale. PhD thesis Wageningen UR.
- Fraters, B. en L.J.M. Boumans, 2005. De opzet van het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid voor 2004 en daarna. Uitbreiding van LMM voor onderbouwing van Nederlands beleid en door Europese monitorverplichtingen. RIVM rapport 680100001/2005
- Groen, K.P., 1997. Pesticide leaching in polders. Field and model studies on cracked clays and loamy sand. PhD thesis Wageningen UR.
- Meinardi, C.R. en G.A.P.H. van den Eertwegh, 1997. Onderzoek aan drainwater in de kleigebieden van Nederland. Deel II: Interpretatie van de gegevens van het oriënterend onderzoek. RIVM rapport nummer 714801013.
- Ommen, H.C. van, 1988. Transport from diffuse sources of contamination and its application to a coupled unsaturated-saturated system. PhD thesis Wageningen UR.
- Vos, J.A. de, 1997. Water flow and nutrient transport in a layered silt loam soil. PhD thesis Wageningen UR.

6 Schade aan onderlopende buisdrainage (Stuyt, 1998)

Auteur:	L.C.P.M. Stuyt
Jaar van publicatie:	1998
Titel publicatie:	Schade aan onderlopende buisdrainage
Gepubliceerd ⁴² als/in:	Interne notitie van DLO-Staring Centrum, Wageningen

De optimale aanlegdiepte van drainage is van oudsher gerelateerd aan de droogleggingswens vanuit de landbouw. Om de werking van de drainage te kunnen controleren en het instromen van vuil in het slootwater tegen te gaan worden drains op zodanige diepte geïnstalleerd, dat zij bij de ontwerpafvoer ca. 10 cm boven het slootpeil uitmonden.

De ontwateringscriteria voor de landbouw zijn geformuleerd in een tijd dat er in het landelijk gebied nog geen sprake was van verdroging en van verweving van functies. Het zoveel mogelijk voorkómen van schade door wateroverlast stond voorop; de toename van droogteschade was minder problematisch omdat deze met berekening kon worden bestreden. De optimale draindiepte was onder meer gebaseerd op het minimaliseren van de aanleg- en onderhoudskosten. Indien de drainafstand zou worden verkleind, zou de gewenste ontwatering met ondieper geïnstalleerde drainage kunnen worden gerealiseerd. Anderzijds kan de gewenste ontwatering in principe gerealiseerd worden met drains die onder water in de sloot uitmonden.

De vrijheid van de grondgebruiker bij de detailontwatering is wegens de problematiek van de verdroging en de toename van de pluriformiteit van functies in het landelijk gebied geleidelijk verminderd. Berekening is niet altijd meer toegestaan, en ook het aanleggen van drainage is in toenemende mate aan regels gebonden. Er moet meer rekening worden gehouden met andere belangen. De afweging van wat voor de ontwatering een optimale situatie is, is ingewikkelder geworden. Overigens is ondergrondse infiltratie via drains ('subirrigatie') wellicht aantrekkelijk als aanvulling op conventionele berekening, omdat de energiekosten van subirrigatie veel lager zijn (Massey et al., 1983).

Het bestrijden van verdroging staat al geruime tijd volop in de belangstelling. In dit kader wordt gestreefd naar verondieping van grondwaterstanden. De gewenste grondwaterstand kan in de meeste gevallen door peilverhoging worden gerealiseerd. Peilverhoging wordt dan ook beschouwd als een bruikbaar instrument om verdroging te bestrijden, en heeft doorgaans ook een gunstig effect op de waterkwaliteit. In waterhuishoudingsplannen van provincies is vaak een clausule opgenomen waarin is vastgelegd dat naar peilverhoging moet worden gestreefd. Een van de mogelijke gevolgen is echter dat de drainage op sommige plaatsen onder water komt te staan. Bij een integrale peilverhoging van 20 cm in de provincie Zeeland loopt de drainage naar verwachting in circa 12% van de landbouwgrond van deze provincie onder. De meeste potentiële probleemgebieden bevinden zich in smalle stroken langs oude kreekbeddingen (BOW-Subwerkgroep Drainage, 1997).

⁴² Deze rapportage uit 1998 is nooit officieel gepubliceerd. De inhoud is echter onverminderd actueel.

Het is onduidelijk in hoeverre het langere tijd onder water staan van drainage ongunstige gevolgen heeft voor de werking. Dit geldt zowel voor de zomer als de winter. Naar dit fenomeen is nauwelijks gedegen onderzoek verricht, maar praktijkervaring (o.a. recente ervaringen in Zeeuws-Vlaanderen) leert dat negatieve gevolgen beslist niet vanzelfsprekend zijn. Zij mogen echter ook niet op voorhand worden uitgesloten. Speculaties hierover kunnen alleen door veldonderzoek worden ontzenuwd of bevestigd.

Met het oog op mogelijke langdurige bezwarenprocedures, schadeclaims e.d. is het gewenst om over de eventueel nadelige effecten van het onder water zetten van drainage op korte termijn meer duidelijkheid te krijgen. De mogelijkheden tot peilverhoging zijn nu vaak beperkt tot het niveau van de eindbuizen. Zonder een goed inzicht in de werking van drainage onder water is peilverhoging op korte termijn nauwelijks meer door te voeren, waardoor implementatie van antiverdrogingsbeleid dreigt te stagneren.

Er is veel gerekend aan de mogelijkheden van infiltratie via drains. Hierbij wordt altijd aangenomen dat de radiale stromingsweerstand bij infiltratie even groot is als die bij drainage. De theorie van Hooghoudt is in essentie gebaseerd op horizontale grondwaterstroming naar 'volkomen drains'. Bij zulke stroming is geen sprake van een radiale stromingscomponent. Om toch radiale stroming naar draineerbuizen te kunnen beschrijven introduceerde Hooghoudt in zijn formule voor stroming naar drains de zogenaamde equivalentdiepte. In feite is de theorie van Hooghoudt, inclusief het concept van de equivalentdiepte, een benadering van oplossingen ingewikkelde differentiaalvergelijkingen, die destijds niet konden worden opgelost. Met het klakkeloos toepassen van dergelijke benaderingen moet je echter voorzichtig zijn want ze hebben maar een beperkte geldigheid.

Vandaag de dag is het oplossen van zulke differentiaalvergelijkingen, dankzij computers en de hierdoor mogelijk geworden nieuwe oplossingsmethoden, geen probleem meer. Dankzij deze methoden beschikken we nu over betere schattingen van de radiale stromingsweerstand tijdens infiltratie. Die weerstand blijkt hoger te zijn dan op grond van de theorie van Hooghoudt altijd is aangenomen (Skaggs, 1991). Door deze hogere radiale weerstand is het rendement van infiltratie via drains is dan ook iets lager dan altijd wordt gedacht. Dit blijkt ook in de praktijk, waar regelmatig wordt vastgesteld dat de grondwaterspiegel tijdens infiltratie een vrij vlak verloop heeft. De 'oude' theorie voorspelde in de buurt van de drains aanzienlijk hogere grondwaterstanden dan midden tussen de drains.

De conclusie van dit alles is niet ongunstig: drukhoogteverliezen die tijdens infiltratie in de buurt van drains worden gemeten, worden maar voor een deel veroorzaakt door afgenomen doorlatendheden van de grond vlakbij de drain. Ook bij ongewijzigde doorlatendheden vlakbij de drains zou er al van een groter drukhoogteverlies vlakbij de drains sprake zijn dan we met 'Hooghoudt' berekenen. Dit drukhoogteverlies wordt veroorzaakt door de divergerende radiale stroming van infiltrerend grondwater, en niet door afgenomen doorlatendheden vlakbij de drains.

6.1 Problematiek

Bij het langdurig onder water staan van drainage bestaat het gevaar bestaat dat de gewenste ontwateringsnorm niet wordt gerealiseerd, vooral tijdens de winter. Bovendien worden de belangrijkste voordelen van het bewust boven het slootpeil laten uitmonden van drains tenietgedaan. Deze voordelen zijn het visueel kunnen inspecteren van de goede werking van de drains en het voorkomen van het instromen van vuil tijdens de zomer. Daarnaast bestaat er onzekerheid wat betreft de mogelijk ongewenste effecten van het gedurende langere tijd onder water staan van drains. Het gaat hierbij vooral het omhullingsmateriaal en de drainsleuf, waarvan de doorlatendheid zou kunnen afnemen. Een ander nadeel is dat de voor de drainage beschikbare drukhoogte bij het onder water zetten van drains afneemt.

Wat betreft omhullingsmaterialen is over de effecten van het langdurig onder water staan van drains wel het een en ander bekend. Omhullingsmaterialen, gemaakt uit organische grondstoffen, worden waarschijnlijk (bio)chemisch aangetast waardoor de hydraulische doorlatendheid vermindert. Bij synthetische omhullingsmaterialen, bijvoorbeeld 'PLM-PP' (polypropeenvezel) of polyamide kous zijn geen problemen te verwachten. Hoe goed glasvlies (een dun, mineraal vlies dat in de provincie Zeeland wordt gebruikt) bestand is tegen langdurige onderdompeling, is niet duidelijk.

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 (verslemping), en er kan biologische verstopping optreden (Martin, 1945; Allison, 1947; Christiansen, 1947). Eén en ander is afhankelijk van de textuur van de grond.

- Op zware kleigronden is rijping met scheurvorming van belang voor een goede doorlatendheid. Peilverhoging kan hier op den duur leiden tot een verminderde doorlatendheid, en een navenant slechte werking van de drainage.
- Peilverhoging kan een ongunstig effect hebben op de structuurstabiliteit van, zwak-cohesieve, slempgevoelige gronden met een d_{50} van 80 B 100 μm . Op den duur kan de hydraulische doorlatendheid van de grond afnemen. Het risico van minerale verstopping kan toenemen.
- Op stabiele zandgronden leidt peilverhoging wellicht niet tot een slechtere doorlatendheid van de grond. De structuurstabiliteit zal niet worden aangetast en de kans op een toename van het minerale verstoppingsgevaar is klein.

Over het optreden van chemische verstoppingen bestaat onduidelijkheid. In drains die voortdurend onder water staan is de kans dat ijzerverbindingen neerslaan kleiner dan in drains die af en toe droogvallen. Dit komt omdat voor het ontstaan van ijzerverbindingen zuurstof nodig is. Toch worden verstoppende ijzerverbindingen soms ook aangetroffen in drains die permanent onder water staan. Is er eenmaal sprake van slecht functionerende drains door ijzerverstopping, dan zijn de drains moeilijk te regenereren (Dennis, 1978). Alleen milieuvriendelijke maatregelen (gebruik van SO_2 -gas om bacteriën te doden en de pH te verlagen) zijn in het verleden soms met succes toegepast (Grass en Mackenzie, 1972; Haaijer en Wolf, 1965). Ook doorspuiten met hoge druk (ca. 40 bar) had geen resultaat (Dennis, 1978). Op een sportveld in Delft werd geïnfiltreerd via de drains, omhuld met glasvlies. De zaak verstopte totaal met FeS , onder sterk reducerende omstandigheden. Dit type verstopping was ook bekend uit Florida (Van der Molen, persoonlijke mededeling).

Het onder water zetten van eindbuizen kan negatieve gevolgen hebben voor de transportcapaciteit van drains. Dit geldt zowel voor de winter met drainage, als voor de zomer met eventuele infiltratie ('subirrigatie'). De problemen hebben te maken met de eventuele aanwezigheid van luchtbellen in de buizen. Wanneer drains permanent onder water staan kan lucht wellicht minder gemakkelijk toetreden en/of ontsnappen. Is er sprake van luchtbellen, dan is een aanzienlijke overdruk vereist om het water in de buis over de hoogst gelegen 'uitstulpingen' heen te duwen. Die overdruk is vaak niet beschikbaar, en dan voert de drain niet meer af. Het risico is wellicht het grootst wanneer het verhang waarmee de drain is geïnstalleerd afwijkt van het hydraulisch verhang. Het aanleggen van drains met een negatief verhang is wellicht geen oplossing, omdat het verhang dat in de praktijk kan worden aangebracht wellicht weinig zoden aan de dijk zet als het gaat om het verwijderen van luchtbellen (Van Zeijts, persoonlijke mededeling).

Eventueel in een buis aanwezige lucht- en gasbellen, die de afvoer belemmeren, kunnen bij verdrongen eindbuizen misschien minder gemakkelijk worden afgevoerd dan bij buizen die boven het slootpeil uitmonden. Zeker is dat overigens niet, en er is voor zover bekend geen onderzoek naar gedaan. De hypothese is dus speculatief.

Wanneer de grondwaterspiegel door de drain wordt aangesneden, zijn problemen met luchtbellen niet erg waarschijnlijk. Uitwisseling met lucht is dan wellicht hier en daar langs de bovenkant van de drain mogelijk. Dit

is overigens niet overal zo, omdat de ligging van drains in het verticale vlak alleen in theorie volgens een rechte lijn (eventueel met constante helling) verloopt. De praktijk is anders. Een onregelmatige ligging van drains kan worden veroorzaakt door (Stuyt, 1992):

- Een slecht werkende laser op de draineermachine, een laser die niet goed wordt bediend, of een slechte koppeling tussen de laser en de hydraulische besturing van de machine.
- Een onregelmatige, bijvoorbeeld spiraalvormige ligging van drains onder in de drainsleuf; dit komt voor bij ribbelbuis die te snel na extruderen is opgerold en grotendeels in opgerolde vorm afkoelt.
- Gronden waarin ongelijke inklinking verwacht kan worden. Zijn de klinkverschillen over korte afstand groot, bijvoorbeeld bij het snijden van een opgevulde sloot, dan kunnen de drains zelfs enigszins worden ingedrukt.

Overigens komt het regelmatig voor dat drainuitmondingen tijdens de zomer langere tijd meer dan 15 cm onder water staan zonder dat dit merkbaar tot problemen leidt. Wegens de grote bergingsmogelijkheden in het bodemprofiel en de hoge verdamping zijn de afvoeren 's zomers laag. Daarom is het, in principe, aanvaardbaar dat de drains gedurende het zomerseizoen onder de waterspiegel uitmonden. De onzekerheid over de afvoercapaciteit van drainbuizen heeft vooral betrekking op de winter, wanneer de kans op hoge afvoerintensiteiten veel groter is.

Waterbeheersing door 'controlled drainage' (=regelbare drainage⁴³), waarbij de drainagebasis wordt gevarieerd door het manipuleren van slootpeilen, en de eindbuizen onder water staan is niet nieuw. Het wordt onder andere in de Verenigde Staten al jarenlang toegepast. Dit geldt ook voor subirrigatie, waarbij doelbewust water van elders wordt aangevoerd. Het gaat om een areaal van honderdduizenden hectaren. Fox et al. (1956) behandelen de toepassing van subirrigatie in Californië, Idaho, Utah, Colorado en Florida (Spencer, 1938). Schwab et al. (1966) bespreken het grondwaterstandsbeheer in Michigan, Indiana, Ohio, Minnesota en in de Sacramento-San Joaquin Delta in Californië (Renfro, 1955). Alleen al in Ohio is op dit moment sprake van negen veldexperimenten (Brown et al., 1997). Sommige systemen bestonden al in 1920 (Clinton, 1948). Er wordt gebruik gemaakt van sloten en ondergrondse buizen. Oudere toepassingen zijn vooral goed-doorlatende zandgronden.

Later bleek dat infiltratie en subirrigatie ook mogelijk was op fijnzandige gronden, wanneer de ontwerpcriteria van de drainagesystemen werden aangepast (Skaggs et al., 1972; Skaggs, 1973; Doty et al., 1975). Bovendien werd in verschillende studies aangetoond dat regelbare drainage naast waterconservering, leidt tot een vermindering van de uitspoeling van meststoffen en bestrijdingsmiddelen (Skaggs et al., 1995; Evans et al., 1995; Munster et al., 1996; Brevé et al., 1997a, 1997b; Fausey et al., 1995).

Onderzoek in de Verenigde Staten heeft aangetoond dat de uitspoeling van stikstof, fosfaat en pesticiden met regelbare drainage met 30 à 50% kan worden teruggebracht.

Uit andere studies bleek het gunstige effect van subirrigatie op opbrengsten (Carter et al., 1988; Fausey en Cooper, 1995; Cooper et al., 1991; Belcher en D'Itri, 1995). Al deze gunstige berichten hebben er toe geleid dat regelbare drainage, inclusief ondergrondse infiltratie en subirrigatie via drains, in de Verenigde Staten snel aan populariteit heeft gewonnen; zie Tabel 6.

⁴³ Bij regelbare drainage kan het peil in de kavelsloot worden gevarieerd. Door het opzetten van peilen na planten/zaaien van gewassen blijft er langer water in de wortelzone beschikbaar dan wanneer er van conventionele, vrij uitwaterende drainage sprake zou zijn. Ook kan er gemakkelijk tussen groeiseizoenen water worden geconserveerd.

Tabel 6*Conventionele drainage en regelbare drainage in de Verenigde Staten (Skaggs, 1998)*.*

staat ^a	Areaal bouwland ^{b,d} (ha)	Gedraineerd bouwland ^{c,d} (ha)	Bouwland Geschikt voor Regelbare drainage ^e (ha)	bouwland met regelbare Drainage geïnstalleerd ^e (ha)
Illinois	10,011,000	3,569,000	400,000	2,000
Indiana	5,579,000	2,782,000	600,000	1,200
Iowa	10,705,000	2,834,000	400,000	8,000
Ohio	5,039,000	2,397,000	1,100,000	100
Arkansas	3,280,000	2,151,000	160,000	400
Louisiana	2,595,000	1,562,000	500,000	400
Minnesota	9,321,000	1,934,000	610,000	400
Florida	1,440,000	1,146,000	1,000,000	610,000
Mississippi	3,002,000	1,440,000	1,000,000	60,000
Texas	13,490,000	1,283,000	225,000	0
Michigan	3,823,000	1,563,000	100,000	12,000
North Carolina	2,710,000	984,000	500,000	100,000
Missouri	6,072,000	1,202,000	850,000	0
North Dakota	10,947,000	910,000	10,000	2,000
Wisconsin	4,638,000	409,000	325,000	800
South Carolina	1,449,000	426,000	175,000	1,200
Georgia	2,659,000	219,000	80,000	200
Maryland	726,000	367,000	200,000	600
Tennessee	2,264,000	256,000	120,000	00
New York	2,394,000	333,000	40,000	100
Delaware	210,000	130,000	100,000	800
Totaal	102,356,000	27,868,000	8,475,000	800,200

^a Only states in humid/semihumid regions with more than 1% of total land area drained.^b Values from 1982 National Resources Inventory.^c Values from Pavelis (1987).^d Values rounded to the nearest 1,000 ha after conversion from English units.^e Values estimated by Cooperative Extension, Land Grant University Faculty, and/or Soil Conservation Service personnel in each state.

* See ASCE J. Irrigation and Drainage Engineering, Special Issue: Water Quality in Humid Regions, Vol. 121(4), 1995.

De verhoging van gewasopbrengsten en vermindering van de nitraatuitspoeling door toepassing van subirrigatie en regelbare drainage in de buurt van Venetië wordt behandeld door Giardini en Borin (1995), Borin en Lazzaro (1995) en Borin et al. (1997).

De gesignaleerde bezorgdheid over het al dan niet functioneren van drains onder water kan worden verwoord in de volgende stellingen (in feite risicofactoren).

1. *De werking van drainage wordt slechter als drains tijdens de winter onder water uitmonden.* Het drainagecriterium wordt niet gehaald. Oorzaken: geen vrije uitstroming, luchtbellens en dergelijke. Het ontwerp van drains moet worden aangepast: helling, luchtinlaat en dergelijke.
2. *De structuur, en dus de doorlatendheid van de grond rond drains is gebaat bij periodiek droogstaan in de zomer.* Dit geldt vooral voor zwak-gestructureerde, slempgevoelige gronden. Als drains 's zomers lang onder water staan kan de structuur (gedeeltelijk) verdwijnen, met negatieve gevolgen voor de hydraulische doorlatendheid van de grond rondom de drain.

3. *De intreeweestand van drains neemt sterk toe wanneer drains gedurende de zomer langere tijd onder water staan.* Dit komt omdat zwevende substanties in het slootwater - minerale delen, plantenresten en bacteriën - in de drains verstoppingen veroorzaken.

Het gebrek aan betrouwbare informatie leidt tot onzekerheid en het ontbreken van draagvlak voor het verwezenlijken van peilverhogingen. Het draagvlak kan alleen worden vergroot als er over het functioneren van drains onder water meer informatie beschikbaar komt. Het voorgestelde project is hierop gericht. De analyse van Skaggs maakt duidelijk dat de terughoudendheid voor het toelaten van het eventueel onderlopen van buisdrainage wellicht niet gerechtvaardigd is. Er zijn voldoende signalen die erop wijzen dat het, onder bepaalde omstandigheden, met de risico's voor de werking van de drainage meevalt. Ook in ons land is in het verleden op uitgebreide schaal, en met wisselend succes, met infiltratie via drains geëxperimenteerd. Ook op dit moment worden experimenten uitgevoerd. Over het functioneren van drains die zich onder de grondwaterspiegel bevinden is daarom meer informatie beschikbaar dan in eerste instantie werd vermoed. De resultaten van de door literatuurstudie verkregen rapporten en publicaties worden in chronologische volgorde besproken. De risicofactoren, waarop toekomstig onderzoek zich moet concentreren, komen hiermee boven tafel.

Overigens is het niet de eerste keer dat in ons land literatuuronderzoek wordt verricht naar onderlopende drainage en infiltratie via drains. Van den Eerenbeemt et al. (1984) deden ook een poging, maar deze 'viel een beetje in het water, want over infiltratie via drainbuizen is tot op heden nog erg weinig literatuur verschenen'. Dit blijkt echter mee te vallen, zij het dat veel 'literatuur' uit het 'grijze' circuit afkomstig is.

6.2 Inventarisatie beschikbare onderzoeksresultaten

Naar de eventueel ongunstige effecten van het langere tijd onder water staan van drains is in het verleden onderzoek verricht, zij het niet zo veel. In ons land is wel geëxperimenteerd met infiltratie via drains. Deze techniek, ook wel subirrigatie genoemd, was aan het eind van de jaren vijftig in de Noordoostpolder populair. Ook zijn er proeven mee gedaan in andere provincies, onder andere in Drenthe en Limburg.

Er zijn ook theoretische studies verricht. Ernst (1956) ontwikkelde een uitgebreid plan voor infiltratie in het Boven-Dommelgebied. Van Bakel (1988) kwam met richtlijnen voor een beter operationeel beheer van subirrigatie via drains in veenkoloniaal gebied, hierin voorgegaan door Homma (1978). Doty et al. (1986) presenteren een analyse van vereiste drainafstanden voor drainagesystemen die ook voor subirrigatie worden gebruikt. Hierbij is gebruik gemaakt van een in de jaren vijftig door Glover afgeleide 'Bureau of Reclamation Formula', die op dynamische uitgangspunten is gebaseerd (Luthin, 1978), en een formule van Skaggs (1981) voor drainages die ook voor subirrigatie worden gebruikt. De voor subirrigatie vereiste drainafstand is altijd kleiner dan de afstand, nodig voor drainage. De verhouding tussen beide afstanden is onder meer afhankelijk van de doorlatendheid van de grond.

Ook buiten ons land is subirrigatie onderwerp van studie. Een literatuuronderzoek leverde een aantal publicaties op. De interessante zijn in onderstaande opsomming opgenomen. In het oosten van de Verenigde Staten zijn met subirrigatie goede ervaringen opgedaan (Skaggs et al., 1972). Er worden vlugschriften uitgegeven, die boeren begeleiden met het ontwerp, gebruik en beheer van gecombineerde drainage/subirrigatiesystemen (Evans en Skaggs, 1985; Evans et al., 1987). Kennelijk had men geen last van afnemende doorlatendheid van de grond vlakbij de drains (een 'sandy loam').

Van sommige onderzoeksprojecten zijn geen rapporten of publicaties terug te vinden. In het Jaarverslag 1961 van het ICW (1962) wordt gerept over activiteiten van Hellings op het infiltratieproefveld te IJsselstein. Meer informatie is hierover echter niet te vinden.

Enkele relevante bevindingen van in het verleden in Nederland en daarbuiten uitgevoerd onderzoek worden hier besproken. Het gaat om de volgende projecten, in chronologische volgorde, voorafgegaan door paragraafnummers:

- 6.3 Infiltratieproeven voor bloembollencultuur (1934-1935) (pagina 93)
- 6.4 Veldonderzoek doorlatendheid bodemprofiel Nieuw-Beerta (1942-1957) (pagina 94)
- 6.5 Doorlatendheidsonderzoek U.S. Salinity Lab (1947) (pagina 94)
- 6.6 De watersnoodramp in zuidwest-Nederland (1953) (pagina 95)
- 6.7 Subirrigatie in de Noordoostpolder (1955-1960) (pagina 96)
- 6.8 Infiltratiedrainbedekkingsproefveld P 103 te Ens (NO-polder) (1959-1962) (pagina 98)
- 6.9 Infiltratie op het Proefbedrijf 'Vredepeel' (1960) (pagina 100)
- 6.10 Doorlatendheid drainsleuven in Oostelijk Flevoland (1963-1974) (pagina 102)
- 6.11 Drains onder water in Drenthe (1962-1990) (pagina 103)
- 6.12 Onderzoek aan een poreuze subirrigatie-pijp (1970) (pagina 104)
- 6.13 Doorlatendheid drainsleuven in de voormalige Lauwerszee (1970-1973) (pagina 104)
- 6.14 Infiltratie via drains in kassen (1973) (pagina 105)
- 6.15 Infiltratieproefveld 'De Groeve' (1973-1976) (pagina 105)
- 6.16 Subirrigatie op gemengwoelde veengrond, Engeland (1974-1975) (pagina 106)
- 6.17 Gecombineerd drainage/infiltratiesysteem in South-Carolina (USA) (1975) (pagina 107)
- 6.18 Infiltratie in het noordwestelijk deel van Oostelijk Flevoland (1975-1976) (pagina 107)
- 6.19 Functioneren van buisdrainage op komgrond in de Tielerwaard (1977) (pagina 108)
- 6.20 Doorlatendheidsonderzoek drainsleuven door de Drainage Contact groep (1981) (pagina 109)
- 6.21 Infiltratie-praktijkproef Kapelle (1983-1984) (pagina 111)
- 6.22 Drainage-infiltratieproefveld 'Valthermond' (1983-1988) (pagina 111)
- 6.23 Subirrigatie van pinda's in de Verenigde Staten (1985) (pagina 112)
- 6.24 Vochtleverantie door subirrigatie in Georgia (USA) (1985) (pagina 112)
- 6.25 Meting van drukhoogteverliezen bij subirrigatie in Québec (1986) (pagina 112)
- 6.26 Drainageproefveld 'Staverense Noordermeer' (1986-1996) (pagina 113)
- 6.27 Subinfiltratie in proefgebied 'de Veenkampen' (1986-1990) (pagina 113)
- 6.28 Conferentie over subirrigatie en regelbare drainage in de USA (1991) (pagina 114)
- 6.29 Anti-verdrogingsmaatregelen Waterschap 'De Drie Ambachten' (1992-heden) (pagina 115)
- 6.30 Subinfiltratie in diepveenweidegebied in Oud-Kamerik (1998) (pagina 116)
- 6.31 Subinfiltratie op rundveeproefbedrijf Cranendonk te Soerendonk (N.Br.) (1998) (pagina 116).

6.3 Infiltratieproeven voor bloembollencultuur (1934-1935)

De eerste proeven waarbij in ons land water werd geïnfiltrerd zijn in de jaren twintig en dertig van de vorige eeuw uitgevoerd voor de teelt van bloembollen (Blaauw, 1938). Het waren proeven waarbij de optimale grondwaterstand voor de teelt van hyacinten werd vastgesteld. Deze werden geteeld in bakken, die aan de onderkant van water werden voorzien via, parallel aan de bakken lopende, 'slootjes'. Het peil in deze slootjes kon op verschillende hoogten worden gehouden. Er werd niet gerapporteerd over problemen met de infiltratie. Deze konden ook nauwelijks ontstaan, omdat met fijn grind en duinzand werd gewerkt.

De gunstige ervaring die met deze proeven is opgedaan heeft geleid tot grootschalige infiltratie bij de bloembollenteelt, waartoe drains werden omstort met schelpen. Overigens werden de drains in de bloembollenteelt doorgaans om de zeven jaar vervangen, omdat de weerstand rondom de drain met de jaren snel toenam. Men kon zich bij dergelijke kapitaalintensieve teelten niet veroorloven dat de drainage niet goed zou werken, en wilde ieder risico uitsluiten. Tijdens een veldbezoek in Noord-Holland werd vastgesteld dat de buitenzijde van een cocosomhulling kennelijk verstopt was. In een perceel waar het slootpeil boven drainniveau

stond en het grondwaterpeil lager, werden drains opgegraven. Pas na aanraken van de omhulling werd de drain watervoerend en stroomde de kuil snel vol met infiltratiewater (Van Zeijts, persoonlijke mededeling).

Uitwerpselen van graskarpers veroorzaakten daar veel verstoppingen (H.J. Meijer, persoonlijke mededeling).

In de bloembollenteelt is/wordt overigens overgestapt op beregening. Na de gunstige ervaringen met infiltratie in de bloembollenteelt is later op ruime schaal geëxperimenteerd met infiltratie in de Noordoostpolder (zie hoofdstuk 3).

6.4 Veldonderzoek doorlatendheid bodemprofiel Nieuw-Beerta (1942-1957)

Het eerste veldexperiment waarin het effect van de grondwaterstand op de doorlatendheid en de structuur van de grond is onderzocht, werd uitgevoerd op proefboerderij 'Jacob Sypkensheerd' in Nieuw-Beerta, ten noordoosten van Winschoten in de provincie Groningen (Van Hoorn, 1958). Dit proefveld werd in 1942 opgezet door S.B. Hooghoudt, met als doel na te gaan wat het effect is van verschillende grondwaterstanden op gewasopbrengsten. Het gebied is een polder in het Dollard-gebied met de volgende profielopbouw: 0-1 m -mv: zware klei; 1-2 m -mv overgang naar zand en hieronder zandige profielen. Bij permanent ondiepe grondwaterstanden was er sprake van een geleidelijke achteruitgang van het percentage macroporiën en de doorlatendheid. Werd de grondwaterstand continu op 40 cm -mv gehandhaafd, dan nam de bodemstructuur aan het maaiveld af en werd grondbewerking moeilijk.

Het duurde overigens vier jaar voordat er van significante achteruitgang van genoemde eigenschappen sprake was. De achteruitgang kan worden verklaard uit de mate van verzadiging van de profielen met grondwater. Na de start van het proefveld (juni 1943) was er, beneden de grondwaterspiegel, nog sprake van een vrij hoog percentage lucht in het bodemprofiel. In september 1947 was deze lucht geheel verdwenen. In september 1955 is de grond ook tot 20 cm boven de grondwaterspiegel vrijwel geheel verzadigd. Vooral de grotere poriën blijken door de grondwaterstandsverhogingen wat betreft aantal te zijn afgenomen.

De doorlatendheid van de grond (tijdens de winter tussen 50-90 cm -mv) is uiteindelijk afgenomen van ca. 3 m/d tot ca. 0,35 m/d. Bij een permanente grondwaterstand van 60 cm -mv is sprake van vergelijkbare trends.

6.5 Doorlatendheidsonderzoek U.S. Salinity Lab (1947)

In Californië werd geëxperimenteerd met infiltratie van water via kleine vijvers. De infiltratiesnelheid nam na enige tijd altijd af; eerst snel en daarna langzamer. Na geruime tijd sloegen de vijvers dicht. Om de oorzaak van de teruglopende doorlatendheid van grond bij permanente onderdompeling te achterhalen werd een serie metingen verricht.

Er werden 43 ongestoorde grondmonsters gestoken, in Ø12×90 en Ø11×40 cm lange bussen. De doorlatendheid liep het sterkst terug in die gedeelten van de grond waar het organische stofgehalte het hoogste was. Uit proefnemingen, uitgevoerd door o.a. Christiansen (1947) was gebleken dat de doorlatendheid van grondmonsters lang niet zo snel terugliep wanneer er in het water desinfecterende middelen werden opgelost. De resultaten wezen in de richting van microbiologische verstopping als de belangrijkste oorzaak van teruglopende doorlatendheid van grond die lang onder water staat.

Een sluitend bewijs voor het optreden van microbiologische verstopping was echter nog niet geleverd. De afgenomen doorlatendheid zou immers gedeeltelijk veroorzaakt kunnen zijn door verslemping van

bodemaggregaatjes. Hierover zou uitsluitel verkregen kunnen worden door een serie doorlatendheidsmetingen uit te voeren in een volledig steriele omgeving. Dit is in een laboratorium gedaan, voor drie verschillende gronden. In alle gevallen waren de doorlatendheden van de steriele gronden nog even hoog als aan het begin. Met dit project kon dus worden aangetoond dat de afname van doorlatendheden van ondergelopen gronden moet worden toegeschreven aan microbiologische processen, en niet aan verslemping van bodemaggregaten (Allison, 1947). Eerder werk van Martin (1945) wees ook al in deze richting. Veel later zou Bouma (1969) aantonen dat verslemping van bodemaggregaten in gestabiliseerde grond nabij drains bij infiltratie niet erg waarschijnlijk is.

In dezelfde periode heeft het U.S. Salinity Lab (Riverside, Californië, USA) vrij veel onderzoek verricht naar de doorlatendheid van gronden tijdens infiltratie. Bij infiltratie werd steeds hetzelfde geconstateerd: de doorlatendheid neemt eerst af, vervolgens weer toe en daarna weer af.

- De eerste afname van de doorlatendheid wordt veroorzaakt door zwelling en dispersie van bodemdeeltjes (geldt vooral in verzilte gronden).
- De hierop volgende toename van de doorlatendheid wordt veroorzaakt door het verdwijnen van luchtbellens uit het profiel; de bellens zijn immobiel, maar worden opgelost door het percolerende water. Zij bevinden zich grotendeels in de grotere poriën.
- De tweede afname van de doorlatendheid wordt veroorzaakt door microbiologische verstopping van poriën.

Deze fenomenen werden bij vele verschillende bodemtypen geconstateerd. De doorlatendheid van bovengronden nam sneller af dan die van dieper gelegen gronden; een en ander is gekoppeld aan het gehalte aan organische stof (Christiansen, 1947).

De afname van de doorlatendheid van grond rondom drains wordt grotendeels veroorzaakt door microbiologische processen, waarbij slijmerige en kleverige, verstoppende substanties worden geproduceerd. Hoe hoger het organisch stofgehalte, des te groter is het gevaar dat de doorlatendheid met de tijd sterk gaat afnemen.

Bevat het slootwater voedsel voor bacteriën (o.a. in zwevend organisch materiaal) dan neemt de kans op verstopping van grond rondom drains snel toe, zeker wanneer het organisch stofgehalte hier hoog is.

6.6 Watersnoodramp in zuidwest-Nederland (1953)

In februari 1953 hebben gedeelten van het zuidwesten van ons land enkele maanden blank gestaan. Nadat de normale situatie weer hersteld was, was er nauwelijks sprake van problemen met de drains. Alleen wanneer de grond sterk alkalisch (basisch) was werden er soms kleideeltjes uit de drains gespoeld; het leek op een soort 'witte melk'. Dat was echter niet schadelijk, want de suspensie was dermate fijn dat de deeltjes niet in de drains, als sediment, konden worden afgezet. In de praktijk komt het vaak voor dat drains tijdens perioden van hoge afvoeren onder water komen te staan, omdat de collectors (sloten of buizen) al het water tijdelijk niet kunnen verwerken (Van der Molen, 1987). Drains kunnen ook 'melk geven' in sterk gereduceerd veen (ook witte vellen, zoals melk die lang kookt). H₂S, opgelost in het grondwater, komt in de drain in aanraking met zuurstof en wordt door zwavelbacteriën omgezet in zwavel. Ook dit kan verstopping geven (Van der Molen, persoonlijke mededeling).

Het gedurende langere tijd onder water staan heeft in een groot gebied in zuidwest-Nederland op het functioneren van drainages kennelijk geen nadelige invloed gehad.

6.7 Subirrigatie in de Noordoostpolder (1955-1960)

Op grond van de ervaringen van Blaauw (zie paragraaf 6.3) heeft men besloten te gaan infiltreren in het Ramspolgebied in de Noordoostpolder waar, net als in het bollengebied, grofzandige afzettingen voorkomen. Omdat de slootafstand in de Noordoostpolder 300 m bedroeg in plaats van de 50 m in de bollengronden, besloot men de infiltrerende werking aan te vullen met drainage (J. van Hoorn, persoonlijke mededeling). In de Noordoostpolder is in de tweede helft van de jaren vijftig uitgebreid geëxperimenteerd met infiltratie via drains. Eerder was door C. Kalisvaart in de Wieringermeerpolder ervaring opgedaan met infiltratie via greppels (Van der Molen, persoonlijke mededeling). De systemen in de Noordoostpolder werden aangelegd tussen 1940 en 1950. Het betrof vooral de 10.000 ha droogtegevoelige gronden, voornamelijk langs de randen van de polder (Kalisvaart, 1954, 1957; Enserink, 1956; Visser, 1995). Infiltratie via drains (subirrigatie) was veel goedkoper dan beregening (Kalisvaart, 1958). Er bestonden twee vormen van infiltratie: het zgn. Vollenhove-systeem, en de zgn. Ramspol-methode. In beide systemen werd gebruik gemaakt van \varnothing 50 mm gebakken kleibuizen, bedekt met heide en stro. Naar het werk van Kalisvaart wordt ook in Amerikaanse publicaties verwezen.

De eenvoudigste manier van infiltreren was het Vollenhove-systeem. Dit werd zo genoemd omdat het voor het eerst werd toegepast in het gebied in de Noordoostpolder nabij Vollenhove. Het werd op ca. 7000 ha geïnstalleerd. In dit gebied komen stabiele, grofzandige afzettingen voor. Destijds waren het droogtegevoelige graslandgebieden op lichte gronden; tegenwoordig is het bebost (Voorsterbos). Bij het enkelvoudige Vollenhove-systeem heeft iedere drainbuis zijn eigen uitmonding in de collectorsloot, waarin het gewenste peil wordt gehandhaafd. Alle sloten worden voor wateraanvoer en -afvoer gebruikt, en om de grondwaterstand te sturen. De drains lopen tot het midden van de percelen. De draandiepte was in het midden van het perceel 90 cm -mv; de uitmondingen lagen bij 120 cm -mv. Het afschot dat 2‰ (20 cm/100 m) bedroeg, werd nodig geacht voor de afvoer van zand naar de collectorsloot.

Bij het samengestelde Ramspol-systeem werden voor wateraanvoer en -afvoer tijdens het infiltratieseizoen verschillende sloten gebruikt. Dit systeem werd op ca. 3000 ha geïnstalleerd. De drains lagen horizontaal op een diepte van 70 cm in grof zand, tot 100 cm in fijn zand en veen. Zij werden, in blokken van ca. drie ha, geïntegreerd tot samengestelde eenheden door groepen van vijf drains aan beide uiteinden van de kavel te verbinden door \varnothing 80 mm verzameldrainen. De kavelsloten fungeerden om en om als aanvoer- of afvoersloot, waarin respectievelijk afsluitbare inlaten en de regelbare uitlaten van een drainageblok uitmondten. Zowel de inlaat- als de uitlaatzijde was regelbaar met kleppen. In elk blok kon de grondwaterstand daarom onafhankelijk van de andere blokken worden ingesteld. De ene verzameldrain diende als inlaat en de andere als uitlaat. De hoogte van de waterstand in de aanvoersloot hoefde minder nauwkeurig geregeld te worden dan bij het enkelvoudige Vollenhove-systeem.

Een voordeel van het enkelvoudige Vollenhove-systeem was onder andere dat de drukhoogte in de drains gemakkelijk met stuwen gereguleerd kon worden ('men ziet wat men doet'). De stuw aan de inlaatzijde van de kavelsloot wordt bediend door de waterbeheerder. De stuw aan de uitlaatzijde wordt bediend door de boer die hem bij overvloedige neerslag desgewenst kan openen. Bovendien konden de drains vrij gemakkelijk worden onderhouden (o.a. verwijderen van verstoppingen).

Het samengestelde Ramspol-systeem was weliswaar flexibeler, omdat binnen percelen meerdere grondwaterstanden konden worden ingesteld. Hierdoor was dit systeem meer geschikt voor fijnzandige profielen waar grondwaterstanden moeilijker gereguleerd kunnen worden. Bovendien hoefden slootpeilen niet nauwkeurig ingesteld te worden. Een nadeel van het Ramspol-systeem was echter dat het onderhoud van drains moeilijk en duur was. Daarnaast was het gebruik in operationeel opzicht vrij ingewikkeld ('men ziet niet wat men doet').

Verstopingen met zand waren niet ongebruikelijk. Zij werden geweten aan open stukken in omhullingsmaterialen van turfmoalm en beschadigde buiseinden (kleibuizen met kraag). Er deden zich ook onverwachte verstoppingsproblemen voor. Uit een drain is wel eens een gezelschap van 40 kikkers gekropen. In de zomer van 1952 bleken drains in de Noordoostpolder overal vol te zitten met driekantige zoetwatermossels. Verder veroorzaakten slierten van waterplanten soms verstoppingen. Het aanbrengen van gaas op inlaatbuizen (horren- of fijn kippengaas) gaf geen uitkomst omdat dit gaas in korte tijd geheel dicht ging zitten, vooral door algen (Enserink, 1956).

Overigens bleek de capaciteit van beide systemen tijdens lange warme en droge perioden te gering om in het waterverbruik van de gewassen te voorzien. Een andere belangrijke factor was de hoogteligging van het terrein. Te grote of ongunstig liggende hoogteverschillen kunnen infiltratie vrijwel onuitvoerbaar maken. De perceelsbreedte in de Noordoostpolder van 300 m is voor de samengestelde Ramspol-methode te groot gebleken. In Oostelijk Flevoland zijn de infiltratiekavels dan ook op 200 m breedte ontworpen.

Van 1954 tot 1958 zijn de hoeveelheden geïnfiltreerd water in tien verschillende gebieden in de Noordoostpolder gemeten. De hoeveelheid geïnfiltreerd water varieert gemiddeld van 66 tot 392 mm op jaarbasis, gerekend van 1 april tot 1 november. Deze cijfers zijn grotendeels afhankelijk van neerslaghoeveelheden en andere hydrologische randvoorwaarden, onder andere kwel en waterverspilling (Kalisvaart, 1959).

Later is het Ramspol-systeem vervangen door een verbeterd Ramspol-systeem. In dit systeem wordt niet meer gewerkt met blokken, maar monden de drains afzonderlijk uit in de aan- en de afvoersloot. Beide uiteinden zijn flexibel, en kunnen desgewenst onder- en boven het open waterniveau worden gehouden. Staat de uitmonding in de aanvoersloot boven water en die in de afvoersloot omlaag dan wordt het profiel gedraineerd. In de omgekeerde situatie wordt er geïnfiltreerd. De drains konden gemakkelijk worden onderhouden, maar de perceelsbreedte was beperkt tot 200 m. Over het verbeterde Ramspol-systeem is nooit gepubliceerd (Penninkhof, persoonlijke mededeling).

In de infiltratiegebieden in de Noordoostpolder in de omgeving van Ens bleken drains, bedekt met turfmoalm, na een aantal jaren vrijwel niet meer te werken (DCG, 1978a, 1978b). Bij infiltratie in de zomer traden zeer hoge uitteeweerstanden op, bij drainage in de winter zeer hoge intreeweerstanden. De turfmoalm bleek te zijn overgegaan in een compacte, enigszins geleijachtige massa met een zeer kleine doorlatendheid. Dit materiaal kon dus niet langer worden toegepast wanneer drains het gedurende het hele jaar in een nat milieu verkeren (kwelgebieden, infiltratiegebieden en drains die onder polderpeil liggen).

Sinds de jaren dertig werd in infiltratiegebieden in Noord-Holland hier en daar heide als infiltratiemateriaal toegepast. Onderzoek aan dit afdekkingsmateriaal wees uit dat heide ook na een groot aantal jaren zijn oorspronkelijke, open structuur behoudt. De in- en uitteeweerstanden zijn zeer klein (De Roo, 1962). Verder onderzoek in de Noordoostpolder bevestigde deze resultaten. Sindsdien werd in de infiltratiegebieden in de IJsselmeerpolders heide gebruikt (één pak per 10 m). Ter voorkoming van minerale verstopping werd de heide met een dunne laag stro afgedekt (één baal per 50 m of 1 kg per m) (Segeren en Zuidema, 1969). De perikelen rond Ens zijn hieronder uitgebreider beschreven (proef 4).

Naast problemen door de vertering van organische omhullingsmaterialen was er ook sprake van verstopping door ijzerverbindingen. Visser (1995) rapporteert over ijzernerslag in omhullingsmaterialen van turfmoalm in de IJsselmeerpolders. Deze problemen zijn volgens hem voorgoed opgelost na de introductie van ribbelbuizen met omhullingsmateriaal van polypropeenvezel ('PLM-PP').

Een belangrijke constatering is dat subinfiltratie via drains in (fijn)zandige profielen in het algemeen goed bleek te lukken. In slechts één van de tien proefgebieden werd een ernstige mate van verstopping (van stootvoegen)

geconstateerd, namelijk in het gebied 'Kuinre-oost', gelegen tussen Kuinre en Luttelgeest. Wel werd het vermoeden uitgesproken dat de doorlatendheid van de grond rondom de drains met de tijd zou kunnen afnemen. Deze afname wordt, naar wordt aangenomen, versneld omdat de drains ook voor infiltratie worden gebruikt. Exacte gegevens ontbreken echter.

De RIJP (Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders) heeft in de jaren zestig ook onderzoek gedaan naar de optimale ontwateringsdiepte in een appelboomgaard in een mariene kleigrond in Oostelijk Flevoland (lutumgehalte 15-30%; organisch stofgehalte 3-12%). Het proefveld werd aangelegd in 1964. De drains bestonden uit kraagloze kleibuizen, afgedekt met heide en stro. De in de sleuven teruggestorte grond heeft gedurende acht weken in de zomer op het maaiveld liggen drogen en rijpen (Segeren en Visser, 1969; Visser, 1983). De draindiepte bedroeg 1,5 m -mv en de drainafstand 4 m.

Zelfs na tien jaar permanent onder water gestaan te hebben was het systeem van macroporiën in de grond rond de drains nog grotendeels intact.

6.8 Infiltratiedrainbedekkingsproefveld P 103 te Ens (Noordoostpolder) (1959-1962)

Het tuinbouwgebied ten zuidoosten van Ens (Noordoostpolder), parallel aan de Ensertocht en de Kamperweg, is vanaf 1946 gedraineerd. Het is het 'Infiltratiegebied Ramspol, sectie B'. Gebruikt werden kraagloze kleibuizen $\varnothing 6$ en $\varnothing 8$ cm, en incidenteel $\varnothing 8$ cm betonnen buizen. De drains werden afgedekt met turfmolm (Zuur, 1959). De bovengrond heeft een zandige en lutumarme samenstelling, waardoor gedurende het groeiseizoen sprake is van watertekorten voor de gewassen. Daarom werden de drains ook voor infiltratie gebruikt. Bij dit infiltratiesysteem traden in de loop der jaren vele tekortkomingen op en er waren veel klachten. Een groot aantal drains werd herlegd en er werd tussengedraineerd. Hierdoor werden de drainafstanden, oorspronkelijk 24-50 m, verkleind tot soms minder dan 7 m. Maar ook bij deze kleine drainafstanden traden nog steeds problemen op. In oktober 1959 werd een onderzoek ingesteld naar het functioneren van de infiltratiedrains. Bovendien werd op kavel P 103 een drainbedekkingsproefveld aangelegd. Men vermoedde immers dat de oorzaak van de problemen moest worden gezocht in het niet goed functioneren van de drains zelf.

Een niet onbelangrijk detail bij deze 'case' is het feit dat een aantal van de betrokken tuinders afkomstig was uit de omgeving van Breezand in de Anna Paulowna Polder ten zuiden van Den Helder. Volgens hen werd rond Breezand vanaf 1940 heide als bedekkingsmateriaal voor drains gebruikt. Het rond Ens gebruikte turfmolm voldeed in Breezand niet en leidde meestal na anderhalf jaar al tot problemen.

In het tuinbouwgebied werden ruim 800 drains gecontroleerd op het gemeten drukhoogteverlies. Het drukhoogteverlies is hier gedefinieerd als het verschil tussen het slootwaterpeil en de waterstand boven een drain op een afstand van 75 meter vanaf de infiltratiesloot. Men heeft er bij de metingen voor gezorgd dat het bedekkingsmateriaal en het milieu in de directe omgeving van de drainreeksen niet zouden worden verstoord. Er zijn ook drains opgegraven en er is laboratoriumonderzoek gedaan naar de doorlatendheid van de turfmolm en het materiaal uit stootvoegen. Dit, met een Kopecky-apparaat uitgevoerde onderzoek, leverde niets op omdat de doorlatendheid van de monsters onmeetbaar groot of onmeetbaar klein bleek te zijn.

Uit het onderzoek kwam naar voren dat slechts een klein gedeelte van de drains goed functioneerde. Tussen de mate van goed functioneren van drains en de ouderdom kon geen relatie worden vastgesteld. De spreiding van de gemeten punten binnen hetzelfde jaar was namelijk zó groot, dat de jaarinvloed in het niet viel. De ouderdom van de drains speelt dus bij het slecht functioneren een

ondergeschikte rol. De drains werden ook doorgestoken, en er werd vastgesteld dat er slechts zelden sprake was van verstoppingen. Van goed en regelmatig onderhoud van drains was overigens nauwelijks sprake.

Er werd geen verband gevonden tussen de mate van onderhoud van de drains (doorspuiten) en de bij de drains optredende drukhoogteverliezen.

De moeilijkheden met de infiltratie werden gedeeltelijk geweten aan het feit dat een gedeelte van het tuinbouwgebied aan de rand van het Ramspolzand ligt. Langs deze randen gaat dit zand over op zwaardere en fijnere afzettingen. Dit zijn de zogenaamde Zuiderzee-afzettingen, die bestaan uit lichte en zware zavel (Wiggers, 1955; Wiggers et al., 1962).

Uiteindelijk kon worden vastgesteld dat het materiaal waarmee de drains werden bedekt een doorslaggevende rol speelde bij het functioneren van de drains. Veen werd toegepast kort na de oorlog toen er een gebrek aan turfmolm bestond. Dit veen was afkomstig van de omgeving van Schokland. Het veen werd op den duur vettig en slecht-doorlatend, en men schakelde over op turfmolm. Bij opgraven van drains bedekt met turfmolm kon tot beneden draindiepte worden gegraven zonder dat er water uit de drain kwam, terwijl het slootwaterpeil 45 cm beneden maaiveld stond. Nadat met de schop even aan de drains was gewrikt stroomde er met grote snelheid water in het gat. Dit water stelde zich binnen korte tijd in op het niveau in de sloot. Van vervuiling van drains of bedekkingsmateriaal was bij deze drains geen sprake. De twee jaar oude turfmolm buiten op de drain zag er als kortgeleden aangebracht uit. De waterbeweging werd kennelijk belemmerd in de stootvoegen. Uiteindelijk bleek heide als bedekkingsmateriaal voor infiltratieproeven het meest geschikt.

Vervolgens is het infiltratiebedekkingsproefveld aangelegd. Doel was na te gaan welk bedekkingsmateriaal voor infiltratiedrains het meest geschikt was. Als vergelijkende bedekkingsmaterialen werden gekozen: heide, Urkzand (grof zand, aangebracht met een laagdikte van 10 cm), een dubbele hoeveelheid turfmolm, en bedekking met Ramspolzand (in feite dus geen bedekking), juist onder de bouwvoor vandaan. Er waren in totaal vijftien drains; drie per bedekkingsmateriaal. Er werden stijgbuizen in de drains geplaatst, en grondwaterstandsbuizen tegen de wanden van de drainsleuven. Het verschil tussen heide enerzijds en alle andere materialen anderzijds was frappant. Bij beide turfmolmvarianten nam de doorlatendheid geleidelijk af. Ramspolzand voldeed zó slecht, dat al een jaar later moest worden overgedraineerd. Het grove Urkzand voldeed ook niet. Heide voldeed verreweg het beste.

Naar aanleiding van deze conclusies werd door de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders in Kampen besloten om eind oktober 1961 een driedaagse excursie te organiseren naar het tuinbouwgebied rond Breezand. De bodemgesteldheid rond Breezand vertoont grote overeenkomst met die rond Ens. Er werd een verkennend onderzoek uitgevoerd naar intreeweerstand. Hiertoe werden in één perceel grondwaterstandsbuizen in drainsleuven geplaatst. De intreeweerstand bleken bijzonder klein. Daarnaast werd op zeven plaatsen de drain opgegraven, en werd er met meerdere grondgebruikers gesproken.

Eén gebruiker had vastgesteld dat er bij veel neerslag lucht in zijn drains voorkwam, waardoor deze niet meer goed functioneerden.

Ook bij Breezand functioneerde turfmolm na gemiddeld drie jaar niet meer, en werd overgedraineerd met heide, bedekt met stro, om inzakken van zand tussen de heide te voorkomen. Er werd vrijwel geen aandacht aan drainonderhoud besteed; 'dit is bij heidedrains niet nodig'. Een andere gebruiker was afkomstig van de geestgronden te Wassenaar, waar de drains bedekt werden met sintels. Dit gaf bij herstelwerkzaamheden 'nogal rommel in de grond'. Daarom werd overgeschakeld op heggesnoeisels. Door het gemis aan heggesnoeisels in Breezand werd overgeschakeld op heide (De Roo, 1962).

De conclusie van het bovenstaande is dat infiltratie geen probleem was, mits men geschikt bedekkingsmateriaal gebruikte. Waterkwaliteit was kennelijk geen probleem. Aan het onderhoud van drains werd geen aandacht besteed, en er was ook geen relatie tussen onderhoud en functioneren van de drains te bespeuren. Opvallend is het uitgebreide veldonderzoek dat is verricht. Ook is het opmerkelijk dat de RIJP jarenlang met turfmoalm bleef draineren, terwijl met dit materiaal vlakbij de Wieringermeer slechte ervaringen waren opgedaan. De RIJP heeft van de ervaringen in Breezand in een veel te laat stadium gebruik gemaakt.

6.9 Infiltratie op Proefbedrijf Vredepeel (1960)

Het proefbedrijf Vredepeel ligt 3 km ten zuidoosten van Rips langs het Peelkanaal. Vrijwel het gehele terrein bestaat uit humuspodzolgronden. Plaatselijk worden over kleine oppervlakten gronden aangetroffen zonder duidelijke podzol-B-horizont, de zgn. gooreerdgronden. De bovengrond bestaat uit leemarm matig fijn zand, en de ondergrond uit leemarm of zwak lemig matig fijn zand. (Stiboka, 1969).

In 1957 werd op het Proefbedrijf Vredepeel een infiltratiesysteem aangelegd. Het was berekend op een wateraanvoer van 6 mm/dag, en bestond uit drains die één meter diep en op een afstand van 18 meter werden aangelegd. De infiltratiecapaciteit liet te wensen over en daarom werd in 1960 tussendrainage aangelegd. De werkzaamheid van deze nieuwe drains, zogenaamde 'ldra'-buizen (kleibuizen met kraag) met een omstorting van turfmoalm of grind, liep na verloop van tijd echter ook terug. Het onderzoek was er dan ook op gericht de oorzaken van de kennelijk hoge infiltratieweerstanden te verklaren. Ook wilde men de plaats waar ze optraden vaststellen, en de grootte van deze weerstanden berekenen. Het onderzoek was zeer uitvoerig en op dat moment zonder precedent.

De volgende aspecten zijn in beschouwing genomen:

- de doorlatendheid van de grond in de drainsleuven;
- de hoeveelheid geïnfilterd water;
- de stromingsweerstand in de buizen;
- de horizontale en radiale weerstanden;
- de uittreeweerstand;
- de invloed van de gebruikte buissoort, het omstortingsmateriaal en de draindiepte.

Op het proefbedrijf werd de gemiddelde totale infiltratieweerstand gemeten van 'perceelsblokken' van 70×180 m². Deze weerstand, W_{tot} , bestaat uit een aantal stromingsweerstand, waarvan de voornaamste zijn:

- de stromingsweerstand in de drainbuizen (W_d);
- de stromingsweerstand bij de overgang drainbuis-drainsleuf (uittreeweerstand W_u);
- de stromingsweerstand in de nabijheid van de drainsleuf (radiale weerstand W_r);
- de stromingsweerstand vanaf de naaste omgeving van de drainsleuf tot het midden van het perceel, tussen twee drains (horizontale weerstand in de grond (W_h)).

In 1960 werden midden tussen de drains en in de drainsleuven grondwaterstandsbuizen geplaatst, en werden de drainbuizen voorzien van stijgbuizen. De buizen in de drainsleuven bleken echter niet betrouwbaar. Desondanks is er gemeten. Soms bleken de filters van deze buizen erg goed contact te maken met de stootvoegen van de drainbuizen. **De gemiddelde totale infiltratieweerstand, W_{tot} , is tussen 1960 en 1963 met een factor 2 tot 6 toegenomen. Hierbij maakte het niets uit of de drains werden doorgespoeld of niet.**

Nadere analyse was gericht op W_d en W_u ; W_h en W_r werden constant verondersteld. Hierbij is dus voorbij gegaan aan de mogelijkheid dat het infiltratiewater in de ongeroerde grond veranderingen zou kunnen veroorzaken die de doorlatendheid beïnvloeden. Afgezien van problemen met waterkwaliteit is de fijnste

bodemfractie na enige tijd uit de grond rondom de drains verdwenen (Stuyt, 1992). Het risico dat de doorlatendheid door inwendige minerale verstopping bij subirrigatie afneemt is daarom vrij gering. Om een indruk te krijgen van de doorlatendheid van de geroerde grond in de drainsleuven werden in 1964 bemonsteringen uitgevoerd, met 100 cc ringen en 30 cm lange bussen. Er werd steeds in drievoud bemonsterd, op drie diepten en bovendien in de ongeroerde grond. Al dit werk leverde weinig op: de doorlatendheid van de grond in de drainsleuf bleek gemiddeld even groot als die van de ongeroerde grond. De resultaten waren echter niet erg betrouwbaar door samendrukking van de monsters, en het feit dat de grondlaag die aan de drains grenst (enkele cm's) niet bemonsterd kon worden. Het is heel goed mogelijk dat zich juist deze laag wegens de alternerende grondwaterstroom een veel geringere doorlatendheid heeft ontwikkeld.

Een gedeelte van de drains was met grof zand omstort. Het infiltratiedebiet via deze drains bleek $1,75 \times 3,5$ maal groter dan dat van de met turfmoelm bedekte drains.

Voor twee waarnemingsdata kon het totale drukhoogteverlies tussen sloot en grond tijdens infiltratie worden opgesplitst in de volgende componenten:

- drukverlies in de buis, W_b : dit nam in de loop van de tijd toe tot gemiddeld 2 d/m, dit wijst op inzanding en vervuiling;
- drukverlies bij de overgang tussen de buis naar de drainsleuf: de uittreeweerstand W_u bedroeg gemiddeld bij turfmoelmomhulling 15 d/m en bij omstorting van grof zand 2,5 d/m;
- drukverlies bij de overgang van de drainsleuf naar de grond: de radiale weerstand W_r bedroeg gemiddeld 0,1 d/m;
- de horizontale weerstand W_h bedroeg gemiddeld 1 d/m.

De uittreeweerstand werd berekend als 'sluitpost', na zo goed mogelijke schatting van de andere componenten.

Het onderzoek gaf aanwijzingen dat de moeilijkheden gezocht moesten worden in verstopping van stootvoegen, of van de omstortingslaag vlak om de buizen. Kouwe (1967) berekende dat bij een toename van de uittreeweerstand W_r tot 15 d/m, bij een inlaat van 10 mm/d en een opbolling van het freatisch vlak van 40 cm de gewenste drainafstand 2,5 m zou moeten zijn. Overigens werden de matige resultaten met de infiltratie voor een deel ook veroorzaakt door de sterke wegzijging naar de ondergrond, vermoedelijk door openingen in ondergrondse leemlagen (Hellings, 1965).

De conclusie van het onderzoek was dat de infiltratie vooral werd bemoeilijkt door een sterk verhoogde uittreeweerstand van de drains. Dit zou veroorzaakt kunnen zijn door het uifiltreren van de met het infiltratiewater meegevoerde vaste (minerale, plantaardige en dierlijke) stoffen tegen de buiswand en in het omhullingsmateriaal.

Om hierover uitsluitsel te krijgen werden op 29 mei 1963 watermonsters genomen, zowel van het water in de aanvoersloot, als van het 'spolwater' dat door de infiltratiedrains was gestroomd, vijf of tien minuten nadat de benedenstrooms gelegen afsluiters waren geopend. De drains waren namelijk aan beide kanten toegankelijk; bovenstrooms via de aanvoersloot en benedenstrooms via afsluiters.

De watermonsters werden geanalyseerd op droge stofgehalte, gloeiverlies en ijzergehalte. De monsters werden ook bacteriologisch onderzocht.

Uit de resultaten bleek dat er een belangrijke accumulatie van zwevende substanties in de infiltratiedrains had plaatsgevonden, bestaande uit organisch materiaal en ijzerverbindingen.

Het bacteriologisch onderzoek wees op een rijke groei van slijmvormende bacteriën. Deze slijmachtige substanties hebben een sterk verstoppende werking op de grens tussen de drains en omringende grond, inclusief het omhullingsmateriaal. De cijfers tonen een sterke toename van de vaste delen na langer doorstromen van de drains. Ook de aard en de samenstelling van het vrijkomende materiaal veranderen met de tijd. Na lang doorspoelen werd het drainwater weer vrijwel identiek aan het water uit de aanvoersloot, en waren de drains inwendig dus 'schoongespoeld'.

Het effect van periodiek enige dagen achter elkaar doorspoelen op de waterkwaliteit bleek bij een tweede bemonstering op 15 juli 1963. De monsters werden niet geanalyseerd aangezien ze op het oog gezien zeer weinig vaste delen bevatten. Bij navraag bleek dat de afsluiters acht dagen achtereen hadden opengestaan.

De conclusie van dit onderzoek is dat de vervuiling van drains door het oppervlaktewater bij infiltratie een potentiële bron van problemen is. In het gesuspendeerde materiaal kan zich in de drain een flora van slijmvormende en ijzerbindende bacteriën ontwikkelen. In hoeverre dit probleem een grote rol speelt als de drains weliswaar onder water staan, maar water afvoeren of in ieder geval niet infiltreren, is niet bekend. Het lijkt echter waarschijnlijk dat het risico van vervuiling dan minder groot zal zijn.

6.10 Doorlatendheid drainsleuven in oostelijk Flevoland (1963-1974)

Op enkele kavels in Oostelijk Flevoland heeft de toenmalige RIJP het effect van tijdelijke en permanente hoge grondwaterstanden op de doorlatendheid van de drainsleuf onderzocht. Het betrof:

- kavel R 18, waar tien jaar lang is geïnfilteerd met een peil van 0,4 m -mv;
- kavel B 70, dat gedurende een aaneengesloten maand geïnundeerd is geweest;
- kavel G 25, waar gedurende enkele opeenvolgende winters hoge grondwaterstanden optraden.

Kavel R 18. Hier lag een fruitteelt-proefveld. Het bodemprofiel bestaat uit 0,9 m zware zavel op licht humeuze zavel. De drainage is aangelegd in 1964 en de drains liggen op 1,3 m -mv. De drainsleuven zijn opgevuld met goed-gestructureerde zware zavel, afkomstig van de bouwvoor. De drains zijn afgedekt met 10 cm heide. Er waren twee infiltratiepeilen: 0,4 en 1,0 m -mv, en ook drains waarmee niet werd geïnfilteerd. In 1966, 1970 en 1974 zijn de sleuven bemonsterd, en wel op 20, 50, 70 en 90 cm boven drainniveau; op de meeste diepten plm. 15 stuks.

Het deel van de sleuven dat binnen de invloed van het grondwater ligt (tot ongeveer 0,3 m boven het infiltratieniveau) blijkt, gemiddeld gesproken, een lagere doorlatendheid te hebben dan het deel dat hierbuiten ligt.

De doorlatendheid vlak boven de drains is, ten opzichte van de doorlatendheid zonder infiltratie, bij beide infiltratiescenario's echter niet verslechterd.

Daarboven wel, en dit wordt toegeschreven aan berijding onder natte omstandigheden. Aan maaiveld was sprake van een dramatische afname van de doorlatendheid.

Kavel B 70 – Het bodemprofiel bestaat uit 1,2 m zware zavel op lichte zavel. De drainage is in 1967 aangelegd. Gedurende de maand maart 1972 is de kavel in gebruik geweest als slibvang. Er stond voortdurend water tot op of aan het maaiveld, en de drains werkten op volle capaciteit. Enkele maanden voor het begin, en enkele maanden na beëindiging van de inundatie is de doorlatendheid van de drainsleuven bepaald. Bij het steken van de monsters na afloop van de inundatie werd geen afzetting van vers slib in de drainsleuven waargenomen. De doorlatendheid boven- en midden in de sleuf was met gemiddeld 25% gedaald en die onderin de sleuf met 50%.

Kavel G 25 Het bodemprofiel bestaat uit 0,2 m zware zavel op zeer fijn zand. Op deze kavel lag een proef met drainagematerialen. De drainage, bestaande uit gladde PVC buis met omhulling of afdekking, is in 1963 aangelegd. Tijdens natte perioden was er lokaal sprake van hoge grondwaterstanden, vermoedelijk ten gevolge van verstopping van het omhullingsmateriaal glasvlies. Drains met los gestorte turfmoalm werkten wel goed. Ter referentie waren ook drains geïnstalleerd zonder omhullingsmateriaal. De doorlatendheid van de drainsleuven is gemeten in 1966, 1967, 1968 en 1970. De doorlatendheid van de drainsleuf vlak boven drainniveau bleek afhankelijk te zijn van de toegepaste omhulling; zie Tabel 7. Het aantal waarnemingen bedroeg bij turfmoalm 18, en bij de andere varianten 11.

Tabel 7

Doorlatendheden drainsleuven vlak boven drainniveau in kavel G 25 (m/d).

Omhulling/afdekking	1966	1967	1968	1970
Glasvlies	0,54	0,43	0,22	0,32
Turfmoalm	1,65	0,50	-	-
Geen	0,15	-	-	-

De doorlatendheid van de sleuf vlak boven de drain is bij drains zonder omhulling/afdekking zeer gering; bij turfmoalm aanvankelijk goed, maar een jaar later sterk verminderd. De doorlatendheid is bij toepassing van glasvlies laag, maar stabiel. Hogerop in de sleuf vertonen de doorlatendheden vergelijkbare trends, maar zijn zij hoger.

Het lang onder water staan van drains leidt bij deze proef dus tot een afname van doorlatendheden.

Naar aanleiding van deze resultaten beveelt Scholten (1981) aan om hoge grondwaterstanden in drainsleuven zo mogelijk te vermijden, vooral in lichte, zwak-cohesieve gronden. Op percelen waar wordt geïnfiltreerd, en in het bijzonder wanneer de drainsleuven zijn opgevuld met slempgevoelige grond, moeten de drains worden voorzien van een volumineus omhullingsmateriaal om nadelige gevolgen van een eventueel lage doorlatendheid in de sleuf enigszins te compenseren.

6.11 Drains onder water in Drenthe (1963-1990)

In Drenthe zijn door concentratie van waterschappen uitgebreide waterbeheersingswerken uitgevoerd, die enerzijds tot doel hadden een verbetering van de ontwatering van landbouwgronden, en anderzijds het conserveren van water in het voorjaar, en peilbeheersing door wateraanvoer. De werken bestonden uit het verbeteren van waterlopen, het bouwen van landbouwkundige en technische stuwen, en het bouwen van gemalen en inlaatwerken. Als ontwateringsnorm gold voor zandgronden een drooglegging van 0,8 tot 1 m bij halve maatgevende afvoer, die gemiddeld 15 à 20 keer per jaar, gedurende één of meerdere dagen kon voorkomen. Voor veengronden werd van eenzelfde drooglegging uitgegaan, maar bij deze normstelling werd rekening gehouden met toekomstige klink, zetting en oxidatie van het veen. In de zomer werd een stuwpeil gehanteerd van 0,4 à 0,9 m beneden het maaiveld, afhankelijk van recent gevallen neerslag. De grondwaterstand is de belangrijkste graadmeter voor het instellen van de peilen.

In de ruilverkavelingen werd in het begin van de jaren zestig door de sterk toenemende mechanisatie besloten de detailontwatering uit te voeren met drainage. Vooral in de beekdalen, waar intensieve

kavelinrichtingswerken moesten worden uitgevoerd, was dit een goede oplossing. In 1963 werd hiermee gestart in de ruilverkaveling Grolloo-Schoonloo, en daarna in o.a. Dalen, Sleenerstroom, Steenwijkmoer, Zuidlaren, Anloo, Rolde, Dwingello Smalbroek, Diever, Vledder en Vries. De draindiepte werd bepaald aan de hand van de norm 'halve maatgevende afvoer + 10 cm' in de waterlopen. Deze varieerde van 1 tot 1,2 m beneden het maaiveld. Dit hield in dat drains tijdens de herfst en de winter tijdelijk onder water kwamen te liggen. Tijdens de zomerperiode, als stuwpeilen waren ingesteld, lagen de drains volledig onder water (0,4 tot 0,9 m). Voor grote oppervlakten in Drenthe, vooral in de beekdalen, is dit principe doorgevoerd. Het had bovendien als voordeel dat er in de drains minder ijzerafzettingen voorkwamen. Door het opzetten van de peilen werd in de zomer ook de kwelafvoer afgeremd (Naarding, persoonlijke mededeling).

In de provincie Drenthe hebben drains in ruilverkavelingen 's zomers structureel onder water gestaan. Eén en ander heeft niet geleid tot klachten over verminderde drainagewerking. Een bijkomend voordeel was zelfs dat er minder ijzerhoudende substanties in de drains werden afgezet.

6.12 Onderzoek aan een poreuze subirrigatie-pijp (1970)

In de Verenigde Staten is veel onderzoek gedaan aan verschillende buismaterialen. Een project van Wilke (1970) lichten we eruit omdat hij het effect van luchtbellen in een buis op de stromingsweerstand heeft gekwantificeerd. Het onderzoek was opgezet om de hydraulische eigenschappen van een buis, gemaakt van een poreuze 'Micro-Por'-wand te meten. In het onderzoek naar effecten van luchtbellen werden in een 20 meter lange, horizontale buissectie verticale golvingen aangebracht met een lengte van twee meter en een hoogte van 15 cm. Via een overstortvat werd het aan de buis toegevoerde debiet geleidelijk opgevoerd. De luchtbellen bleken de waarde van de Darcy-Weisbach wrijvingscoëfficiënt met 50 tot 100% te verhogen. Zodra de lucht uit de buis was verdreven daalde de coëfficiënt tot normale waarden.

Kennelijk is het probleem met lucht in drains ook elders onderkend en is het iets om rekening mee te houden.

Bij de overige proeven legde Wilke de buis onder een hoek van 5% om het verwijderen van luchtbellen te vergemakkelijken.

6.13 Doorlatendheid drainsleuven in de voormalige Lauwerszee (1970-1973)

De bodem op drie terreinen in de voormalige Lauwerszee waar de RIJP drainsleuven heeft bemonsterd bestaat tot beneden draindiepte uit middelfijn, kleiarm zand, met lokaal sliblaagjes. De proefpolder Zuidwal (tegenwoordig Zuidwalbos) is in 1970 gedraineerd. Voornamelijk door het vermoedelijk verstopt raken van omhullingsmaterialen kwamen geleidelijk steeds vaker hoge grondwaterstanden voor. De proefterreinen Lauwersoog en Ballastplaat (tegenwoordig bos) zijn in 1973 gedraineerd en worden sindsdien geïnfiltreerd. Op de drie terreinen zijn in en naast de drainsleuven Kopeckymonsters gestoken, allen vlak boven de drain. In totaal werden 52 waarnemingen verricht. De doorlatendheid boven de drains was in Lauwersoog en Zuidwal gemiddeld 0,25 m/d, en in het ongestoorde profiel buiten de sleuf gemiddeld 1,5 m/d. In Ballastplaat waren deze cijfers 2,1 respectievelijk 0,65 m/d.

De afgenomen doorlatendheid boven de drains wordt geweten aan een toename van de pakking door de structureel hoge waterpeilen.

6.14 Infiltratie via drains in kassen (1973)

Dierickx en Leyman (1973) hebben onderzoek gedaan naar de mogelijkheden tot infiltratie met $\varnothing 40$ mm geribbelde draineerbuizen. Het waren echter kleinschalige experimenten in kassen: de buizen lagen op een afstand van 72 cm en slechts 40 cm diep. Bij intermitterend verstrekken van water (aan witlof) traden geen problemen op. Met tensiometers werden vochtspanningen geregistreerd; er is echter geen onderzoek gedaan naar doorlatendheden van de grond rondom de infiltratiedrains. Er werd wel geëxperimenteerd met verschillende soorten buizen en perforatiepatronen, en ook met diepte- en afstandsconfiguraties. Ben Harrath (1970) heeft een concentrische uitbreiding van het vochtfront vastgesteld.

Van problemen met een slechter wordende doorlatendheid van de grond rond de drains wordt geen melding gemaakt.

6.15 Infiltratieproefveld De Groeve (1973-1984)

In 1972 is door het ICW in het gebied van pompstation 'de Groeve' bij Zuidlaren een 16 ha groot infiltratieproefveld aangelegd. In de omgeving ligt een waterwingebied. Doel van dit proefveld was om te onderzoeken of men door infiltratie via sloten de verliezen van water uit het ondiepe grondwater zou kunnen compenseren. Hierdoor zou de schade aan de landbouw beperkt kunnen worden. In het proefgebied is sprake van kwel.

Het proefveld bestaat voor 70% uit veengronden. De bovengrond wordt gevormd door een ca. 20 cm dikke laag veraard veen. De tweede hoofdgroep bestaat uit moerige gronden (18%) met hier en daar een humuspodzol-B. De moerige gronden komen voor op overgangszones tussen veen- en zandgronden. Deze zandgronden worden voornamelijk als ruggen in het terrein aangetroffen. Het gebied ligt immers in een oud stroomdal van de Hunze met een profielopbouw waar zand- en veengronden een grillig patroon vormen.

In droge perioden bleek per dag maximaal een waterschijf van 3 mm geïnfiltrteerd te kunnen worden (Feddes en Van Steenberg, 1973; Feddes et al., 1976). Omdat het water in eerste instantie alleen via sloten is geïnfiltrteerd en niet via drains, blijft behandeling van dit gedeelte van het onderzoek hier achterwege. Niettemin bleken grote hoeveelheden oppervlaktewater in de ondergrond geïnfiltrteerd te kunnen worden.

Eind 1979 werd, in samenwerking met de toenmalige Landinrichtingsdienst (LD) te Assen, besloten een gedeelte van het proefterrein te draineren en daar onderzoek te verrichten. Het proefterrein werd in twee gedeeltes opgesplitst: gewoeld en geëgaliseerd, en niet gewoeld. Deze twee gedeeltes zijn in 1980 ieder voor de helft gedraineerd, waarbij één van de percelen (ca. 4 ha) is ingericht als infiltratieproefveld. De tien drains bestonden uit 60 mm PVC ribbelbuis met een omhulling van polystyreenkorrels in 'Drakafolie'. Ze waren 150 m lang en lagen op een onderling afstand van 10 m.

De drains lagen horizontaal op een gemiddelde diepte van 1,4 m -mv. In een aantal raaien loodrecht op de drains waren op afstanden van 1 en 5 m piëzometers geplaatst. Hiermee kon op 1,6 en 2 m -mv de stijghoogte worden gemeten. In de drains waren stijgbuizen geplaatst.

Gedurende de periode 1980-1984 is het peil in de collectorsloot opgepompt tot ca. 60 cm boven gemiddeld drainniveau. Elke veertien dagen werden stijghoogten gemeten, en werd de geïnfiltrteerde hoeveelheid water berekend.

De weerstand die het in de grond infiltrerende water ondervindt, bestaat grotendeels uit de uittreeweerstand in de drainsleuf. In 1982 was de hydraulische- en de uittreeweerstand van de drains sterk opgelopen. Dit werd

veroorzaakt door het feit 'dat de drainbuizen totaal dichtgegroeid waren, met zwammen, sponsen en algen' (Van den Eerenbeemt et al., 1984). Er wordt dan ook gewaarschuwd voor de risico's van voedselrijk slootwater met de verstoppende werking van algen.

Begin 1983 zijn de drains 'op een goede manier' doorgespoten. Dit wil zeggen dat de grond eerst in waterverzadigde toestand wordt gebracht door het peil in de collectorsloot tot infiltratiehoogte op te zetten. Hierna wordt de sloot afgelaten, en worden de drains doorgespoten. De drains voeren ruim water af, waardoor de verontreinigingen worden afgevoerd. In voorgaande jaren is de grond niet in waterverzadigde toestand gebracht, met als gevolg dat het ingespoten water onmiddellijk in de grond verdween en de verontreiniging in de buis achterbleef. Onderhoud van drains wordt door auteurs zeer belangrijk geacht. Hiermee staat of valt het succes van infiltratie via drains.

De uittreeweerstand bleek tijdens de meetseizoenen een minimum te bereiken tijdens de periode juli-augustus. Dit wordt door auteurs verklaard door de variatie in viscositeit door de veranderende watertemperatuur.

De infiltratie via drains was, ondanks de problemen, een succes. In het gedeelte van 'de Groeve' waar infiltratie via drains werd gerealiseerd stond het freatisch vlak gemiddeld 50 cm ondieper dan elders. Naar aanleiding van de gunstige resultaten is door de Landinrichtingsdienst in Assen besloten tot de aanleg van drainage/infiltratieproefveld 'Valthermond'.

Infiltratie via sloten in proefveld 'De Groeve' was zonder meer een succes. Van teruglopen van de infiltratiecapaciteit van de sloten, of van de drainerende werking van buisdrains is niets gebleken. In het gedeelte van 'De Groeve' waar infiltratie via drains werd gerealiseerd stond het freatisch vlak gemiddeld 50 cm ondieper dan elders. Onderhoud van drains wordt door auteurs zeer belangrijk geacht. Hiermee staat of valt het succes van infiltratie via drains.

6.16 Subirrigatie op gemengwoelde veengrond, Engeland (1974-1975)

De Field Drainage Experimental Unit, die in de jaren zeventig en tachtig in Engeland van de vorige eeuw zeer actief was, heeft onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van subirrigatie in de buurt van Cambridge. Twee percelen moesten gedraineerd worden. De profielopbouw was als volgt: aan maaiveld een dunne venige laag en daaronder een vrij zware grond (lemig zand tot lichte klei). Het profiel werd tot halverwege draindiepte gemengwoeld, en de percelen werden als proefveld ingericht. Het doel van het onderzoek was (onder meer) het nagaan van de mogelijkheid van subirrigatie op dit soort gemengwoelde percelen met drains, en het belang van het gebruik van grindomstortingen (ADAS, 1973). De drains werden in 1971 geïnstalleerd op afstanden van 10 en 20 m. De gemiddelde draindiepte was 1,2 m, en de buisdiameter was 70 mm. Sommige sleuven werden gedeeltelijk opgevuld met een grindlaag die tot in het gemengwoelde gedeelte stak.

Al snel bleek dat de drainage niet goed functioneerde. Om de oorzaak op te sporen werden op vier plaatsen nabij de drains 25 piezometers plus een waterstandsbuis in de buis geplaatst. Op deze manier konden in horizontale en verticale richting drukgradiënten worden gemeten. De drains werden benedenstrooms afgesloten, waarna de percelen werden berekend tot de grondwaterstand vlak onder maaiveld stond. Vervolgens werden de afsluiters geopend, en grondwaterstanden en afvoeren gemeten. Gedurende de eerste 36 uur werd 90% van de afvoer gerealiseerd door de drains, voorzien van grind in de sleuf. Vervolgens werd gedurende één maand geprobeerd de drains te gebruiken voor subirrigatie, onder meer om te proberen de werking van de matig presterende drains te verbeteren. Deze poging mislukte.

De piëzometers duiden aan dat de grootste drukhoogteverliezen vlakbij de drains werden gerealiseerd (ADAS, 1973, 1974, 1975). Later zijn drains opgegraven. De problemen bleken te zijn veroorzaakt door ijzerverstoppen (Dennis, 1978).

6.17 Gecombineerd drainage/infiltratiesysteem in South-Carolina (USA) (1975)

In het begin van de jaren zeventig van de vorige eeuw begon in de 'Coastal Plains' in de Verenigde Staten bezorgdheid te ontstaan over de te intensieve drainage, vooral in zandgronden. In sommige gevallen vielen de gewasopbrengsten sterk tegen; de oorzaak was verdroging. In een proefveld met verdrogingsgevoelige grond is toen geëxperimenteerd met regelbare drainage waarbij de grondwaterstand werd geregeld door manipulatie van het waterpeil in de aan/afvoersloot (Doty et al., 1975). Hiervoor werd in een $\varnothing 90$ cm duiker een schot geplaatst. De drains lagen 1,2 m -mv diep met een drainafstand van 40 m. De waterstand in de sloot werd permanent gehandhaafd op 0,8 m -mv; de drains lagen dus permanent onder water. Op draindiepte was de grond lemig, met een lutumgehalte van 12%, en 80% fijn zand, en goed-doorlatend. Boven de drains was de grondwaterstand nagenoeg constant; de grootste fluctuatie trad op midden tussen de drains.

Het effect van het verhoogde waterpeil in de sloot werkte tot op een afstand van 275 meter in de grondwaterstand door. Over een afname van de doorlatendheid van de grond rond de drains wordt niet gesproken.

Met uitzondering van enkele dagen in 1977 werd met dit zogenaamde CD-SI (=Controlled-Drainage/Subirrigation) systeem gedurende drie jaar water geïnfiltreerd. De irrigatiebehoefte was in 1975, 1976 en 1977 respectievelijk 380, 260 en 220 mm, en het CD-SI-systeem leverde 410, 260 en 220 mm water. Doty et al. (1986) bespreken het ontwerp, gebruik en onderhoud van CD-SI systemen.

Regelmatig en goed onderhoud wordt zeer belangrijk geacht.

In een vergelijkbaar onderzoek, uitgevoerd in iets zwaardere gronden, was men niet in staat om de gewenste grondwaterstanden via subirrigatie in stand te houden, zelfs niet wanneer de stijghoogte van het aangevoerde water tot boven maaiveld werd opgevoerd.

De oorzaak was niet duidelijk, maar wellicht speelde de slechte doorlatendheid van de grond een rol (Doty en Parsons, 1979).

6.18 Infiltratie in het noordwestelijk deel van oostelijk Flevoland (1975-1976)

In de zomers van 1975 (incidenteel) en 1976 zijn in het noordwestelijk deel van Oostelijk Flevoland, waar het bodemprofiel vrij licht is, voor kortere of langere tijd de kavelsloten volgepompt met water om de vochtvoorziening van de gewassen op peil te houden. Getracht werd om via de drains effectief te infiltreren. Het waren gladde PVC-buizen en kleibuizen met en zonder kraag; in alle gevallen afgedekt met turfmoel. Het was al bekend dat infiltratie op dit soort gronden nadelige gevolgen zou kunnen hebben voor de werking van de drains, door een toenemende intreeweerstand, inspoeling van zand, verminderde doorlatendheid van de drainsleuf etc. De vraag was echter of dat dermate ernstig zou zijn dat de ontwateringstoestand merkbaar nadeling zou worden beïnvloed. Ter controle zijn daarom in de winterperiode 1976-1977 op een aantal kavels grondwaterstanden en afvoeren gemeten. Op een tweetal kavels bleek de drainage onvoldoende te functioneren. Op enkele andere onderzochte kavels was de ontwatering voldoende tot goed te noemen.

In de winter van 1977-1978 zijn, na een zomer waarin niet is geïnfiltreerd, op dezelfde kavels weer identieke waarnemingen verricht. De drainage die de voorgaande winter onvoldoende functioneerde bleek belangrijk te zijn verbeterd. Op de andere kavels, waar de ontwatering in de winter 1976-1977 voldoende was, viel een geringe verbetering te bespeuren. In het voorjaar van 1979 zijn op de twee kavels waar de drainage in 1976-1977 onvoldoende functioneerde enkele drains opgegraven. Verslemping van de grond in de drainsleuven kon op het oog niet worden waargenomen. Wel werd veel afzetting van, soms verkitte, ijzeroxide in en om de drains aangetroffen. Dit kan een sterke belemmering zijn voor de waterbeweging in en naar de drains, vooral wanneer tijdens de zomer de grond rond de drains en de colloïdale ijzerneerslagen niet kan indrogen, zoals bij infiltratie het geval is.

De conclusie van de auteurs is dat voorzichtigheid bij infiltratie geboden is (Rozendaal en Scholten 1980). Mede gezien de ervaringen die eerder werden opgedaan in het infiltratiegebied nabij Ens in de Noordoostpolder (De Roo, 1962; project 5).

6.19 Functioneren van buisdrainage op komgrond in de Tielerswaard (1977)

De in de Tielerswaard-west voorkomende rivierklei is (zeer) zwaar: het lutumgehalte bedraagt minstens 35%. Tussen 1961 en 1968 is hier buisdrainage aangelegd in de vorm van enkelvoudige en samengestelde systemen en bestaande uit gebakken buizen (50%) en gladde kunststof buizen (50%). De drains werden gelegd in een goed-doorlatende ondergrond, op ca. 1 meter diepte en met een drainafstand van 20 à 25 m. Het zomerpeil werd gehandhaafd op ca. 80 cm -mv, en het winterpeil op ca. 120 cm -mv. In theorie monden de drains (van de enkelvoudige systemen) alleen gedurende de winter vrij boven de waterspiegel uit. In de praktijk bleek echter dat ongeveer 30% van de eindbuizen permanent onder water lag en bij zomerpeil ruim 60%.

Al snel na de aanleg kwamen er klachten over de slechte ontwatering. De wateroverlast bleek in belangrijke mate veroorzaakt te zijn door slecht onderhoud. Van de drainages bleek ruim de helft niet te functioneren, omdat de eindbuis was vernield of verdwenen, of geen goede aansluiting meer had. Vermoedelijk speelden luchtinsluitingen in drains ook een rol. Bovendien bleek dat er sprake was van ijzerverstopping: **doorspuiten bleek spectaculaire resultaten te geven**. Plassen ter grootte van 1000 m² waren 1 à 2 dagen na het doorspuiten verdwenen (Van Hoorn en Bouma, 1981).

Bouma et al. (1981) hebben onderzocht in hoeverre het slechte functioneren van de drainage in de Tielerswaard geweten kan worden aan een slechte doorlatendheid van de drainsleuf. Zij deden dit door het bemonsteren van ongestoorde volumes grond rond drainbuizen. De orde van grootte van de doorlatendheid bedroeg echter 5 à 10 m/d: ruim voldoende voor de grond rond de drain. Dergelijke waarden kunnen geen hoge radiale- of intreeweerstanden veroorzaken.

Er konden geen significante verschillen worden vastgesteld tussen doorlatendheden onder en boven de drain (i.c. sleuf en ongestoorde ondergrond). Ook niet tussen drainages, die recentelijk waren aangelegd en drainages die al vijftien jaar oud waren. Het opzetten van slootpeilen heeft in de Tielerswaard dus niet geleid tot een zodanige achteruitgang van de doorlatendheid van de drainsleuf dat de drainage onwerkzaam werd.

Het onderzoek in de Tielerswaard betrof gebakken buizen (klei) en gladde plastic buizen. In hoeverre het buistype invloed heeft op de resultaten van de proeven is niet bekend. De buizen werden slechts gedurende korte perioden onder water gezet; nooit langer dan enkele maanden achtereen. Over eventuele nadelige effecten op lange termijn geven deze proeven daarom geen uitsluitsel. Op de lange termijn staat het water in de drains langere tijd stil, en dan kunnen zich allerlei verstoppende substanties aan de buiswand hechten. Op termijn kan dan sprake zijn van een negatief cumulatief effect (Van Hoorn, persoonlijke mededeling).

6.20 Doorlatendheidsonderzoek drainsleuven door de Drainage Contact Groep (1981)

In ons land zijn de ontwikkelingen in de drainage lange tijd begeleid door de zogenoemde Drainage Contact Groep (DCG). De meeste leden van de DCG waren in diverse provincies werkzaam bij provinciale Afdelingen Onderzoek van de Landinrichtingsdienst (LD), die ook de voorzitter leverde. Daarnaast was een drainagespecialist van het ILRI lid van de DCG, en één van het ICW (tegenwoordig Staring Centrum-DLO). In DCG-verband werd tussen 1978 en 1981 aandacht besteed aan het probleem van drains onder water. De problemen worden beschreven in drie notities, waarover uitvoerig is gediscussieerd (DCG 1978a, 1978b, 1980).

In de DCG ontstond bezorgdheid over mogelijke ongewenste neveneffecten op de ontwaterende werking van drainage door het opzetten van slootpeilen voor beregening. Ook toen was over dit probleem weinig bekend en bleek men slecht op de hoogte van het tot dan toe verrichte onderzoek. De tweede notitie (DCG, 1978b), destijds opgesteld door Busser, Koenraadt en de Jong (LD) bevat onvolledige, maar nuttige informatie, die hier kort wordt samengevat.

Met bewuste infiltratie van slootwater via drains kan in vrij grofzandige, weinig slib bevattende ondergronden (bijvoorbeeld in de Biesbosch), of bij toepassing van veel omhullingsmateriaal (bijvoorbeeld in de Noordoostpolder) een goed resultaat worden verkregen. Een infiltratiesysteem in de Biesbosch werkt naar tevredenheid van de gebruiker, zij het dat er sprake was van sterke van zandinspoeling. In de Callandpolder (Zeeland) wordt met succes brak water geïnfilterd (grofzandig zeezand, $\varnothing 6$ cm buis met turfcofosomhulling, infiltratiesnelheid 12-14 mm/d). In Noord-Brabant wordt, ten oosten van de lijn Dinteloord-Roosendaal water ingelaten in ca. 50 000 ha rivier- en zeekeigronden.

Tussen mei en oktober ligt hier 25% van de drains beneden slootpeil. Er is geen sprake van klachten. Vanuit deze veldervaringen kan een min of meer optimistisch gezichtspunt worden ingenomen. Op veel plaatsen liggen drains 's zomers al onder water zonder dat er klachten komen van grondgebruikers. Dit in tegenstelling tot draineren onder ongunstige omstandigheden, wat vaak tot slechte resultaten leidt. De wijze waarop instabiele gronden mechanisch worden belast en/of bevochtigd speelt kennelijk een belangrijke rol.

Problemen met de ontwaterende functie worden vooral verwacht op zwak-cohesieve gronden met lage structuurstabiliteit. De aandacht richt zich daarom vooral op zavelgronden en kleigronden met lichtere ondergrond, met een lutumgehalte, op drainniveau, van 10-16%. Deze gronden komen voor in het rivierengebied, de Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden, westelijk Noord-Brabant, Noord-Holland, Friesland en Groningen.

Drainages, aangebracht in gereduceerde zavelgronden, geven vaak aanleiding tot klachten. In zavelgebieden met goed werkende drainages, waar drains in de zomer onder water liggen, komen echter niet veel klachten voor. In geoxideerde zaveln vermindert de doorlatendheid bij hoge zomerslootpeilen kennelijk niet.

In een provisorisch onderzoeksvorstel van Busser, Koenraadt en de Jong wordt gesuggereerd om te beginnen met het visueel inspecteren van 'de situatie op drainniveau'. Hierbij zouden onderzocht moeten worden: grondsoort, sleufvulling, drainagemateriaal, inspoelingen, waterstanden, de periode dat drains onder en boven de waterspiegel liggen, etc. Dit zou moeten gebeuren bij drains die al (periodiek) onder water liggen, en geïnstalleerd zijn in zwak-cohesieve gronden. Het gaat dan voornamelijk om kwelgebieden en wateraanvoergebieden. Eventueel zou aanvullend laboratoriumonderzoek moeten plaatsvinden. Men vermoedt dat dit onderzoek omvangrijk en tijdrovend wordt (vijf jaar). Het voorstel wordt niet concreet uitgewerkt. In laatste instantie zou onderzoek kunnen worden gedaan volgens de 'kubusmethode' volgens Bouma, zoals op dat moment - begin jaren tachtig - in de komgronden werd uitgevoerd (Bouma et al., 1981).

Op 28 januari 1981 hield de Drainage Contact Groep een bespreking (DCG, 1981). Doel van deze bespreking was meer inzicht te krijgen in de wenselijkheid van onderzoek naar zandinspoeling en vermindering van de doorlatendheid van de drainsleuf bij relatief hoge slootpeilen. Vooral op de lichte zavelgronden in Noord-Brabant, de ruilverkaveling Zevenbergen en ook bij andere ruilverkavelingen werden bij hoge slootpeilen problemen met de drainage verwacht. Voor Zuid-Holland gold dit voor Flakkee, terwijl voor Zeeland een potentieel probleemgebied ter grootte van ca. 25000 ha werd geschat. De problemen speelden overigens ook bij de studie 'Grevelingen zout of zoet'. Bij deze studie is een antwoord op de vraag of wateraanvoer middels drainagesystemen tot de reële mogelijkheden behoort, van grote betekenis. De diverse onderzoeken die door B. van der Weerd (ICW) in het zuidwesten van ons land naar de effecten van hoge zomerpeilen op de gewasopbrengst waren uitgevoerd, hadden nog niet tot eenduidige conclusies geleid.

Men was het er over eens dat een onderzoek naar de doorlatendheid van drainsleuven bij hoge slootpeilen zeer wenselijk was. Gezien het stadium van uitvoering was de ruilverkaveling Zevenbergen het meest urgent. Het onderzoek zou moeten worden uitgevoerd analoog aan het onderzoek volgens de 'kubus-methode' (Bouma et al., 1981). Geschikte percelen bevonden zich op het drainage-proefveld 'Zonzeel': de hier voorkomende profielen komen redelijk goed overeen met die in Zeeland en Zuid-Holland. Op 9 maart 1981 werd de onderzoeksopdracht aan de Stiboka verleend. De kosten, groot f9750 (€ 4425), werden betaald uit het budget van de DCG.

Het onderzoek werd in april 1981 uitgevoerd op het drainageproefveld 'Zonzeel' in de Arenbergpolder ten zuiden van Moerdijk, vlakbij de A16 Breda-Dordrecht. Dit proefveld was aangelegd om de structuur en de doorlatendheid van zavelgronden te onderzoeken boven en naast drains, gelegd door verschillende typen draineermachines (Jager en Kamping, 1975; Cultuurtechnische Dienst, 1973).

Het proefveld 'Zonzeel' bestaat uit twee percelen. Op het ene perceel is een drainagesysteem onder slechte omstandigheden aangelegd, en op het andere onder goede omstandigheden. Op beide percelen zijn vier drainsecties plus omringende grond zo goed mogelijk ongestoord bemonsterd, conform de door Bouma et al. (1981) in de Tielerwaard gevolgde procedure.

De 'grondkubussen' werden ter plekke langs vijf zijden met een laag gips bekleed. Aan elke kubus is de verzadigde doorlatendheid van de grond boven en onder de drain bepaald. Dit werd gedaan door water op een onbedekte zijde van de kubus te gieten en te meten hoe snel het water de kubus grond via de draineerbuis verlaat. In het laboratorium is gemeten hoe het water door de grond stroomt: door een beperkt aantal macroporiën, of door de gehele grond.

Op grond van de resultaten werd geconcludeerd dat de doorlatendheid van de grond rond de drain in het perceel met hoge zomerslootwaterstanden niet is verlaagd. Het accent lag daarbij op de grond onder de drain, omdat de structuur in de drainsleuf ook van vele andere factoren afhankelijk is.

Aangenomen dat de hogere slootwaterstand inderdaad geen effect heeft op de verzadigde doorlatendheid in de grond rond de drain rijst de vraag of dit te verklaren valt. Hierbij is de constatering van belang dat in zavelgronden de snelheid van bevochtiging een belangrijke rol speelt bij het bepalen van de structuurstabiliteit. Bij onderzoek aan soortgelijke zavelgronden in de Haarlemmermeer vond Bouma (1969) dat de structuur van zavelgronden bij langzame bevochtiging goed stabiel bleef. Het blootstellen aan regen op onbedekte grond, of het onderdompelen van aggregaatjes in water leidde daarentegen tot complete verslemping. Bij een meer geleidelijke bevochtiging, in situ, trad weinig verslemping op.

De conclusie is dat er concrete aanwijzingen zijn dat hoge slootwaterstanden niet noodzakelijkerwijs leiden tot lagere doorlatendheden van de grond rond de drains. Aanvullende metingen op andere plaatsen in het

zuidwestelijk zeekleigebied lijken echter gewenst alvorens deze conclusie kan worden gegeneraliseerd (Bouma en Stoffelsen, 1981).

6.21 Infiltratie-praktijkproef Kapelle (1983 - 1984)

In de periode januari 1983 tot september 1984 zijn in Zeeland praktijkproeven gehouden om na te gaan in hoeverre water via putten in de ondergrond geïnfiltreerd zou kunnen worden. Deze proeven werden gehouden binnen het 'Innovatieproject Zoetwateronderzoek Zeeland' (Mann, 1985). De putten bestonden uit 15 m lange PVC-filters. De bovenkant van de filters bevond zich 9 m onder het maaiveld. De filters werden omstort met filtergrind. De putten vergden veel onderhoud. De grindfilters moesten wekelijks worden teruggespoeld en de putten moesten regelmatig worden geregenereerd. **De verstoppingen werden vermoedelijk veroorzaakt door in het water zwevende kleideeltjes en neerslag van ijzerverbindingen.** Ook het meevoeren van luchtballen kan een rol hebben gespeeld. De verstoppingen werden in de loop van de infiltratieperiode steeds ernstiger, en het effect van regeneratie nam geleidelijk af (Mann, 1985). De gemeentewaterleiding van Amsterdam heeft overigens ook veel ervaring met verstopping van infiltratieputten. De problemen zijn analoog.

6.22 Drainage-infiltratieproefveld Valthermond (1983-1988)

Eind 1983 heeft de Landinrichtingsdienst in Valthermond een proefveld aangelegd met als doel het testen van verschillende typen drainage omhullingsmaterialen. Men wilde nagaan hoe de ontwaterende werking van drainagesystemen zich met de tijd ontwikkelde, afhankelijk van het type omhullingsmateriaal en het al dan niet infiltreren van oppervlaktewater via de drains. Er werden zowel 'dunne' (Cerex, Typar, Big 'O'-kous) als 'volumineuze' (cocos, polypropeen, polystyreen) omhullingsmaterialen onderzocht. De drainafstand was 20 m, en de 75 m lange drains werden horizontaal geïnstalleerd. Drains, omwikkeld met polystyreenkorrels en Big 'O' kous werden ook op een drainafstand van 10 m gelegd, om het effect van een geringere drainafstand op de infiltratiecapaciteit te onderzoeken. De draindiepte varieerde van 1,1 tot 1,2 m -mv.

Tijdens de winter lagen de eindbuizen van de drains ca. 5 cm boven water. Bij zomerpeil lagen de eindbuizen onder water. Bij de proeven met subirrigatie lagen de eindbuizen gemiddeld 30 cm onder water.

Voor het vaststellen van drukhoogten werden de drains voorzien van stijgbuisjes. Midden tussen de drains werden grondwaterstandsbuizen geplaatst met filters tussen 1 en 2 m -mv; het was niet mogelijk vast te stellen waar de grootste drukhoogteverliezen optraden. De tijdens subirrigatie geïnfiltreerde hoeveelheid water werd afgeleid uit pompdebieten. Aan de eindbuizen werden alleen tijdens de winterperiode debieten gemeten. De metingen tijdens subirrigatie begonnen tijdens de zomer van 1984. Er werd ook gemeten in 1986 en 1987. De werking van de drains (Q/h-relatie) werd onderzocht tijdens de winters van 1986-1988.

Gedurende de meetperiode bleek de werking van de drains gekoppeld te zijn aan de dikte van de gebruikte omhullingsmaterialen. De werking van drains, omwikkeld met 'dunne' materialen bleek na verloop van tijd te verslechteren (een toename van 19 tot 80%); die van de overige drains niet. De drainageweerstanden van drains, omwikkeld met 'dunne' materialen waren gemiddeld enkele malen hoger dan die van de andere drains.

De infiltratieweerstanden vertonen hetzelfde beeld als de drainageweerstanden, al waren zij in het algemeen 10 à 20% hoger. Het is niet duidelijk in hoeverre het subirrigeren effect heeft gehad op de resultaten. Men heeft geen poging gedaan de gemeten verschillen te verklaren (Dreise et al., 1988).

Tussen 1984 en 1988 werden metingen verricht aan grondwaterstanden, en er werden drainage- en infiltratieweerstanden berekend. Deze laatste waren bijna altijd groter dan de drainageweerstanden, vooral bij dunne omhullingsmaterialen. Het effect van subirrigatie op de vastgestelde werking van de drains is onbekend.

6.23 Subirrigatie van pinda's in de Verenigde Staten (1985)

In het grensgebied tussen Virginia en North Carolina in de Verenigde Staten worden pinda's verbouwd, en het areaal groeide destijds snel. Beregening was populair, maar men was benieuwd of men ook water kon infiltreren via bestaande drainagesystemen, omdat dit veel goedkoper is. Een bestaand drainagesysteem op een 3,2 ha groot perceel, bestaande uit een collectorbuis en vijf drains, werd voor subirrigatie ingericht. De drainafstand was 34 meter en de draindiepte varieerde van 0,8 tot 1,3 meter. Verdere gegevens over bodemtype, buisdiameter en dergelijke ontbreken.

Gedurende drie jaar is met succes water geïnfiltreerd. De grondwaterspiegel kon, ondanks wegzijging in het lager gelegen gedeelte van het perceel gehandhaafd worden op 50 tot 100 cm beneden het maaiveld. Van verdroging was, in tegenstelling op de omringende percelen, geen sprake (Wright en Adamsen, 1987).

6.24 Vochtleverantie door subirrigatie in Georgia (USA) (1985)

De 'Georgian Flatwoods' beslaan een groot areaal waar door de aanleg van drainage een einde kwam aan de jaarlijkse wateroverlast. In dit gebied bevinden zich veel zandige profielen met een beperkt vochtleverend vermogen. Hierdoor was, met de introductie van de drainage, tijdens de zomer een verdrogingsprobleem gecreëerd. Vandaar dat een proefveld is aangelegd, waar de drainage voor subirrigatie-doeleinden is gebruikt. Er werden drie gewassen geteeld: blauwe bosbessen, maïs en sojabonen. Het proefveld besloeg 40 ha en er werden vele metingen verricht.

De vochtleverantie was in alle gevallen voldoende. Er was dus kennelijk geen sprake van problemen met waterkwaliteit en de doorlatendheid van de grond rond de drain.

6.25 Meting van drukhoogteverliezen bij subirrigatie in Québec (1986)

Gedurende de zomer van 1985 zijn op een proefveld in het zuiden van Quebec drukhoogteverliezen gemeten in en nabij drains die voor subirrigatie werden gebruikt. Op het proefveld lagen twee ribbeldrains met gebreide polyester kous als omhullingsmateriaal (Big 'O'). Deze drains waren 148 m lang, lagen op een onderlinge afstand van 29 m en 1,2 m diep. De grond op draindiepte was een 'sandy loam'. Voor de metingen werden op elke drain, op vier locaties, waterstandsbuisjes geplaatst, en ook piezometers op draindiepte, en op 5, 10, 20, 40 en 100 cm vanaf de drain. Gemeten werden de stromingsweerstand in de buis, de uittreeweerstand, veroorzaakt door de buisperforaties en de polyester kous, en de radiale weerstand. De afmetingen van de perforaties waren $6,6 \times 1$ mm.

Er werd vastgesteld dat de uittreeweerstand meer dan 75% van het totale drukhoogteverlies veroorzaakte. De oorzaak moet gezocht worden in de kwaliteit van het irrigatiewater. Bournival et al. (1986) concluderen dat effectief filtreren van irrigatiewater doorslaggevend is voor het succes van subirrigatiesystemen. Davenport en Skaggs (1990) constateerden ook dat de slechte kwaliteit van subirrigatiewater dat uit een sloot werd gepompt een van de oorzaken was voor toegenomen drukhoogteverliezen nabij de drains.

6.26 Drainageproefveld Staverense Noordermeer (1986-1996)

In 1986 is in de Noordermeer-polder, gelegen tussen Stavoren en Molkwerum, een proefveld aangelegd. De bedoeling was onder meer om na te gaan hoe een drechtvaaggrond met ijzerrijke en zoute kwel gedraineerd zouden kunnen worden, en wat voor moeilijkheden verwacht zouden kunnen worden. De kavels liggen in grasland. Er werd de volgende buizen geïnstalleerd: Ø80 mm kale PVC buis en Ø60 mm PVC buis met omhullingsmaterialen polypropeen 'A' (O_{90} : 450 μm); cocosvezel (O_{90} : 1200 μm) en polystyreenkorrels in net (O_{90} : 1000 μm).

Alle buizen liggen horizontaal. De helft van de drains ligt permanent onder water; deze zijn 30 cm dieper geïnstalleerd dan de drains die normaal boven het slootpeil uitmonden. De ontwateringsbasis is bij beide varianten echter gelijk gemaakt door de diep liggende uitmondingen te voorzien van een zogenaamde 'zwanenhals', die de uitmonding 'boven het slootpeil haalt'. Bij de drains die onder slootpeil liggen en die via de zwanenhals boven slootpeil uitmonden is infiltratie niet mogelijk.

Er is onderzocht welke factoren invloed hebben op de duurzaamheid (i.c. levensduur en onderhoudsbehoefte) van het drainagesysteem:

- het omhullingsmateriaal;
- het boven of onder het slootpeil laten uitmonden van eindbuizen;
- de mate van drainonderhoud (doorspuiten).

De drains zijn onderling niet op functioneren vergeleken. Onderlinge verschillen werden niet relevant geacht omdat deze ook door andere factoren (verschillen in bodemopbouw, doorlatendheid, kwelintensiteit) veroorzaakt kunnen worden. De resultaten tot 1 januari 1994 kunnen als volgt worden samengevat (Huinink, 1991).

1. De onder water liggende en met polystyreenkorrels in net omhulde buizen functioneerden het best; de boven water liggende en met cocosvezel omhulde buizen het slechtst.
2. De eerste drie jaar na aanleg zijn hoge intreeweerstand gemeten.
3. Er is geen significante relatie tussen intreeweerstand en drainerende werking.
4. Doorspuiten leidde niet tot merkbare verandering van de drainerende werking. De effecten waren meestal van zeer tijdelijke aard (enkele weken), en hebben wellicht te maken met het verwijderen van luchtinsluitingen en het uitspuiten van opgehoopte ijzernerslagen in de buis. Omhullingsmaterialen en drainsleuven zijn er wellicht niet mee schoongespoeld. *De conclusie is dat doorspuiten weliswaar niet schaad, maar het baat evenmin, afgezien van tijd- en geldverspilling.*
5. De plaats van uitmonding van de drains (boven of onder het slootpeil) had geen significant effect op het functioneren.
6. Het type omhullingsmateriaal had geen significant effect op het functioneren.
7. Het onder water uitmonden van drains had een gunstig effect op de (zichtbare) mate van vervuiling.
8. Bij drainage onder water kan ijsvorming schade toebrengen aan de eindbuizen.

6.27 Subinfiltratie in proefgebied de Veenkampen (1986-1990)

'De Veenkampen' is een proefgebied dat medio de jaren tachtig van de vorige eeuw is ingericht. Het gebied is 12 ha groot en ligt in het laagste gedeelte van het Binnenveld, tussen Rhenen, Bennekom en Wageningen. Op het proefveld werd door de Vakgroep Waterhuishouding van de Landbouwuniversiteit onderzocht welke waterbeheersingsmaatregelen, en welk beweidings-, of maaibeleid leidt tot een regeneratie van de blauwgraslandvegetatie. In het gebied komen o.a. eerdveengronden, rauwveengronden en vaaggronden voor. In het gebied is uitvoerig water geïnfiltreerd via sloten, en ook via drains. Het omhullingsmateriaal is vermoedelijk cocos. De drains staan al jarenlang nagenoeg permanent onder water. De waterkwaliteit is erg

goed door de hoge kwelintensiteit. Het water in de sloten is dan ook glashelder, behalve na intensieve neerslag, wanneer er sprake kan zijn van oppervlakkige afstroming.

Ook nu nog is het opzetten van slootpeilen te merken aan stijgende grondwaterstanden; na ca. 12 jaar kan via de drains nog steeds geïnfiltreerd worden. Het wordt belangrijk geacht om het slootpeil eens per jaar flink te laten zakken, zodat de drains goed water kunnen afvoeren. Hiervan wordt een zelfreinigend effect verwacht (Van der Schaaf, persoonlijke mededeling).

6.28 Conferentie over subirrigatie en regelbare drainage in de USA (1991)

In augustus 1991 is in Michigan (USA) een driedaagse internationale conferentie gehouden over subirrigatie en regelbare drainage (Belcher en D'Itri, 1995). Er werden 29 papers gepresenteerd. **Gebleken is dat infiltratie via drains met succes is toegepast in China, Finland, de Verenigde Staten, Canada en in ons land. Bovendien worden er geslaagde experimenten uitgevoerd in Frankrijk (rond Bordeaux), Maleisië en in Nieuw Zeeland (Skaggs, 1998).** Een greep uit interessante bevindingen volgt hieronder.

Geohring et al. (1995) hebben proeven gedaan met subirrigatie in de staat New York (USA). De grond was zwaar: op draandiepte was meer dan 80% van de bodemdeeltjes kleiner dan 16 μm . De verzadigde doorlatendheid op draandiepte was kleiner dan 0,3 m/d. De $\varnothing 10$ cm drains werden, zonder omhullingsmateriaal, geïnstalleerd op 90 cm diepte en op een onderlinge afstand van 6 m.

De doorlatendheid van de grond bleek te gering voor succesvolle infiltratie vanuit de buizen. Nauwkeurige metingen zijn echter niet verricht.

Chieng en Hughes-Games (1995) hebben in British Columbia (Canada) onderzoek gedaan naar het effect van subirrigatie op de fysische eigenschappen van de grond (lichte kleigrond). Het systeem bestond uit $\varnothing 10$ cm PE-drains, geïnstalleerd op 1,1 m diepte en een afstand van 14 m. Er was sprake van drie scenario's, uitgevoerd tussen 1983 en 1990:

- altijd drainage;
- drainage en subirrigatie tot een grondwaterstand van 60 cm -mv;
- drainage en subirrigatie tot een grondwaterstand van 30 cm -mv.

De doorlatendheid van de grond, en de bergingscoëfficiënt ('drainable porosity') bleken allebei omgekeerd evenredig te zijn met de mate van subirrigatie. Deze effecten worden wellicht veroorzaakt door transport en depositie van fijne bodemdeeltjes.

In Chieng et al. (1987) wordt gemeld dat subirrigatie met succes is toegepast, maar dat dit niet in de gewasopbrengsten te merken was.

Rands en Dennis (1995) hebben in de buurt van Cambridge (Engeland) een experiment uitgevoerd om de geschiktheid van drains voor subirrigatie te onderzoeken. Het was veengronden met klei-, en leemlagen op draandiepte, met een doorlatendheid van 0,4 m/d (mediaanwaarde). Het grootste probleem werd veroorzaakt door ijzernerslagen. Deze kwamen voor in buis, perforaties en op de overgang tussen de sleuf en de ongestoorde grond. Bij gebruik van grindomstortingen werden de meeste neerslagen in het grind aangetroffen. Pogingen om de drains met chemische en mechanische technieken te reinigen (behandeling met zwaveldioxide, doorsteken en doorspuiten) hadden nauwelijks effect (zie ook project 14).

Susanto en Skaggs (1995) hebben in North Carolina (USA) veldonderzoek gedaan naar de oorzaken van drukhoogteverliezen nabij drains. Het proefveld besloeg 14 ha; er lagen 101 drains op 1 m diepte. Rond de drains werden grondwaterstandsbuizen en piezometers geïnstalleerd. De grondwaterstandsbuizen waren geperforeerd tot 15 cm onder het maaiveld. Zij werden boven de drains, en aan weerszijden op 30 en 60 cm afstand van de drain aangebracht. De onderkant van de grondwaterstandsbuis boven de drain bevond zich ca. 5 cm boven de drain. In de drains werden stijgbuizen gezet. Piezometers werden geïnstalleerd op 5, 15 en 25 cm boven de drain; twee op elke diepte. Er werd wekelijks gemeten, inclusief drainafvoeren.

Uit de gemeten grondwaterstanden en stijghoogten blijkt dat de meeste stromingsweerstand zich binnen een straal van 5 cm vanaf de drain bevindt.

6.29 Anti-verdrogingsmaatregelen Waterschap De Drie Ambachten te Terneuzen (1992)

Sinds 1992 experimenteerde dit toenmalige waterschap met anti-verdrogingsmaatregelen in verdrogingsbestrijdingsprojecten, waarbij slootpeilen worden opgezet. Binnen ruilverkavelingen zijn bepaalde gebieden destijds te rigoureus gedraineerd. Men voerde de peilen langzaam op en keek hoever men hierbij kan gaan. De belangrijkste feiten zijn de volgende.

De infiltratie wordt uitgevoerd op 'oud land': dit zijn zandige gebieden waar ook lichte zavelvorkomen; geen klei.

1. De gebieden liggen tussen Hoek en Philippine (westelijk van het Kanaal van Gent naar Terneuzen) en ten zuiden van de kern Axel (oostelijk van het Kanaal van Gent naar Terneuzen).
2. De drains liggen op 1,5 m -mv met drainafstanden tussen 10 en 15 m. De drains liggen vrij diep omdat de kavelsloten diep zijn. De drainlengte bedraagt maximaal 400 m. De drains zijn ca. 20 jaar oud, en omwikkeld met cocosvezel.
3. De ca. 50 m brede strook grond die aan de sloten grenst heeft een naar de sloot aflopende maaiveldsligging. Omdat de drains 'met het maaiveld meelopen' lopen meestal alleen deze laatste 50 m drain onder. In sommige gevallen staat echter de gehele drain onder water.
4. Er zijn peilbuizen geplaatst in raaien, loodrecht op de sloten, midden tussen de drains.
5. Het effect van de peilverhogingen is, bij grofzandige ondergronden, tot 400 m vanaf de sloot merkbaar; er vindt dus veel infiltratie via de drains plaats. Is de ondergrond meer gevarieerd dan bedraagt de maximale afstand 200 m. Meestal is het grondwaterpeil na ca. 14 dagen 'op niveau'.
6. De peilen worden opgezet zodra er gezaaid is, en wordt het gehele groeiseizoen hoog gehouden. De eindbuizen staan tot 30 cm onder water.
7. Het waterschap verkeert in de gunstige positie dat men gemakkelijk water kan aanvoeren. Het water komt uit België. Het chloridegehalte is, naar Zeeuwse maatstaven, laag; het fosfaatgehalte redelijk.
8. De aanvoer naar Philippine gebeurt via de Braakmankreek, die zijn water onttrekt uit een, in België gelegen en ca. 20000 ha groot, hoger gelegen gebied. Het water voor Axel wordt aangevoerd via de Moerspuise watergang en komt uiteindelijk ook uit België; een hoger gelegen gebied van ca. 6.000 ha.
9. Het water wordt met elektromotoren opgepompt. De stichtingskosten waren veel hoger dan de energiekosten, vooral in poldergebieden (aanleg elektriciteitsleidingen).
10. Men heeft geen problemen met zwevende substanties in het water als algen, plantenresten en dergelijke, die de drains op den duur inwendig zouden kunnen verstopen. Dat komt wellicht omdat men er voor zorgt dat het water in de aanvoersloten blijft stromen. 'Je moet doorpompen en het water in beweging houden'. Men heeft geen klachten, dus zal er van verstopping waarschijnlijk geen sprake zijn.
11. De boeren zijn enthousiast over de peilverhogingen. Men wil nog hogere standen van het oppervlaktewater. Er komen ook steeds meer aanvragen.

De informatie is op 18 december 1997 mondeling verstrekt door Dhr. Hubregtse van het Waterschap.

6.30 Subinfiltratie in diepveenweidegebied in Oud-Kamerik (1998)

Indien peilbeheer een substantiële bijdrage zou kunnen leveren aan het tegengaan van de grondwaterstands daling in de zomer, zou peilbeheer gebruikt kunnen worden om maaiveldsdaling tegen te gaan. Peilbeheer blijkt echter niet erg effectief wegens de grote bodemweerstand van de watergangen. Er zijn echter boeren, die drainage hebben aangelegd; drainage blijkt de mogelijkheid om water te infiltreren sterk te verruimen.

De boeren zijn enthousiast over de bijdrage, via de drains, over de vochtvoorziening in hun percelen (persoonlijke mededeling ing. E. vd Berg, Hoogheemraadschap Stichtse Rijnlanden, 26 januari 1998).

6.31 Subinfiltratie op rundveeproefbedrijf Cranendonck te Soerendonk (Noord Brabant) (1998)

In het Agrarisch Dagblad van 8 januari 1998 stond een artikel: 'Rundveeproefbedrijf houdt grondwaterpeil kunstmatig hoog'. Op dit bedrijf op zandgrond is een sloot afgedamd en wordt water geïnfiltreerd in een perceel van tien hectare.

Men ondervindt geen problemen, en hoeft hierdoor op jaarbasis 40 à 50 mm minder te beregenen. Dat scheelt per hectare f150 (€ 68) aan beregeningskosten.

6.32 Conclusies van het literatuuronderzoek

De bevindingen van het literatuuronderzoek worden samengevat in Tabel 8.

Als er sprake is van problemen zijn deze voor het functioneren van drainage onder water anno 1998 niet altijd relevant. Dit geldt vooral voor de projecten, beschreven in paragraaf 6.7 en 6.8, waar hoge infiltratieweerstanden door turf molmafdekking werden veroorzaakt. Ook tussen het optreden van verstoppingsverschijnselen, veroorzaakt door ijzereerslagen, en het onder water staan van drains bestaat geen causaal verband (paragraaf 6.18 en 6.28 (Cambridge)). Uit het project, uitgevoerd in de Staverense Noordermeerpolder; zie pagina 113) blijkt dat drains goed blijven functioneren, ondanks ijzerrijke kwel en drains die permanent onder water staan. Als de gevallen waar sprake is van problemen met relevante oorzaak worden toegevoegd aan de categorie 'geen problemen' (groen), ontstaat Tabel 9. Aan de hand van de informatie, ondergebracht in Tabel 9 worden conclusies getrokken.

Tabel 8

Overzicht van *gesignaleerde oorzaken van de toename van drukhoogteverliezen nabij drainbuizen door ondergrondse infiltratie*.

Groen = geen problemen; wit = niet gemeten of niet duidelijk; lichtgrijs = problemen, maar oorzaak irrelevant; donker.

Pagina	Project	Verstopping drain door zwevende substanties in het slotwater	Afname van doorlatendheid van grond rondom de drain
93	Infiltratie bloembollen	ja	nee
94	Bodemprofiel Nieuw-Beerta		ja
94	Onderzoek U.S. Salinity Lab		ja
95	Watersnoodramp van 1953	nee	nee
96	Subirrigatie Noordoostpolder	nee	ja (Turfmolm)
98	Proefveld P 103 te Ens (NO-polder)	nee	ja (Turfmolm)
100	Infiltratie proefbedrijf 'Vredepeel'	ja	onduidelijk
102	Doorlatendheid sleuven O-Flevoland		ja
103	Drains onder water in Drenthe	nee	nee
104	Onderzoek poreuze subirrigatiepijp		
104	Doorlatendheid sleuven Lauwerszee		ja
105	Infiltratie via drains in kassen	nee	nee
105	Infiltratieproefveld 'de Groeve'	ja	nee
106	Subirrigatie op veengrond, Engeland		
107	Drainage/infiltratiesysteem USA	nee	nee
107	Infiltratie NW Oostelijk Flevoland	nee	ja (ijzerneerslag)
108	Buisdrainage komgrond Tielerswaard		nee
109	Onderzoek drainsleuven D.C.G.		nee
111	Infiltratie-praktijkproef Kapelle	ja (verticaal filter)	
111	Drainage/infiltratie Valtermond	onduidelijk	onduidelijk
112	Subirrigatie pinda's USA	nee	nee
112	Vochtleverantie subirrigatie Georgia	nee	nee
112	Proeven subirrigatie Quebec	ja	nee
113	Proefveld 'Staverense Noordermeer'	onduidelijk	nee
113	Proefgebied 'de Veenkampen'	nee	nee
114	Proeven subirrigatie New York		onduidelijk
114	Proeven subirrigatie British Columbia		ja
114	Proeven subirrigatie Cambridge (UK)		ja (ijzerneerslag)
114	Subirrigatie North Carolina (USA)		ja
115	Waterschap 'De Drie Ambachten'	nee	nee
116	Diepveenweidegebied Oud-Kamerik	nee	nee
116	Rundveeproefbedrijf 'Cranendonk'	nee	nee

Tabel 9

Overzicht van gesignaleerde oorzaken van de toename van drukhoogteverliezen nabij drainbuizen door ondergrondse infiltratie.
Groen = geen problemen; wit = niet gemeten of niet duidelijk; grijs = probleem met relevante oorzaak.

Pagina	Project	Verstopping drain door zwevende substanties in het slootwater	Afname van doorlatendheid van grond rondom de drain
93	Infiltratie bloembollen	ja	nee
94	Bodemprofiel Nieuw-Beerta		ja
94	Onderzoek U.S. Salinity Lab		ja
95	De watersnoodramp van 1953	nee	nee
96	Subirrigatie Noordoostpolder	nee	ja (Turfmolm)
98	Proefveld P 103 te Ens (NO-polder)	nee	ja (Turfmolm)
100	Infiltratie proefbedrijf 'Vredepeel'	ja	onduidelijk
102	Doorlatendheid sleuven O-Flevoland		ja
103	Drains onder water in Drenthe	nee	nee
104	Onderzoek poreuze subirrigatiepijp		
104	Doorlatendheid sleuven Lauwerszee		ja
105	Infiltratie via drains in kassen	nee	nee
105	Infiltratieproefveld 'de Groeve'	ja	nee
106	Subirrigatie op veengrond, Engeland		
107	Drainage/infiltratiesysteem USA	nee	nee
107	Infiltratie NW Oostelijk Flevoland	nee	ja (ijzerneerslag)
108	Buisdrainage komgrond Tielerswaard		nee
109	Onderzoek drainsleuven D.C.G.		nee
111	Infiltratie-praktijkproef Kapelle	ja (verticaal filter)	
111	Drainage/infiltratie Valtermond	onduidelijk	Onduidelijk
112	Subirrigatie pinda's USA	nee	nee
112	Vochtleverantie subirrigatie Georgia	nee	nee
112	Proeven subirrigatie Quebec	ja	nee
113	Proefveld 'Staverense Noordermeer'	onduidelijk	nee
113	Proefgebied 'de Veenkampen'	nee	nee
114	Proeven subirrigatie New York		onduidelijk
114	Proeven subirrigatie British Columbia		Ja
114	Proeven subirrigatie Cambridge (UK)		ja (ijzerneerslag)
114	Subirrigatie North Carolina (USA)		Ja
115	Waterschap 'De Drie Ambachten'	nee	nee
116	Diepveenweidegebied Oud-Kamerik	nee	nee
116	Rundveeproefbedrijf 'Cranendonk'	nee	nee

Uit Tabel 9 blijkt dat de gevallen, waar het functioneren van drains onder water problemen veroorzaakt, in de minderheid zijn. Vooral het gehalte aan zwevende substanties in het slootwater veroorzaakt minder vaak problemen dan wordt vermoed.

6.33 Conclusies - substanties in het slotwater

De kwaliteit van het infiltratiewater (i.c. het gehalte aan zwevende substanties en plantenresten) heeft bij de besproken projecten nauwelijks tot problemen geleid. Hierbij moet echter worden aangetekend dat deze projecten, althans wat ons land betreft, lang geleden werden uitgevoerd. Sindsdien is de waterkwaliteit van het infiltratiewater er niet beter op geworden. Het toegenomen gehalte aan o.a. nutriënten kan vooral in de zomer leiden tot een sterke toename van het gehalte aan zwevende substanties, plantenresten en dergelijke. Deze substanties kunnen zich op de buiswand van de drains hechten. Ook bij meer recente projecten kan de waterkwaliteit een probleem vormen (Québec, Canada, 1986; paragraaf 6.25). Valt het met de hoeveelheid zwevende substanties mee, dan kan subirrigatie met succes worden uitgevoerd, getuige de recente ervaringen in Zeeuws-Vlaanderen (paragraaf 6.29) en eerdere gunstige ervaringen in de Biesbosch, de Callandpolder en in westelijk Noord-Brabant (paragraaf 6.19). Is men dus in staat het gehalte aan zwevende substanties in de wateraanvoersloten beperkt te houden dan is een belangrijk obstakel voor onderlopende buisdrainage weggenomen. Welk gehalte aan zwevende substanties kan worden getolereerd zou, in de vorm van een veldonderzoek, onderwerp van studie kunnen zijn.

6.34 Conclusies - doorlatendheid van de grond rondom de drain

Het effect van het permanent onder water staan van drains op de doorlatendheid van de media rondom de drain vertoont een sterk wisselend beeld. In het verleden, maar ook onlangs is vastgesteld dat permanent onder water staan een ongunstig effect kan hebben op de doorlatendheid. Er is echter geen sprake van structurele problemen. In sommige gevallen, bijvoorbeeld op kavel R 18 in Oostelijk Flevoland (paragraaf 6.10) bleek de doorlatendheid, ondanks tien jaar onafgebroken infiltreren, niet te zijn verslechterd. Ook elders gaat het vaak heel goed; zie de meest rechtse kolom in tabel 9.

De bevindingen van Bouma (1969) over de micromorfologische structuur en slempgevoeligheid van lemige gronden spelen bij dit probleem een belangrijke rol. **Bouma stelde vast dat bij slempgevoelige gronden die, in situ, geleidelijk worden bevochtigd, nauwelijks verslemping optrad.** Dit betekent dat slempgevoelige gronden rondom de drain in gestabiliseerde drainsleuven wellicht weinig nadeel zullen ondervinden van infiltratie en/of het langere tijd onder water staan. **Het lijkt dan ook niet verstandig om drains al vrij snel na installatie te laten onderlopen. De grond rondom de drains moet eerst de tijd krijgen om te stabiliseren. Of de drainage met een kettinggraver of met een sleufloze techniek is geïnstalleerd doet hierbij niet ter zake. Draineren onder ongunstige (i.c. natte) omstandigheden leidt in slempgevoelige gronden vaak tot slechte resultaten, juist omdat de grond verslempd terwijl deze nog niet in situ heeft kunnen stabiliseren.**

Overigens heeft men ook in Engeland vastgesteld dat het risico dat geroerde grond rondom drainbuizen onder natte omstandigheden verslempd zeer groot is wanneer de drains pas geïnstalleerd zijn. De grond moet eigenlijk eerst een aantal weken de tijd krijgen om te stabiliseren. De mechanische verbanden die de bodem structuur verschaffen en die door de groundbewerking worden verbroken kunnen zich gedurende die tijd (gedeeltelijk) herstellen. Hiermee neemt de weerstand van de grond tegen verslemping door bevochtiging weer toe (Spoor, 1987).

Overigens is vastgesteld dat zich in slempgevoelige sleufvullingen in de buurt van drains vaak ingewikkelde stelsels van macroporiën ontwikkelen. Op drie proefvelden zijn, in het begin van de jaren negentig, 45 monsters gestoken van drainsecties met omringende grond. De grond rondom de drains bleek in alle gevallen goed gestabiliseerd. De structuur van de macroporiën rondom de drains werd namelijk, met de grond op veldcapaciteit (na 24 uur uitlekken) tijdens een transport over de weg over een afstand van 150 km niet

aangetast (Stuyt, 1992). In alle gevallen was sprake van zeer fijnzandige, zogenaamde probleemgronden, die vaak aanleiding geven tot minerale verstopping van drains.

De doorlatendheid van de grond rondom drains, die genoeg tijd heeft gehad om te stabiliseren kan op termijn toch verminderen. Dit is dan wellicht het gevolg van de verstoppende werking van afvalstoffen, die door micro-organismen worden geproduceerd (Christiansen, 1947; Allison, 1947).

Samenvattend kunnen, wat betreft de doorlatendheid van de grond rondom de drains, de volgende conclusies worden 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 de 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 achtereen onder water dan lijkt het risico gering. Worden de drains jaren lang 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, dan kan dat ook worden veroorzaakt door het feit dat de grond rondom de drain tijdens het onderlopen van de drainage nog niet gestabiliseerd was.
4. Afvalstoffen van **micro-organismen** kunnen een nadelige invloed hebben op de doorlatendheid van grond rondom drains, die, in mechanische zin, goed gestabiliseerd is. Ook kan neerslag van zwevende substanties uit het infiltrerende water in de grond een rol spelen.
5. Het **onderlopen van drainage** brengt minder risico's met zich mee dan algemeen wordt aangenomen.

6.35 Bijeenkomst 'Schade aan onderlopende buisdrainage' 19-2-1998

Op 19 februari 1998 is het rapport 'Schade aan onderlopende buisdrainage' met diverse betrokkenen besproken. Delen van het verslag zijn anno 2013 nog steeds lezenswaardig; reden waarom een deel van dit verslag hier is bijgevoegd.

Aanwezig op 19 februari 1998 in het Staringgebouw te Wageningen:

Waterschap Zeeuwse Eilanden (Goes)

Luuk Veening

Er zijn in het beheersgebied agrariërs die problemen hebben met het feit dat drainage onder water komt. In één geval heeft dat geleid tot een schadeclaim. Dit schept precedenten en leidt tot problemen met het opzetten van de peilen. Bij elk peilbesluit komen er vragen tijdens de inspraakprocedure over het functioneren van drainage. Het is dus een goede zaak om dit verder uit te zoeken. Er is een rapport verschenen (*Drainage onder water*) waarin het Waterschap samen met de provincie Zeeland heeft gewerkt. Hierbij heeft de BOW (Begeleidingscommissie Onderzoek Waterbeheer) een belangrijke rol gespeeld.

Provincie Zeeland (Middelburg), Directie Ruimte, Milieu en Water

André van de Straat (Afdeling landelijk gebied en water)

In het waterhuishoudingsplan staat dat peilverlagingen niet meer geaccepteerd zullen worden, en dat er in principe overal naar hogere peilen gestreefd moet worden. Al bij het eerste peilbesluit bleek een boer al problemen te hebben. Tevens bleek het niet haalbaar om de genoemde doelstellingen bij elk peilbesluit te realiseren, want dit kost de medewerkers van waterschappen en provincie veel te veel tijd. De provincie is op zoek gegaan naar een methode om vooraf snel duidelijkheid te krijgen over de effecten van peilverhogingen op drainage. Men is gestart met het rapport 'Drainage onder water', met als belangrijkste idee om een algemene

richtlijn te ontwerpen die je vertelt wat je moet doen als drainage onder loopt, en wanneer ga je al dan niet over tot schadevergoeding.

Het rapport is enige tijd geleden met het SC-DLO en IKC besproken. De conclusie was dat de in het rapport voorgestelde aanpak misschien te snel tot het uitkeren van schadevergoedingen zou kunnen leiden, waardoor een en ander onbetaalbaar zou kunnen worden. Hierdoor zouden peilverhogingen sowieso niet meer door kunnen gaan. We willen we nu op zo kort mogelijke termijn duidelijkheid zien te krijgen over hoe hiermee om te gaan.

Dienst Landelijk Gebied (DLG) (Utrecht)

John Bouwmans (Afdeling innovatie en kennismanagement)

Houdt zich bezig met waterbeheersing in landinrichting, in het bijzonder in het project 'Waternood', waarin gezocht wordt naar manieren om zo goed mogelijk om te gaan met de tegenstellingen in belangen van natuur, landbouw en bebouwd gebied in het landelijk gebied. We willen alle belangen zo goed mogelijk een duurzame invulling geven en verdroging bestrijden. **Er wordt o.a. gekeken naar mogelijkheden om detailontwatering 'meer op maat te maken'**. Verdieping van drainage en 'drains onder water' heeft daarbij onze belangstelling, als mogelijke opties.

Waterschap Dollardzijvest (Wedde)

Geert Nijhof

Agrohydrologisch medewerker, die in het verleden, samen met het Staring Centrum en LD veel onderzoek heeft gedaan in de veenkoloniën. Heeft belangstelling wegens de nieuwe peilbesluiten, en de mogelijkheid dat drains hierbij onder water komen te staan.

Waterschap Mark en Weerij (Ulvenhout)

Corine Geujen (Afdeling beleid en planvorming)

Werkt vooral aan anti-verdrogingsprojecten, en het verlenen van vergunningen voor drainage, berekening en dergelijke. Is al geconfronteerd met drains die onder water komen te staan. Is voor de zandgebieden op zoek naar een beslisinstrument voor vergunningverlening voor drainages.

IKC Landbouw (Ede)

Jan Huinink

Houdt zich bezig met bodem en water. Heeft in het verleden praktijkproeven uitgevoerd waarbij drains onder water zijn komen te staan.

Grainplastics BV (Marrum)

Klaas Kooistra

Fabrikant van drainagematerialen. Is tussen 1970 en 1990 specialist geweest op het gebied van bodem, water en bemesting. Specialist op het gebied van drainage; heeft veel onderzoek gedaan naar effecten van peilverlagingen etc. Is nog regelmatig betrokken bij schadeclaims wanneer drains onder water komen. Is ook algemeen bestuurslid van waterschap Friesland.

Ing. W.H. Naarding

Is door Lodewijk benaderd om aan te geven wat de LD in het verleden in Drenthe heeft gedaan aan onderzoek. In Drenthe is in het verleden heel veel gedraineerd in het kader van ruilverkavelingen. Er is altijd gewerkt met winter- en zomerpeilen en wel zodanig dat de drains tijdens de zomer allemaal onder water gaan. Is graag op de uitnodiging ingegaan om ervaringen uit te wisselen.

Wetterskip Boarn en Klif (Joure)

Jos Schouwenaars

Is betrokken bij de voorbereiding van peilbesluiten. Wil goed 'op een rijtje krijgen' wat de gevolgen zijn van een peilbesluit waarbij drains onder water komen. Het is een 'hot item' waar de komende maanden een besluit over genomen moet worden. Is dus zeer geïnteresseerd in kennis en ervaring op dit gebied.

DLO-Staring Centrum

Jan van Bakel

Senior hydroloog en programmaleider Waterbeheer. Is geïnteresseerd in onderzoek dat past binnen de doelstellingen van het programma Waterbeheer. Daar hoort 'drains onder water' zeer nadrukkelijk ook bij.

Waterschap Noorderzijlvest (Onderdendam)

Gert Leene

Houdt zich o.a. bezig met het opstellen van peilbesluiten. Het feit dat drainage het enige topic is waarover tijdens de afsluitende bestuursvergadering over het integraal waterbeheersplan technisch-inhoudelijk van gedachte is gewisseld, is, geeft aan hoe gevoelig die problematiek ligt. Vandaar de aanwezigheid.

Horman Drainagefilter BV ('s-Gravendeel)

Peter de Man

Producent van drainagefilters voor de Nederlandse markt en in toenemende mate voor de buitenlandse markt. Was in het verleden actief betrokken bij Lodewijk's onderzoek naar omhullingsmaterialen. Op dit moment is Horman bezig met onderzoek naar het verduurzamen van cocosvezels. Het streven is om een omhullingsmateriaal te maken met dezelfde eigenschappen als polypropyleenvezel.

Erasmus Universiteit Rotterdam

Ruud van Hal

Loopt stage bij Horman Drainagefilter BV. Onderzoekt de exportmogelijkheden voor filters.

Prof. Dr. W.H. van der Molen

Is met emeritaat. Heeft vroeger in de Noordoostpolder veel met drainage te maken gehad, en ook met drains onder water.

Waterschap Peel en Maasvallei (Venlo)

Jacques Peerboom

Is met projecten bezig waar drains onder water liggen. Is blij dat de bijeenkomst vlak voor de carnaval is gepland.

Jan Keijzers

Melkveehouder in Zuidoost-Brabant. Betrokken geweest bij beregeningsonderzoek en momenteel betrokken bij peilopzettingen in de omgeving van natuurgebieden waar gestreefd wordt naar hoogveenregeneratie (Peelvenen).

DLO-Staring Centrum

Lodewijk Stuyt

Senior adviseur, die in het verleden veel onderzoek heeft gedaan naar de fysische eigenschappen van de media in de directe omgeving van drains: o.a. sleuven en omhullingsmaterialen. Is nu werkzaam in projecten die te maken hebben met regionaal waterbeheer, waarbij drainage soms een rol speelt. Doet onderzoek op het terrein van de hydrologische systeemanalyse. Publiceert nog wel over drainagematerialen, o.a. in een dit jaar te publiceren handboek over drainage van de American Society of Agronomy (USA). Tevens staat een publicatie over drainagematerialen in ontwikkelingslanden op stapel (publicatie voorjaar 1999 door FAO Rome).

Lodewijk trekt dit onderzoeksproject omdat het langere tijd onder water staan van drains wellicht (negatieve) gevolgen heeft voor de fysische eigenschappen van de media rondom de drain. Vooralsnog is begonnen met een literatuurstudie die nu ter tafel ligt.

Lodewijk geeft nog een korte toelichting op de invulling van deze morgen. We hechten veel waarde aan feedback met, en praktijkervaringen van diegenen die bij de onderhavige problematiek nauw betrokken zijn. Daarom wordt deze brainstorm georganiseerd. We denken dat we op deze manier het meest efficiënt tot een goed projectvoorstel voor een vervolg kunnen komen. Het door SC-DLO verrichte literatuuronderzoek wordt besproken. Daarna moeten we besluiten hoe we verder gaan. Wat zijn de uitgangspunten hierbij, en welk kostenplaatje hangt daar aan.

De voorgeschiedenis is al toegelicht: de provincie Zeeland en het waterschap Zeeuwse eilanden hebben veel 'voorwerk' verricht, met als resultaat het rapport 'drains onder water' (BOW Subwerkgroep drainage). Het projectresultaat waar SC-DLO, in samenwerking met zoveel mogelijk participanten, nu naar streeft, bestaat uit:

- Inventarisatie van de huidige kennis (literatuuronderzoek; is gereed).
- Resterende vraagstukken en onzekerheden proberen op te lossen resp. weg te werken.
- Taxatie van voorzienbare schade.
- Draagvlak creëren.

Opmerkingen met betrekking tot de literatuurstudie

De tijdens de discussie gemaakte opmerkingen zijn ondergebracht in een aantal rubrieken:

- Algemeen
- Projecten en situaties waarbij drains onder water komen
- Positieve ervaringen waarbij drains onder water komen
- Schade voor de landbouw
- Effecten rondom de drain
- Toekomstig onderzoek
- Betrouwbaarheid van veldonderzoek op perceelsniveau
- Ontwikkeling van een meetprotocol
- Het geven van voorlichting / creëren van draagvlak

De *cursief gedrukte* informatie is verwerkt in de samenvatting.

Algemeen

1. Uit het literatuuronderzoek is gebleken dat er in Nederland al vrij veel gemeten is; meer dan we dachten. Het blijkt in het algemeen met de problemen mee te vallen.
2. Het is echter niet goed dat alle resultaten, ook speculatieve, in één en hetzelfde overzicht zijn ondergebracht, waardoor het lijkt alsof alle resultaten even hard en even duidelijk zijn. In feite is het beeld dus minder duidelijk dan je in eerste instantie zou denken.
3. Er is vooral veel gemeten aan doorlatendheden van de grond in de drainsleuf, en relatief weinig aan de hoeveelheid water die door een drain wordt afgevoerd, en welke invloed dit op de grondwaterstand rondom de drain heeft.
4. *Het gaat allemaal over oude onderzoeken waar gewerkt is met kettinggravers, terwijl tegenwoordig de drains sleufloos worden gelegd. Ook is met andere drainagematerialen gewerkt dan die welke we tegenwoordig gebruiken. Dan heb je dus wel met een andere situatie te maken; is dat oude onderzoek wel representatief?*
5. In hoeverre is er echt sprake van drains onder water, als de eindbuizen onder water staan? Dat hoeft niet zo te zijn. Veel drains, vooral oudere, zijn onder afschot gelegd, en dit zou invloed kunnen hebben op de gerapporteerde bevindingen.
6. De conclusies en het overzicht aan het einde van het literatuuroverzicht lijken heel helder en eenduidig, maar als je de onderzoeken kent, dan blijken er grote verschillen te zijn tussen de verschillende

onderzoeksprojecten. Die verschillen zitten op het terrein van wat er daadwerkelijk gemeten is en de mate waarin de conclusies onderbouwd zijn. Soms is er heel zorgvuldig en intensief gemeten. Soms zijn er op hoofdlijnen geen negatieve effecten geconstateerd en concludeert men, misschien onterecht, dat die er dan ook niet zijn.

7. Er zijn ook projecten waar je ziet dat er weliswaar geen negatieve effecten zijn geconstateerd, maar dat er wel een angst bestaat, en een vooroordeel, dat er wellicht negatieve effecten zullen zijn. Die vooroordelen worden dan toch opgenomen in het onderzoeksrapport, en er wordt tegelijkertijd ook al een verklaring gegeven voor het vermoedelijk aanwezig zijn van negatieve effecten. Een en ander is louter speculatief.
8. In Ohio (USA) komen gronden en klimaat in redelijke mate overeen met die in Nederland. De zomers zijn iets droger. Er is daar veel ervaring met drainage onder water: ze hebben daar heel uitvoerig gemeten (Larry Brown). Ohio komt veel meer overeen met Nederland dan North Carolina, dat veel natter is. We moeten Brown nog verzoeken informatie te geven over de ervaringen in Ohio.
9. De meeste gevallen uit de literatuurstudie wijzen erop dat er niets aan de hand is. Dat wil dus zeggen dat er in 5 à 10% van de gevallen schade is. Dan kun je zeggen: dat is niet veel, maar 5% mislukkingen leidt tot 'een aardige stapel klachten op het bureau van de directeur'.
10. Uit Friesland komt een vraag welk peilregime voor de drains het beste zou zijn. De drains liggen op 1 m à 1,1 m, in leemhoudend zand onder het veen (dikte veenlaag gemiddeld 0,5 m). Wat zou beter zijn: de drains afwisselend nat en droog met wisselende peilen, of de drains permanent onder water zetten? Daar worden verschillende geluiden over gehoord. De verschillen tussen zomer- en winterpeilen zijn thans kleiner dan vroeger, toen er nog gesproken werd over 'ontwateringsplannen'. Tegenwoordig praat je over 'waterbeheersingsplannen' en is het verschil tussen zomer-, en winterpeil teruggebracht van 60 à 70 cm vroeger tot ca. 40 cm nu.
11. Wat betekenen de wisselende waterstanden voor je taluds en de eindbuizen? Op dat punt bestaat nogal wat zorg. Daar zijn hier en daar in het verleden veel problemen mee geweest. Als je de peilen per week niet meer dan 10 à 15 cm verandert lijken er weinig problemen te verwachten.
12. Betwijfeld wordt de conclusie in het rapport dat 'de zandgebieden' qua schade kunnen worden uitgesloten. *Dit ligt genuanceerder en de tekst moet wat dit betreft dan ook worden aangepast.*

Projecten en situaties waarbij drains onder water komen

1. In de buurt van Musselkanaal is een nieuw wateraanvoerkanal gegraven. In de gronden ter weerszijden van dit kanaal zijn nogal wat hydrologische veranderingen gesignaleerd. Het waterschap Dollardzijvest werkt momenteel aan een project om hier, door het aanbrengen van drainagestelsels en het hergraven van voormalige kavelscheidingsloten, een nieuwe ontwateringsbasis te realiseren. Hier zal drainage voor subirrigatie zeker een rol gaan spelen; er zal sprake zijn van het tijdelijk onder water zetten van drains. Men verwacht dat dit zeker resultaat zal geven. Binnenkort wordt een infiltratieproefveld aangelegd.
2. In Brabant gaan de eerste proefprojecten waarschijnlijk ook wel komen, dus daar zouden we mee kunnen gaan 'meeliften'. Dat gebeurt overigens niet omdat de boeren dat zo leuk vinden, maar omdat er druk achter zit.
3. In Limburg zijn de wateraanvoersystemen van de Maas er allemaal op gericht om water te infiltreren. Niemand weet hoeveel water er daadwerkelijk wordt geïnfilteerd en dat is ook moeilijk te kwantificeren. De problemen bij de bloembollentelers zouden dus in principe in heel Oost-Nederland kunnen optreden, waar sprake is van wateraanvoer.

Positieve ervaringen waarbij drains onder water komen

1. Vanaf 1957 zijn drains in Drenthe tijdens de zomer structureel onder water gezet. Het gaat om duizenden hectaren. Het zou een goed idee zijn om eens na te gaan wat bij de verschillende waterschappen de ervaringen hiermee zijn (geweest); bijvoorbeeld via de Drentsche waterschapsbond. De technische diensten van de waterschappen moeten goed op de hoogte zijn van eventuele klachten. Op deze manier zou je achter de 5 à 10% klachten moeten kunnen komen. Als het niet goed gegaan was met die drains onder water, dan was het allang afgelopen geweest, maar dat is kennelijk niet zo. Het gaat hier overigens om

madeveengebieden, waar tijdens de zomer ook netto sprake is van kwel en drainafvoer. Er is nauwelijks sprake van infiltratie via de drains, maar meer van waterconservering door peilverhoging. In sommige gevallen wordt water aangevoerd. De peilen worden ingevoerd van 40 tot 90 cm -mv. Net boven de stuw heb je waterstanden van 40 cm, dus daar liggen de drains volledig onder water. Maar aan het eind, bij de volgende stuw, liggen de bovineinden van de drains wellicht niet onder water. In april/mei gaan de peilen naar boven toe, en afhankelijk van het verloop van de zomer en de herfst gaan ze weer omlaag; in de winter zijn alle drains 'vrij'. Als je een hele droge winter hebt ga je de peilen maar gedeeltelijk verlagen. Een bijkomend voordeel is dat de drains in de zomer gereduceerd zijn, waardoor er geen ijzer in de drains kan oxideren. Tijdens de winter stroomt het water, en kan het neergeslagen ijzer zich niet afzetten. Veel klachten zijn overigens te wijten aan achterstallig onderhoud.

2. Het waterschap Dollardzijlvest heeft in de Veenkoloniën positieve ervaringen met het infiltreren vanuit het wijkstelsel en onder water liggende drainages. Tussen zomer- en winterpeilen in de watergangen worden verschillen gehanteerd tot ca. 60 cm. in veel gevallen werkt een drainage dan gedurende de zomerperiode als een subirrigatie-object ter aanvulling van het grondwaterniveau. Dit heeft heel duidelijk positieve effecten op de bodemvochtvoorraad in het groeiseizoen. Voor zover bekend zijn er niet zo veel klachten over het slecht functioneren van drains. Ook op het noordelijk kleigebied van het waterschap is het een kwestie van gewinning. Daar waar vroeger gezegd werd: 'de waterstand mag absoluut niet verhoogd worden' hebben we toch een aantal waterbeheersingsprojecten uitgevoerd, nieuwe stuwen gebouwd en peilverhogingen doorgevoerd, waarbij in een aantal gevallen ook heel nadrukkelijk drains onder water zijn komen te staan.
3. Er is momenteel sprake van verhuizing van heel veel agrariërs vanuit het oosten en het zuiden van het land naar het noorden. Zij nemen ook hun ervaringen mee; andere ervaringen dan die welke in hun nieuwe omgeving gemeengoed zijn. Zij kijken ook anders tegen de waterbeheersing aan dan de Groninger kleiboeren, die vroeger absoluut geen peilverhoging wensten. Nu zien we nadrukkelijk dat het waterschap steeds meer verzoeken krijgt om de waterstand gedurende de zomerperiode iets omhoog te brengen. Met het gevolg dat drains onder water komen te staan. Het is dus allemaal wellicht heel erg gevoelsmatig, en het ontbreekt aan voldoende goede voorlichting aan de gebruikers van de gronden. We zijn niettemin nog niet in staat om tegenover schadeclaims hard te maken dat het met de schadelijke gevolgen van drains onder water wel meevalt.
4. Er wordt altijd gedacht dat het niet goed is als drains 'half onder water' of 'halfweg onder water' staan. Dit soort klachten komt niet uit Drenthe, maar uit de bloembollenwereld. Daar wordt het peil verhoogd om, via de drains, daadwerkelijk te infiltreren, en komen verhalen vandaan in de trant van 'het lukt, maar na elke 7 à 8 jaar zit je omhullingsmateriaal verstopt, en moet je opnieuw draineren'. In deze gebieden is sprake van wegzijging. De grootste ellende treedt volgens de betrokkenen op als het slootpeil de drains passeert, want 80% van het zwevende vuil zou in de bovenste 5 cm van het slootwater zitten. Overigens gaat het hier eerder om indrukken en 'verhalen', dan dat er echt gemeten is. Bloembollentelers zijn op vrij grote schaal in de sloten filterinstallaties gaan aanleggen: grindkisten, met zand afgedekt. Van daaruit pompen ze het water de drains in. Op deze manier zouden de omhullingsmaterialen 15 in plaats van 8 jaar meegaan.

Schade voor de landbouw

1. Hoe ga je met schade om? Je kunt schade op vrij eenvoudige manier berekenen, maar dat wil nog niet zeggen dat waterschappen die dan ook kunnen of willen vergoeden. Het schadebedrag is altijd aanzienlijk hoger dan de hoeveelheid geld die voor compensatie beschikbaar is. Overigens is bij het berekenen van natschade sprake van enkele onzekerheden. Die zouden we eigenlijk nog beter in de vingers moeten hebben. De schade kan ook worden afgekocht, en de compensatiefactoren die worden voorgesteld zijn betrekkelijk hoog. Desondanks bestaat er weerstand onder de boeren, maar je hoort ook geluiden dat boeren in het algemeen tevreden zijn met een eenmalige afkoopregeling.
2. Er is ook sprake van een gewinningsproces, waarbij goede voorlichting een belangrijke rol speelt. Het is een moeilijk proces om te leren hoe je als waterschap moet omgaan met je kostenplaatje en de verdeling over je ingezetenen. Het waterschap heeft er een hele klus aan de ingelanden duidelijk te maken en te motiveren dat ze ergens voor moeten betalen waarvan ze het gevoel hebben dat ze er niets mee te maken

hebben. Zorg er wel voor dat je een goede regeling hebt gemaakt om eventuele schades goed boven tafel te krijgen. Men zal dan eerder geneigd zijn om mee te betalen.

3. In sommige waterschappen hebben bestuurders bij de eerste 'opwaartse' peilbesluiten problemen gehad, en heeft men weerstand ondervonden. Je zoekt dan naar mogelijkheden om er samen uit te komen. In noord Nederland worden de laagste gronden sinds een aantal jaren aan de landbouw onttrokken en wordt bos aangelegd. Uiteindelijk blijven de goede landbouwgronden, die je optimaal van water kunt voorzien, en tijdens de winterperiode kunt droogleggen, over. Alleen daar waar schadegevallen overblijven: wie moet die schade gaan betalen? Waterschappen staan niet te trappelen om die schade te compenseren. En dat is de kern van de moeilijke discussie op dit moment. Hoe kun je die schade beperken?
4. In de discussies speelt een aantal zaken door elkaar. Er is gesproken over waterconservering, er zijn gebieden waar je sowieso altijd voldoende water hebt en kan inlaten wat je wil: het motief hier zou kunnen zijn 'zet de drains maar onder water, dan hoeven we het niet zo hoog op te malen'. De gewassen spelen een grote rol, maar er kunnen gebieden zijn, bijvoorbeeld veenweidegebieden, waar het percentage klachten, zoals door vertrapingsgevaar, veel hoger ligt dan 5%; het kan wel 30% zijn. We moeten ons goed realiseren dat klachten ook het gevolg kunnen zijn van traag peilbeheer, inrichtingsproblemen en/of slecht onderhoud van drainagesystemen.

Effecten rondom de drain

1. Er is sprake van zorg over nadelige effecten van het onder water zetten van je drains op de doorlatendheid van de grond rondom de drains, het omhullingsmateriaal etc. Eén en ander hangt wellicht samen met de mate van peilopzetting. Je kunt het slootpeil 10 cm boven de drain zetten, of 70 cm boven de drain.
2. Wat is de invloed van de gebruikte omhullingsmaterialen op de infiltratiecapaciteit van drains? Op verschillende locaties is er sprake van verschillende ervaringen: Valthermond, Koudum etc. heeft dit te maken met bodemfysische verschillen, of is hier sprake van toeval? Hieromtrent kan de groep geen verklaring geven. Het gebruik van dunne omhullingsmaterialen wordt niettemin afgeraden (ervaringen LD in Valthermond).
3. Het is wellicht niet zo dat je met een nieuw, aangepast omhullingsmateriaal alle infiltratieproblemen zou kunnen oplossen. In principe kun je veel risico uitsluiten, maar het is de vraag of dat betaalbare oplossingen zijn. In de Achterhoek zijn sleuven opgevuld met glasas, maar dat kost veel geld, net zoals gebruik van grof zand of grind. We praten hier over vooromhulde buizen. *Polystyreen-omhulling voldoet momenteel bij infiltratie het beste: het heeft de grootste poriën en is erg regelmatig.*
4. Over het onder water zetten van drains overheerst de mening dat het met de nadelige effecten allemaal wel meevalt. Toch wordt zorg uitgesproken over mogelijk nadelige effecten bij *zwellende en krimpende gronden*. In proefveld Beerta heeft het tot twaalf jaar geduurd tot de grond uiteindelijk op de peilverhoging heeft gereageerd. Je zou kunnen zeggen: in dit soort gronden valt het wel mee, maar op de lange termijn zou de doorlatendheid op drainniveau snel kunnen afnemen. De groep denkt genuanceerd over dit gevaar. De kleigronden in de Flevopolders zijn niet zo zwaar, en zwellen na rijping wellicht niet meer helemaal dicht. *Maar komkleien en knipkleien bijvoorbeeld zijn veel zwaarder, en daar zou permanente inundatie van drains op de lange termijn kunnen leiden tot extreem lage doorlatendheden.*
5. Er wordt gesuggereerd dat er in Duitsland vrij veel onderzoek is verricht aan drains die onder water staan. Deze literatuur is misschien wel te ontsluiten, maar dat is niet erg gemakkelijk. In Duitsland werd de drainage voorgeschreven door de zgn. Meliorationsverbände.

Toekomstig onderzoek

1. Het lijkt niet verstandig om veldonderzoek te gaan doen: dit is moeilijk en duur. Risico van tegenstrijdige uitkomsten. *Wel kunnen we inventariseren welke gronden naar verwachting weinig problemen opleveren; daar zouden we alvast kunnen beginnen met het opzetten van peilen.*
2. Wie zou bij onderzoek betrokken moeten zijn? *Veel gebruik maken van de informatie van boeren; levert veel nuttige informatie op. We denken nu vooral aan betrokkenheid van provincies en waterschappen; in latere instantie aan de STOWA en de Unie van Waterschappen.*

3. In de praktijk spelen bij het onder water zetten van drains vele aspecten een rol. Zetten we de drains alleen tijdens de zomer onder water, of het hele jaar door? Als je peilen gaat wisselen gaat dat soms ten koste van de capaciteit van de sloot. Er is kans dat de slootbodem ondieper wordt, de stroomsnelheden nemen toe, taluds kunnen afkalven, eindbuizen kunnen wegspoelen etc. Deze aspecten spelen in de praktijk een grote rol. *Als we besluiten verder te gaan met onderzoek, dan moet je weten waar je voor kiest: permanent of intermitterend onder water zetten.*
4. Er wordt voor gepleit de probleemanalyse in specifieke situaties te gebruiken als uitgangspunt voor onderzoek. *Daar waar problemen optreden moet worden getracht een goede diagnose te geven. Je zou bijvoorbeeld met een camera in de drain kunnen kijken. Je kunt er met peilbuizen of 'naalden' wel achter komen waar bij infiltratie 'de pijn zit'. Maar je beperkt je dan tot zeer specifieke gevallen, en je gaat niet naar een speld in een hooiberg zoeken.*
5. *Er wordt gesuggereerd om na te gaan of je een hogere ontwateringsbasis kunt compenseren met een sterkere ontwateringsintensiteit.* Eind 1988 is door Feddes en van Wijk een nota uitgebracht waaruit blijkt dat dit perspectief biedt. Het rekenmodel is nog beschikbaar. Je zou dus een deel van eventuele natschade door hogere slootpeilen en grondwaterstanden kunnen compenseren met hogere afvoerintensiteiten, in natte perioden, van het regenwater. In Drenthe is hier al ervaring mee opgedaan. Dit aspect is bij de voorlichting belangrijk. Een aantal mogelijkheden wordt immers, uit onwetendheid, a-priori uitgesloten, en dat is onwenselijk. Als SC-DLO, als onafhankelijk wetenschappelijk instituut hiermee komt wordt het eerder geaccepteerd dan wanneer een waterschap dit doet: die hebben nu eenmaal het imago dat ze alleen maar 'natte groene ruimte' willen realiseren. *Je kunt de boeren vervolgens door door voorlichting laten zien dat ze er dan, ondanks de hogere grondwaterstanden, zelfs per saldo op vooruit zouden kunnen gaan. Daar is weinig onderzoek voor nodig. De vraag is alleen: wie betaalt dat? Met deze kosten valt het echter wel mee: als je tussen de bestaande drains een extra drain legt ('tussendraineren') kost dat ca. f1500 à f2000/ha (€ 680 à € 910/ha), en dat is erg laag vergeleken bij schadevergoedingen.*
6. *In de herinrichting Roden-Norg is waterconservering belangrijk en zouden we kunnen gaan 'meeliften' met een op stapel staande pilot.* In 1997 is het plan vastgesteld en in uitvoering genomen. Er is een pakket maatregelen in opgenomen voor waterconservering. De problematiek spitst zich toe op de lagere gronden binnen een afwaterende eenheid. Deze gronden liggen veelal langs de waterloop waarin het peil wordt opgezet. In 1998 wordt een eerste bestek uitgevoerd in de omgeving van Nieuw-Roden. Dit eerste bestek is ook een testcase voor de mogelijkheden in de praktijk. De mogelijkheden om peilen op te zetten in relatie tot de aanwezige drainage is daarbij één van de aandachtspunten. Het is vooralsnog onduidelijk of met dit bestek omstandigheden worden gerealiseerd waarbij drainage onder water komt. In het voortraject is door één van de landbouwers in het gebied Roden-Norg, tevens bestuurslid van de landbouworganisatie, aangegeven dat hij op zijn land wil meewerken aan een proef met zodanige peilverhoging dat de uiteinden van drains onder water komen (Informatie DLG Assen).
7. *Je zou het beste kunnen besluiten om 'mee te liften' met plaatsen waar peilen al opgezet worden. Daar zou je, wanneer er klachten komen, het een en ander kunnen meten. Een beetje gespreid over het land. Dat is niet al te duur, en je krijgt wellicht een goed overzicht van de problemen, en waar het goed gaat.*

Betrouwbaarheid van veldonderzoek op perceelsniveau

1. Het is überhaupt moeilijk om conclusies te verbinden aan q/h-relaties van drains, gemeten op perceelsniveau. In handboeken wordt gesuggereerd dat er een constante relatie bestaat tussen afvoer en drukhoogte. Maar als je, in een 'normale' situatie, daadwerkelijk gaat meten krijg je geen lijn maar een puntenwolk waar geen lijn door te trekken valt. Het is dus nauwelijks mogelijk om je q/h-relatie te reproduceren.
2. Een probleem hierbij is echter dat 'de ellende vaak tegelijk komt'. Voorbeeld: een boer klaagt over wateroverlast omdat zijn drains onder water komen te staan. Zijn percelen liggen in lemige beekdalgronden, vaak met lemige tussenlaagjes vlak onder de bouwvoor, ook nog laaggelegen. De ontwateringsbasis was dus eigenlijk te ondiep en de doorlatendheid was aan de lage kant. Hierdoor kon niet worden aangetoond dat de wateroverlast alleen werd veroorzaakt door het opzetten van de peilen,

omdat er tegelijkertijd veel factoren waren die een negatieve invloed hadden op de ontwatering. Je achterhaalt het dus niet.

3. In het proefveld Koudum waren de q/h-relaties het eerste jaar na aanleg bijzonder chaotisch, en toen bleek dat een aantal mensen die de drainafvoeren maten eerst even de eindbuis gingen schoonmaken (het ijzer eruit halen). Dan krijg je de eerste tien minuten een eerste afvoergolf, die de meting vertroebelt. Er zijn toen nieuwe richtlijnen uitgevaardigd ('niet schoonmaken; meten aan de buis zoals 'ie erbij ligt'), in de hoop dat er meer eenduidigheid zou komen, maar die kwam er nauwelijks.
4. Kortom: als de natuurlijke variabiliteit van het fenomeen al aanzienlijk is, is het heel moeilijk om er één aspect uit te lichten en het effect daarvan op het totaal te achterhalen.
5. *Het wordt overzichtelijker wanneer we gaan meten in situaties waar daadwerkelijk sprake is van problemen. De gevolgen van het probleem worden ten opzichte van andere factoren dominant, waardoor ze beter kunnen worden vastgesteld. **Misschien moeten we dus alleen gaan meten in die gevallen waar problemen optreden.***

Ontwikkeling van een meetprotocol

1. Je zou over een meetprotocol moeten beschikken waarmee je de werking van de drains 'enigszins in de vingers kunt krijgen', en waarmee je tegelijkertijd mee kunt laten zien of het onder water zetten van drains wel of geen effect heeft.
2. Er wordt voornamelijk gediscussieerd over grootschalige projecten. **In Brabant wordt meer gesproken over ontwatering op perceelsniveau, en de boer een stukje verantwoordelijkheid geven voor zijn eigen percelen.** Dan praat je dus over peilbeheer op een beperktere schaal. Een meetprotocol zou bruikbaar moeten zijn om enerzijds zaken te monitoren voor grote projecten, maar moet tegelijkertijd ook een hulpmiddel zijn voor peilbeheer op beperkte schaal: op welk niveau zit het water in de grond en wat voor consequenties heeft dat.
3. Een belangrijk punt waar het bij peilverhogingen om draait is de landbouwschade. Het is lastig als je een peilbesluit aan het voorbereiden bent, en je niets kunt zeggen over het afwegen van schade aan wegen en gebouwen enerzijds, en schade aan de landbouw anderzijds. Dan wordt het voor een bestuur moeilijk om te beslissen. Je zou kunnen zeggen: 'we houden rekening met 5 à 10% schade. *Maar dan zou je met die streek wel iets af moeten spreken om één en ander te volgen, wanneer we de maatregel gaan uitvoeren. Dat betekent dus dat we niet moeten kiezen voor onderzoek vooraf. We zullen dus een methodiek moeten bedenken waarmee je de effecten van je besluit volgt, en waarmee je achteraf tot regelingen kunt komen. Daar bestaat behoefte aan! We moeten dus met een methodiek komen, die ons ná de uitvoering van maatregelen inzicht geeft om eventueel nog bij te sturen, of alsnog tot regelingen te komen. Samengevat: we voeren een maatregel door, maar we hebben daarbij een plan hoe we één en ander volgen en hoe we eventueel, als er achteraf claims komen, kunnen toetsen of daar echt iets aan de hand is, en daar hebben we dan een regeling voor.*
4. Er zijn voorbeelden van dergelijke regelingen, bijvoorbeeld bij de stichting van een bronbemaling. Fotografeer dan eerst de huizen. Is er schade door de bronbemaling door verzakking, dan heb je een regeling om dat te vergoeden. Is er geen schade dan heb je een bewijs in handen van defecten (i.c. scheuren) die voor de bemaling al aanwezig waren. *Je zou zo'n soort procedure met de streek moeten hebben. Als er schade is kun je de oorzaak laten constateren: is dat de peilverhoging dan moet daar een vergoeding tegenover staan. Dat zou je aan de bestuurders kunnen voorleggen, in de trant van: 'we weten het ook niet, maar het kán gebeuren. Maar we houden het in de gaten, we gaan het zus en zo doen, en we hebben dit soort regelingen voor als het misgaat'. Dan moeten we wel op zoek gaan naar een eenvoudig controlemiddel. Daar moet nog goed over worden nagedacht.*
5. Wat is dan een representatief punt om te meten? Dat is een vraag voor onderzoekers. Als we zeggen: we kunnen van tevoren niet vaststellen waar eventuele schade te verwachten is, dan *moeten we een onderzoeksopzet bedenken met de mogelijkheid tot het indienen van claims achteraf, zoals hier wordt voorgesteld. Je gaat monitoren en komt dan tot een goede uitspraak.*

6. Halen we ons met een dergelijk 'piep'systeem niet ontzettend veel extra werk op de hals? Je krijgt je maatregel er bestuurlijk niet door als je je niet terdege voorbereidt op eventuele klachten. De mensen beginnen al te 'piepen' voordat een besluit genomen is! *Dus om een besluit te kunnen nemen zul je met een voorstel moeten komen dat, behalve de uitvoering van de plannen, ook laat zien dat je serieus omgaat met de eventuele klachten die er komen. En dat je daar van tevoren over hebt nagedacht, hoe je dat gaat doen: een goede regeling.*
7. Dat is trouwens ook de essentie van de peilbesluiten. We praten nu wel over peilbesluiten, maar in feite is het niets anders dan een optimalisatieslag van je hele waterbeheer in je gebied. *Nu wordt daar de clausule aan toegevoegd in de trant van 'daar waar schade is zijn we schadeplichtig, en zijn we bereid om daarover te praten'.* Dat gebeurde niet bij de ontwikkeling van de waterbeheersingsplannen in de jaren 70 en 80 (van de vorige eeuw). Toen werd er op basis van hoogtekarten, bodemkaarten en een ontwateringsstelsel dat er meestal al lag, een optimalisatieslag overheen gevoerd. En daar ontstonden toen ook percelen waar het te nat werd of te droog bleef. Omdat we wat scherper willen sturen, en omdat we nu als waterschappen de belangen richting natuur en milieu ook beter willen behartigen, komen we nu met de landbouw hier en daar een beetje in de problemen. Maar er zijn zeker mogelijkheden om daar goed mee om te gaan.

Het geven van voorlichting / creëren van draagvlak

1. Er leven bij grondgebruikers nog veel vragen, die kennelijk nog met onvoldoende goede argumenten beantwoord kunnen worden. Het blijft dus een zaak van voorlichten op basis van gedegen onderzoek en ervaringen.
2. Met betrekking tot het onderwerp 'drains onder water' moet goede voorlichting worden opgezet. Zo'n voorlichtingstraject moet worden opgezet op basis van wetenschappelijk verzamelde kennis, en daarna in begrijpelijke taal worden verspreid onder de doelgroepen. Gebruik maken van de bekende voorlichtingskanalen van landbouw als bijvoorbeeld DLV, NLTO en IKC.
3. In Drenthe is al jarenlang, en zonder noemenswaardige problemen, via drains water geïnfiltererd. *Het is nu dus vooral een kwestie van de zaak goed op papier zetten, inclusief alle ervaringen vanbetrokkenen, en dan kan de psychologische weerstand voor het grootste deel worden geslecht.* En dan zeggen we: 'er is een kans dat het misgaat, maar dat is met normale drainage ook zo: dat hoort nu eenmaal bij het normale bedrijfsrisico, dat moet je incalculeren'. Dat soort zaken kan dan worden opgenomen in peilbesluiten, en die worden dan ook weloverwogen genomen.
4. We moeten ons afvragen wat we willen en wat er mogelijk is. Als we er op voorhand van overtuigd zijn dat het positieve of negatieve effect van drains onder water met behulp van onderzoek heel moeilijk aantoonbaar is en dat zoiets waarschijnlijk niet zal lukken, dan kun je je afvragen of je dit soort onderzoek wel moet doen, omdat je nauwelijks harde conclusies zult kunnen trekken. *Misschien moeten we ons meer richten op het overwinnen van weerstand tegen het onder water zetten van buizen. Creëren van draagvlak bij de boeren. Er bestaat onder boeren veel weerstand tegen peilbesluiten. Je zou dus iets in de voorlichtende sfeer moeten doen.*
5. *Over het hoe en waarom van detailontwateringsvoorzieningen zou naar de landbouw toe veel meer voorlichting gegeven moeten worden.* In het algemeen is er bij boeren nog heel weinig kennis over grondwaterstanden. Veel agrariërs weten niet anders dan dat drainage zodanig gelegd moet worden dan de uitmonding vrij blijft ten opzichte van het slootwaterpeil. Sommige waterschappen worden dan ook regelmatig geconfronteerd met klachten dat drainage onder water ligt en dus het peil als te hoog wordt ervaren. Men heeft er in het algemeen geen weet van hoe drainagesystemen werken, en wat het effect van een profielverstoring op de grondwaterstand kan zijn. Als je een boer, die met een klacht bij het waterschap komt, vraagt 'wat is de grondwaterstand?' kan hij die vrijwel nooit geven, en dan moet je met hem altijd samen bespreken hoe dat allemaal in elkaar zit. *Als percelen niet optimaal gedraineerd zijn is dat meestal niet te wijten aan de drainage maar aan de bodemstructuur, t.w. de variabiliteit van de bodemopbouw.* Er wordt overigens de laatste jaren in principe veel te weinig gedaan aan bodemverbetering (structuurverbetering van het profiel). *Ook het onderhoud van kavelscheidingsloten is de laatste jaren vaak sterk verwaarloosd.* De gevolgen daarvan kunnen worden aangetoond door analyse

van langjarige reeksen van grondwaterstanden. De zaak is hierdoor verslechterd. Men wijst heel snel naar het waterschap dat een te hoog stuwpeil instelt en vergeet vaak de eigen onderhoudsplicht aan kavelsloten. *Het is een complexe materie van zaken die enerzijds te wijten zijn aan de verdichting van de bodem, en anderzijds het verwaarlozen van detailontwateringsvoorzieningen: of het nu perceelscheidingssloten zijn of buisdrainage.*

6. Op dit moment lopen we al tegen de plannen voor peilverhoging aan; je wilt ze eigenlijk zo snel mogelijk realiseren. Als je nu al weet dat veel drainageonderzoek twijfelachtige resultaten zal opleveren waar nauwelijks harde conclusies uit te trekken zijn dan moet je je afvragen of je wel moet gaan meten. *We moeten daarom zoeken naar een andere, zo werkbaar mogelijke oplossing waarbij je draagvlak bij de landbouw realiseert.*
7. Misschien moeten we ander soort onderzoek doen dan waar we in eerste instantie aan zitten te denken; op grotere schaal. *Het IKC is nu bezig met de voorbereidingen om een polder in de Hoekse waard voor de helft op te zetten (40 cm verhoging) waardoor drains onder water komen.* Men gaat o.a. drainafvoeren meten, maar men richt zich voornamelijk op onderzoek om erachter te komen, wat de boeren er van vinden. Ze moeten notities maken over de berijdbaarheid, de oogstzekerheid, ze proberen de opbrengsten bij te houden, etc. Die opbrengsten worden dan vergeleken met opbrengsten tot dusver, en opbrengsten in het andere deel van de polder, waar de peilen niet verhoogd zijn. Een voordeel van deze aanpak is dat, wanneer er geen duidelijke verschillen worden gevonden, het draagvlak automatisch toeneemt. Het aardige van de Hoekse Waard is dat de ontwatering in sommige polders echt heel diep is: in landbouwkundige zin sub-optimaal diep. De slootpeilen zijn 1,9 à 2 m diep (de sloten zijn grachten met bodems 2,5 m diep); de drains liggen op 1,5 à 1,6 m diep. De voor deze gronden geadviseerde ontwateringsbasis ligt op 1,1 à 1,2 m. Als de slootpeilen dus 40 cm omhoog gaan voldoe je qua drainage nog steeds aan je landbouwkundige normen. Als je dus nadelige effecten krijgt kan dat alleen liggen aan het onder water komen van de drains.
8. Stel het gaat om 5% klachten. Die vind je niet in veldproeven. Als je 20 proefvelden hebt, dan krijg je problemen in één proefveld en dan zeg je: 'daar zit een afwijking'. *Het beste is dus om gewoon maar drains onder water te zetten, te kijken hoeveel klachten er komen, en eens te kijken wat daar de oorzaak van is.* Het valt wellicht mee maar een beleidsman moet serieus rekening houden met 5 à 10% terechte klachten. Er is vroeger in laboratoria 'eindeloos' gemeten aan glasvlies-omhullingen. Dat ging altijd goed totdat we het in de praktijk gingen toepassen; toen kwamen er in 5% van de gevallen serieuze klachten. Er is sprake van allerlei storende factoren: ijzer, zwavel etc.
9. *In Limburg ontstaan allerlei initiatieven om, in navolging van het beregenen op maat, te komen tot 'water op maat'. Dit brengt met zich mee dat boeren meer moeten gaan meten dan in het verleden. Vroeger werd er niets gemeten en nu zie je bij boeren overal peilbuizen verschijnen. Dit zou op zich een aardige ingang kunnen zijn om gegevens te verzamelen.*
10. Voorlichting is ontzettend belangrijk. Als je het peil in het voorjaar gaat opzetten hangen de boeren meteen aan de telefoon, in paniek: 'de boel gaat onder water!'. Dan gaat er iemand even met een boor heen, gaatje boren, kijken hoe diep de grondwaterstand is, en tegen de boer zeggen: 'hou dit nu maar in de gaten'. Dan is het meestal over; geen onrust meer.
11. *Je kunt doen wat je wil als waterschap, je kunt je gebied inrichten met automatische stuwen, en aanvoersystemen aanleggen. Maar als daar niet door de gebruikers van het systeem op geanticipeerd wordt in de zin van het hebben van een goed stelsel van detailontwateringsvoorzieningen die tijdens de zomer voor infiltratie kunnen zorgen, dan mislukt zoiets altijd. In de Veenkoloniën zijn er veel voorbeelden te geven waar ooit klachten zijn geweest. Wanneer men dan met een waterpastoestel ging meten wat het drukhoogteverschil was in de plaatswijk of de zwetsloot van de boer, en wat is het peil dat het waterschap hanteert, dan zag je significante verschillen die soms opliepen tot 1 m verschil op 1 km! Dan is het heel duidelijk dat, wat voor voorzieningen je ook aanbrengt, een perceel gewoon 'niet meedoet' zolang de plaatswijk niet schoongemaakt is: dan krijg je gewoon schade, die direct te wijten is aan de gebruiker.*
12. In al die jaren dat men in het noorden met de verbetering van de waterbeheersing bezig is geweest heeft men naar de landbouw toe keer op keer heel veel voorlichting moeten geven. Een voorbeeld: men is nu, na de droge winter 1997-1998 al weer sterk aan het letten op de grondwaterstand. Op dit moment - februari

1998 - is het peil vergeleken met normale wintersituaties al weer zo'n 30% verhoogd. *De boer zegt dan straks: 'ik moet mijn bodem gaan bewerken, en jullie zijn al bezig met je conservering!'. Dat is dus een potentiële conflictsituatie, en dat is altijd het dilemma waar je dan als waterbeheerder voor staat. Maar door met elkaar goed te discussiëren over hoe het eigenlijk zou moeten, en wat de boer zelf kan doen om zijn detailontwateringssystemen in goede conditie te houden kunnen veel problemen worden voorkomen.*

13. De conclusie van de discussies lijkt er een in de trant van: het valt allemaal wel mee; misschien zijn er een paar potentiële problemen, zoals bijvoorbeeld de zwellende en krimpende gronden. Daarover kun je zeggen: 'kijk uit; die moet je niet permanent onder water zetten'. Dat is niet te simplistisch. Laten we dus investeren in het vergroten van draagvlak.
14. *Je kunt bij boeren eventuele schade op eenvoudige wijze vaststellen door grondwaterstanden te meten. Als boeren gaan klagen, laat ze dan eerst maar eens een jaar grondwaterstanden gaan meten. Dan valt binnen dat jaar 2/3 af omdat ze daar niet lang genoeg mee doorgaan. De mensen die écht schade hebben blijven wel doormeten. Op deze manier wordt het draagvlak vergroot.*
15. *In Brabant speelt de beperking van de mogelijkheid tot beregenen. Als ik als boer tegen de grens van 40.000 m³ aanloop, dan zou ik het slootpeil graag 20 à 30 cm omhoog willen halen, dan kan ik misschien met 10.000 m³ minder rondkomen. Boeren hebben altijd liever een technische, dan een financiële compensatie. Als er een goed technisch alternatief voorhanden is dan hoeven er in financieel opzicht geen problemen meer te zijn. Ook hier geldt weer: geef goede voorlichting, omdat dit de mogelijkheid geeft tot vergroting van het draagvlak.*
16. Overigens zijn er ook boeren die nauwelijks problemen hebben met drains onder water. Een boer in het noorden wilde een perceel na tien jaar herdruineren. Hij had veel last van ijzerhoudend water; zijn omhullingsmateriaal was geheel verstopt. Hij suggereerde de nieuw aan te leggen drainage zodanig diep te leggen dat deze altijd onder het slootwaterpeil blijft liggen. Bij dit soort problemen is dit wellicht een goede suggestie, omdat ijzerverbindingen onder anaerobe (=zuurstofloze, gereduceerde) omstandigheden grotendeels in oplossing blijven en via de drains kunnen worden afgevoerd. Een boer uit de kanaalstreek voelt wel voor het onder water aanleggen van drainage.

Samenvatting

De literatuurstudie betreft in het algemeen oudere onderzoeken. Daar werd met andere drainagematerialen gewerkt dan die welke we tegenwoordig gebruiken, en er is uitsluitend met kettinggravers geïnstalleerd. Dit gedateerde onderzoek is wellicht niet altijd even representatief voor de huidige situatie.

Bij implementatie van peilbesluiten kunnen we van tevoren niet vaststellen waar eventueel schade te verwachten is. We moeten echter een werkbare en betaalbare manier bedenken hoe we met schadegevallen moeten omgaan. Bij peilverhogingen kiezen we daarom niet voor simultaan grootschalig veldonderzoek. **Het is naïef te denken dat we hiermee de 5 à 10% schadegevallen zouden kunnen opsporen. Daarom kiezen we een opzet met de mogelijkheid tot het indienen van claims achteraf. Het door een probleem veroorzaakte ongewenste effect is, ten opzichte van andere factoren, wellicht dominant waardoor de diagnose gemakkelijker is. Het onderzoek is dan efficiënter en gericht, en wordt daarmee goedkoper.**

Uitgangspunt van de benadering is dus analyse en diagnose van onverhoopt ingediende klachten. Als een boer een klacht indient moet hij worden aangemoedigd om zelf grondwaterstanden te gaan meten. Binnen een jaar valt tweederde af omdat ze er niet lang genoeg mee doorgaan. Boeren die écht schade hebben blijven doormeten. **Overigens worden in Limburg thans initiatieven genomen om, in navolging van berekening op maat, te komen tot 'water op maat'. Dit brengt met zich mee dat boeren meer moeten gaan meten dan in het verleden.** Je ziet bij hen dan ook steeds meer peilbuizen verschijnen. Conform het voorgaande maken we bij de voorbereiding van een peilbesluit met de streek afspraken over een methodiek waarmee nadelige effecten van het peilbesluit worden geëvalueerd en eventueel gecompenseerd. We voeren de peilverhoging door, maar we hebben een strategie hoe we, bij claims achteraf, kunnen toetsen of daar echt iets mis is. We hebben daar dan een compensatieregeling voor: we gaan serieus met zulke klachten om. Boeren worden overigens meestal liever in technische dan in financiële zin gecompenseerd. Als

er een goed technisch alternatief voorhanden is hoeven er in financieel opzicht geen problemen meer te zijn. We moeten dus met een methodiek komen die ons ná de uitvoering van maatregelen informatie verschaft op basis waarvan we eventueel nog kunnen bijsturen of met boeren tot regelingen kunnen komen. Het moet een eenvoudig controlemiddel zijn. Het Staring Centrum moet zo'n methodiek ontwikkelen.

Peilbesluiten moeten weloverwogen kunnen worden genomen. Daarom is het raadzaam te rapporteren over positieve ervaringen met 'drains onder water'. In Drenthe bijvoorbeeld staan drains al jaren lang, en zonder noemenswaardige problemen, 's zomers onder water. Wanneer bestuurders over dit soort informatie kunnen beschikken kan de psychologische weerstand voor een aanzienlijk deel worden geslecht. Onze boodschap moet zijn: 'er is een kans dat het misgaat, maar dat is met normale drainage ook zo, dat hoort nu eenmaal bij het normale bedrijfsrisico en dat moet je incalculeren'.

Daarnaast moeten we ons primair richten op het overwinnen van emotionele weerstanden tegen peilbesluiten. Creëer draagvlak bij boeren. Je zou iets in de voorlichtende sfeer moeten doen. Betrek in het onderzoek zoveel mogelijk locaties waar peilen worden opgezet, zoals de herinrichting Roden-Norg en de Hoekse Waard. Streef naar spreiding van locaties over het land. Zo krijg je wellicht een goed overzicht van de aard van klachten en claims, en dus ook informatie over situaties waar het wél goed gaat: goed voor de ontwikkeling van draagvlak.

Gelijktijdig met de verbetering van de waterbeheersing heeft men in het verleden veel voorlichting moeten geven. Over het hoe en waarom van voorzieningen voor detailontwatering zou sowieso meer voorlichting gegeven moeten worden. Analyse van langjarige reeksen van grondwaterstanden leert dat het onderhoud van dergelijke voorzieningen de laatste jaren wordt verwaarloosd. Ook wordt er vaak weinig gedaan aan bodemverbetering (structuurverbetering van het bodemprofiel). Deze factoren dragen er toe bij dat een eventueel slecht functioneren van drains gerelateerd kan zijn aan zaken die niets met peilbesluiten te maken hebben. Eventuele schade is geregeld te wijten aan nalatigheid van de grondgebruiker.

In een polder in de Hoekse waard wordt binnenkort de helft van de peilen opgezet, waardoor grote aantallen drains structureel onder water komen. Men wil bij dit project nagaan wat de boeren hiervan vinden. Zij moeten notities maken over bereikbaarheid, oogstzekerheid, opbrengsten etc. Als er geen duidelijke verschillen worden gevonden tussen de oude en de nieuwe situatie neem het draagvlak automatisch toe.

In Brabant worden aan de mogelijkheid tot beregening beperkingen opgelegd. Als ik als boer tegen de grens van 40.000 m³ aanloop, dan zou ik het slootpeil graag 20 à 30 cm omhoog willen halen. Ik kan dan misschien met 10.000 m³ water minder toekomen. Ook hier geldt: geef goede voorlichting omdat dit de mogelijkheid geeft tot vergroting van draagvlak.

Onderzocht moet worden in hoeverre een hogere ontwateringsbasis gecompenseerd kan worden door een grotere ontwateringsintensiteit. Je kunt boeren door middel van voorlichting laten zien dat ze er dan, ondanks de hogere grondwaterstanden, per saldo zelfs op vooruit kunnen gaan. De kosten vallen mee. Als je een extra drain tussen de bestaande legt kost dat f1500 à f2000/ha (€680 à €910/ha), en dat is erg laag vergeleken bij schadevergoedingen.

Polystyreen-omhulling, opgesloten in een kunststof net voldoet bij infiltratie het beste. Het heeft betrekkelijk grote poriën en is erg homogeen. Met conventioneel mineraal filtermateriaal (zand, grind, glasas) kun je veel risico uitsluiten, maar deze oplossingen zijn te duur. Ontwikkeling van nieuwe omhullingsmaterialen biedt weinig perspectief omdat er een goed alternatief voorhanden is.

Op komkleien en knipkleien leidt permanente inundatie van drains op de lange termijn wellicht tot extreem lage doorlatendheden. Hier moet men met het opzetten van peilen terughoudend zijn.

De conclusie uit de literatuurstudie dat 'de zandgebieden' qua schade kunnen worden uitgesloten wordt in twijfel getrokken. Dit ligt genuanceerder.

Bij toekomstig onderzoek betrekken we vanaf dit moment provincies, waterschappen, en zo mogelijk boeren; in latere instantie de STOWA en de Unie van Waterschappen. We sturen een bijgestelde versie van het rapport (literatuurstudie + verslag brainstorm), via de STOWA, naar alle waterschappen, met een begeleidende brief, waarin wordt verzocht informatie te geven over eventuele ervaringen met drains onder water, belangstelling tot participatie etc. Je moet je in de begeleidende brief niet tot bestuurders richten, maar tot technische diensten van waterschappen. Daar is men op de hoogte van eventuele klachtenpatronen.

Literatuur

- ADAS, 1973. A progress report on FDEU sites for 1972. Techn. Bull. 73/4, Field Drainage Experimental Unit, Agricultural Development and Advisory Service, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Cambridge, UK
- ADAS, 1974. A progress report on FDEU sites for 1973. Techn. Bull. 74/12, Field Drainage Experimental Unit, Agricultural Development and Advisory Service, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Cambridge, UK
- ADAS, 1975. A progress report on FDEU sites for 1974. Techn. Bull. 75/6, Field Drainage Experimental Unit, Agricultural Development and Advisory Service, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Cambridge, UK
- ADAS, 1976. A progress report on FDEU sites for 1975. Techn. Bull. 76-6, Field Drainage Experimental Unit, Agricultural Development and Advisory Service, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Cambridge, UK
- Allison, L.E., 1947. Effect of microorganisms on permeability of soil under prolonged submergence. *Soil Sci.* 63:439-450.
- Belcher, H.W. en F.M. D'Itri, 1995. *Subirrigation and controlled drainage*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL USA
- Ben Harrath, A., 1970. Irrigation souterraine uni et bidimensionnelle dans un sol remanié. Etude du mouvement de l'eau dans le sol et dans les plantes. (Een- en tweedimensionale ondergrondse irrigatie in bewerkte grond. Studie naar de waterbeweging in de bodem en in gewassen). Rapport de 1970. Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat à Gembloux (in de Franse taal).
- Blaauw, A.H., 1938. De beteekenis van de grondwaterstand voor de bloembollencultuur. *Med. Lab. Voor plantenfysiologisch onderzoek*. No. 53, Wageningen.
- Borin, M., L. Giardini, P. Ceccon, P. Manini en G. Guidoboni, 1997. Pipe drainage in the Eastern Padano-Veneta plain in north-east Italy. *Irrigation and Drainage Systems*, 11:61-81.
- Borin, M. en B. Lazzaro, 1995. Effects of water-table management on nitric nitrogen leaching in lysimeters planted with maize. *Gumpensteiner Lysimeterdagung 'Stofftransport und Stoffbilanz in der ungesättigten Zone'*. BAL Gumpenstein pp. 55-60.
- Bouma, J., 1969. Microstructure and stability of two sandy loam soils with different soil management. *Agric. Res. Reports* 724, Pudoc, Wageningen.
- Bouma, J. en G.H. Stoffelsen, 1981. Doorlatendheid van drainsleuven bij hoge slootpeilen. *Rapp.* No. 1605, Stiboka, Wageningen.
- Bouma, J., J.W. Van Hoorn en G.H. Stoffelsen, 1981. 'Measuring the hydraulic conductivity of soil adjacent to tile drains in a heavy clay soil in The Netherlands. *J. Hydrol.* 50(1981): 371-381
- Bournival, P., S. Prasher en R.S. Broughton, 1986. Measurement of head loss in a subirrigation system. *ASAE Paper* 86-2099.
- BOW-subwerkgroep drainage, 1997. *Drainage onder water*. Eindrapport. Provincie Zeeland, Directie Ruimte, Milieu en Water, Middelburg.
- Brevé, M.A., R.W. Skaggs, J.E. Parsons en J.W. Gilliam, 1997a. Drainmod-N, a nitrogen model for artificially drained soils. *Transact. ASAE* 40(4):1067-1076.
- Brevé, M.A., R.W. Skaggs, J.W. Gilliam, J.E. Parsons, A.T. Mohammad, G.M. Chescheir en R.O. Evans, 1997b. Field testing of Drainmod-N. *Transact. ASAE* 40(4):1077-1085.
- Brown, L.C., A. Ward en N.R. Fausey, 1997. *Agricultural water table management systems*. Extension Factsheet AEX 321-97, Food, Agric. and Biol. Eng., Ohio State Univ., Columbus, Ohio, USA
- Carter, C.E., J.L. Fouss en V. McDaniel, 1988. Water management increases sugarcane yields. *Transact. ASAE* 31(2):503-507.
- Chieng, S.T. en G.A. Hughes-Games, 1995. Effects of subirrigation and controlled drainage on crop yield, water table fluctuation and soil properties. . In: *Subirrigation and controlled drainage*. Ed. H.W. Belcher en F.M. D'Itri. Lewis Publishers, Boca Raton, FL USA

- Chieng, S.T., J. Keng en M.G. Driehuyzen, 1987. Effects of subsurface drainage and subirrigation on the yields of four crops. *Canad. Agric. Eng.* 29(1):21-26.
- Christiansen, J.E. 1947, Some permeability characteristics of saline and alkali soils. *Agricultural Engineering* 28:147-150
- Clinton, F.M. 1948, Invisible irrigation on Egin Bench. *Reclamation Era*, Vol. 34:182-184.
- Cultuurtechnische Dienst, 1973. Concept rapport voor de ruilverkaveling Zonzeel. Cultuurtechnische Dienst, Utrecht.
- Davenport, M.S. en R.W. Skaggs, 1990. Effects of drain envelope and slope on performance of a drainage-subirrigation system. *Transactions of the ASAE* 33(2):493-500.
- DCG, 1978a. Drains onder water? Notitie D.C.G. 39-78.
- DCG, 1978b. Drains onder water II. Notitie D.C.G. 58-78.
- DCG, 1980. Drains onder water III. Notitie D.C.G. 42-80.
- DCG, 1981. Beknopt verslag van de bespreking betreffende drains onder water op 28 jan.1981. Notitie D.C.G. 011-81.
- Dennis. C.W.O., 1978. The failure of a pipe drainage system in an organic soil and subsequent remedial measures. Tech. Rep. 78/3, Field Drainage Experimental Unit, Cambridge, UK
- De Roo, H de., 1962. Onderzoek naar de werking van de infiltratie in het tuinbouwgebied ten zuiden van Ens. Intern Rapport, R.I.J.P., Lelystad.
- Dierickx, W. en N. Leyman, 1973. De watervoorziening bij de witloofforcerie in een gesloten gebouw. Publ. 53/W.B.-9, Rijksstation voor Landbouwtechniek, B-9220 Merelbeke, België.
- Doty, C.W., S.T. Currin en R.E. McLin, 1975. Controlled subsurface drainage for Southern Coastal Plains soil. *J. Soil and Water Conservation* 30(2):82-84.
- Doty, C.W. en J.E. Parsons, 1979. Water requirements and water table variations for a controlled and reversible drainage system. *Transactions of the ASAE* 22(3):532-536.
- Doty, C.W., K.R. Chain en L.J. Farmer, 1986. Design, operation and maintenance of controlled-drainage/subirrigation (CD-SI) systems in humid areas. *Applied Engineering in Agriculture* 2(2):114-119.
- Dreise, G., W.H. Naarding en T. Rozenveld, 1988. Drainage-infiltration pilot area Valthermond. A field study concerning drain envelope materials in a former raised bog region in The Netherlands. Landinrichtingsdienst, Assen.
- Enserink, G.A.R., 1956. Kritische beschouwingen over het 'Ramspol'-infiltratiesysteem uit een oogpunt van aanleg en functioneren. *Flevoberichten A no. 1*, Directie van de Wieringermeer (Noordoostpolderwerken), Zwolle.
- Ernst, L.F., 1956. Infiltratie in het Boven-Dommelgebied. Rapport TNO, Groningen.
- Evans, R.O. en R.W. Skaggs, 1985. Operating Controlled drainage and subirrigation systems. Publ. AG-356, Agricultural Extension Service, North Carolina State Univ., Raleigh, NC USA
- Evans, R.O., R.E. Sneed en R.W. Skaggs, 1987. Water supplies for subirrigation. Publ. AG-389, Agricultural Extension Service, North Carolina State Univ., Raleigh, NC USA
- Evans, R.O., R.W. Skaggs en J. W. Gilliam, 1995. Controlled versus conventional drainage effects on water quality. *J. Irr. And Drain. Eng.* 121(4):271-276.
- Fausey, N.R. en J.R. Cooper, 1995. Subirrigation response of soybeans grown with high yield potential management. In: H.W. Belcher and F.M. D'Itri (eds) *Subirrigation and Controlled Drainage*, 225-230. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Fausey, N.R., L.C. Borwn, H.W. Belcher en R.S. Kanwar, 1995. Drainage and water quality in Great Lakes and Cornbelt States. *J. Irr. And Dra. Eng.* July/August:283-288
- Feddes, R.A. en M.G. van Steenberg, 1973. Infiltratie proefveld 'de Groeve'. Nota 735, ICW, Wageningen.
- Feddes, R.A., G. van den Berg, J. Pankow en H. Siebering, 1976. Infiltratie proefveld 'de Groeve' (II). Nota 918, ICW, Wageningen.
- Fox, R.L., J.T. Phelan en W.D. Criddle, 1956. Design of subirrigation systems. *Agricultural Engineering* 37(2):103-108.

- Geohring, L.D., H.M. Van Es en H.J. Buscaglia, 1995. Soil water and forage response to controlled drainage. . In: Subirrigation and controlled drainage. Ed. H.W. Belcher en F.M. D'Itri. Lewis Publishers, Boca Raton, FL USA
- Giardini, L. en M. Borin, 1995. Subirrigation experiments in the Veneto Region (Northeast Italy). A review of the period 1981-1989. In H.W. Belcher and F.M. D'Itri (eds) Subirrigation and Controlled Drainage, 207-223. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Grass, L.B. en A.J. Mackenzie, 1972. Restoring subsurface drain performance. J. Irr. And Drain. Div., Proc. A.S.C.E. Vol. 98:97-106.
- Haaijer, B.M. en W. Wolf, 1965. Zwaveldioxyde ter verwijdering van ijzerafzettingen in drainreeksen. Koninklijke Nederlandsche Heidemaatschappij 76:425-433.
- Hellings, A.J., 1965. Het onderzoek op het Proefbedrijf Vredepeel. Vertrouwelijke Nota I.C.W. No. 290.
- Homma, F., 1978. Onderzoek naar de invloed van infiltratie in een veenkoloniaal gebied met behulp van elektrische modellen. Cult. Techn. Tijdschr. 17(6):334-345.
- Huinink, J.T.M., 1991. Drainage-proefveld 'Staverense Noordermeer'. Eerste vervolgverslag. IKC, Ede.
- I.C.W., 1962. Jaarverslag I.C.W. 1961. Meded. ICW No. 31.
- Jager, A. en G. Kamping, 1975. Drainage-proefveld Zonzeel. Structuur en doorlatendheid van zavelgronden boven en naast de drains, gelegd door verschillende typen draineermachines. Rapport 1236, Stiboka, Wageningen.
- Kalisvaart, C, 1954. Ervaringen en vraagstukken ten aanzien van infiltratie. Referaat van de voordracht, gehouden voor het Agrohydrologisch Colloquium van de Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland te Utrecht op 18 juni 1954.
- Kalisvaart, C., 1957. Infiltratie in de Oostelijk Flevoland. Flevoberichten B no. 5, Directie van de Wieringermeer (Noordoostpolderwerken), Zwolle.
- Kalisvaart, C., 1958. Subirrigation in the Zuiderzee Polders. Pub. 2, ILRI, Wageningen.
- Kalisvaart, C., 1959. Ervaringen met de infiltratie in de Noordoostpolder. Flevoberichten A no. 16, Directie van de Wieringermeer (Noordoostpolderwerken), Zwolle.
- Kouwe, J.J. 1967. Infiltratie op kavel 31 van de Stichting 'Proefbedrijf Vredepeel'. Nota 379, I.C.W., Wageningen.
- Luthin, J.N., 1978. Drainage Engineering. Robert E. Krieger Publishing Company, Huntington, N.Y., U.S.A.
- Mann, M., 1985. Zoetwater-onderzoek Zeeland. Infiltratie-praktijkproef Kapelle. Commissie Waterbeheersing en Ontzilting, Goes.
- Martin, J.P., 1945. Microorganisms and soil aggregation: II. Influence of bacterial polysaccharides on soil structure. Soil Sci.61:157-166.
- Massey, F.C., R.W. Skaggs en R.E. Sneed, 1983. Energy and water requirements for subirrigation vs. sprinkler irrigation. Transact. ASAE 26(1):126-133.
- Munster, C.L., R.W. Skaggs en V.R. Pemmireddy, 1996. Effect of water table mangement on the fate of the pesticide Aldicarb. Transact. ASAE 39(1):55-66.
- Pavelis, G.A. (ed.), 1987. Farm Drainage in the United States: History, Status, and Prospects. Economics Research Service, USDA, Misc. Publ. No. 1455.
- Rands, J. en C. Dennis, 1995. Results from an experiment where blocked drains occurred following subirrigation (Rickwood II Experiment, Cambridgeshire, England). In: Subirrigation and controlled drainage. Ed. H.W. Belcher en F.M. D'Itri. Lewis Publishers, Boca Raton, FL USA.
- Renfro, G. Jr., 1955. Applying water under the surface of the ground. Water: The 1955 Yearbook of Agriculture, USDA:273-278.
- Rozendaal, H. en J. Scholten., 1980. Risico's voor drainage met turfmolafdekking bij infiltratie in lichte gronden. Cult. Techn. Tijdschr. 19(6):327-334.
- Scholten, J., 1981. Doorlatendheidsmetingen in drainsleuven in Flevoland en de Lauwerszee. Rapp. 1981-32Abw, R.I.J.P., Lelystad.
- Schwab, G.O., R.F. Frevert, T.W. Edminster en K.K. Barnes, 1966. Soil and Water Conservation Engineering, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., NY. p. 555.

- Segeren, W.A. en J. Visser, 1969. Het waterstandenproefveld voor de fruitteelt in de IJsselmeerpolders. R.I.J.P.-overdruk No. 35, Tuinbouwmeded. 32(5):180-197.
- Segeren, W.A. en F.C. Zuidema, 1969. Ontwikkelingen in de drainagetechniek. In: Cultuurtechnische verhandelingen. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Spoor, G., 1987. Opmerkingen, gemaakt tijdens Sessie 4 van een ILRI Symposium, gehouden in Wageningen in 1987. In: Proc. Symp. 25th Int. Course on Land Drainage. Twenty-five years of drainage experience. Ed. J. Vos, ILRI, Wageningen
- Skaggs, R.W., G.J. Kriz en R. Bernal, 1972. Irrigation through subsurface drains. J. Irrig. And Drain. Div. ASCE 98(IR3):363-373.
- Skaggs, R.W., 1973. Water table movement during subirrigation. Transactions of the ASAE, 16(5):988-993.
- Skaggs, R.W., 1981. Water movement factors important to the design and operation of subirrigation systems. Transact. ASAE 24(6):153-156.
- Skaggs, R.W., 1991. Modeling water table response to subirrigation and drainage. Transact. ASAE 34(1):169-175.
- Skaggs, R.W., M.A. Brevé en J.W. Gilliam, 1995. Predicting effects of water table management on loss of nitrogen from poorly drained soils. Eur. J. Agron. 4(4):441-451.
- Skaggs, R.W., 1998. Water table management: subirrigation and controlled drainage. In: Drainage for Agriculture. American Society of Agronomy, USA (in Press).
- Spencer, A P. 1938. Subirrigation. Florida Agr. Ext. Bul. No. 99.
- Stiboka, 1969. De bodemgesteldheid van het proefbedrijf Vredepeel (gemeente Venray). Rapport 849, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Stiboka, 1972. Proefveld waterbalans 'de Groeve' (Zuidlaren). De bodemgesteldheid. Rapport 1039, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Susanto, R.H. en R.W. Skaggs, 1995. Hydraulic head losses near agricultural drains: preliminary results and research needs. In: Subirrigation and controlled drainage. Ed. H.W. Belcher en F.M. D'Itri. Lewis Publishers, Boca Raton, FL USA
- Thomas, D.L. en A. Shirmohammadi, 1985. Soil Moisture status under drainage-subirrigation in the Georgia flatwoods. ASAE Paper 85-2512.
- Van Bakel, P.J.T., 1988. Using drainage systems for supplementary irrigation. Irr. and Drain. Systems 2:125-137.
- Van den Eerenbeemt, H., M. Scholten en R. Schuiling, 1984. De invloed van drainage op de infiltratieweerstand. Afstudeerscriptie HBCS Velp.
- Van der Molen, W.H., 1987. Opmerkingen, gemaakt tijdens Sessie 4 van een ILRI Symposium, gehouden in Wageningen. In: Proc. Symp. 25th Int. Course on Land Drainage. Twenty-five years of drainage experience. Ed. J. Vos, ILRI, Wageningen
- Van Hoorn, J.W., 1958. Results of a ground water level experimental field with arable crops on clay soil. Neth. J. Agric. Sci. 6(1): 1-10
- Van Hoorn, J.W. en J. Bouma, 1981. Het functioneren van buisdrainage op komgrond. Cult. Techn. Tijdschrift 20(6): 1-10; april/mei 1981.
- Visser, J., 1983. Effect of the ground-water regime and nitrogen fertilizer on the yield and quality of apples. Rapp. 53 van Zee tot Land, RIJP, Lelystad.
- Visser, J., 1995. Some results of subirrigation in the IJsselmeerpolders in The Netherlands. In: Subirrigation and controlled drainage. Ed. H.W. Belcher en F.M. D'Itri. Lewis Publishers, Boca Raton, FL USA
- Wiggers, A.J., 1955. De wording van het Noordoostpoldergebied; een onderzoek naar de fysisch-geografische ontwikkeling van een sedimentair gebied. Van zee tot land No. 14, Tjeenk Willink, Zwolle.
- Wiggers, A.J., F.H. de Jong en K. Spanjer, 1962. De bodemgesteldheid van de Noordoostpolder. Van zee tot land No. 33, Tjeenk Willink, Zwolle.
- Wilke, O.C., 1970. Hydraulic roughness of Micro-Por9, an experimental porous-walled subirrigation pipe. Progress report PR-2838, Texas agricultural experiment station, Texas A&M University, College Station, TX USA

- Wright, F.S. en F.J. Adamsen, 1987. Subirrigation of peanuts using an existing drainage system. Proc. Amer. Peanut Res. And Educ. Society 19:51.
- Zuur, A.J., 1959. Het in cultuur brengen van drooggevallen gronden. Voorlopige uitgave, Directie van de Wieringermeer/Landbouwhogeschool, Afd. Natte Ontginning).

7 Project Drainage Nieuwe Stijl (2004)

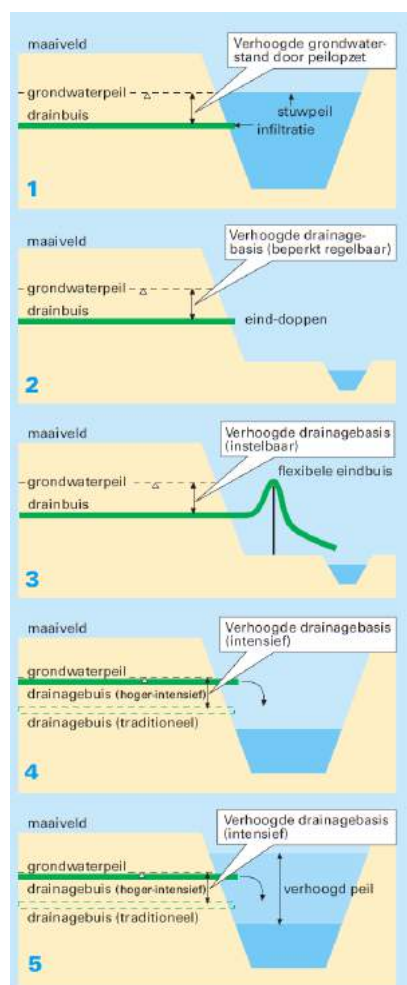
Samenvatting: L.C.P.M. Stuyt

Bron: auteur(s): J. Snepvangers (TNO-NITG), A. Peters (DLV Groen & Ruimte BV), P. de Louw (TNO-NITG), B. Geenen (DLV Groen & Ruimte BV)

Jaar van publicatie: 2004 (25 juni)

Titel publicatie: Drainage nieuwe stijl; Drainage ten behoeve van waterconserving

Gepubliceerd als/in: TNO-rapport NITG 04-100-B



Het onderzoek 'Drainage in het kader van het project Waterconserving 2e Generatie'⁴⁴ is uitgevoerd in de periode december 2002 - juni 2004. In het project Waterconserving 2e generatie werkten organisaties in de provincies Noord-Brabant en Limburg samen om door middel van waterconserveringsmaatregelen verdroging van zowel landbouw- als natuurgebieden tegen te gaan. Waterschap Aa en Maas was de projectverantwoordelijke. Zij vertegenwoordigde de Brabantse waterschappen De Dommel en Brabantse Delta. Andere projectpartners waren Waterschap Peel en Maasvallei en Roer en Overmaas, de provincies Limburg en Noord-Brabant, ZLTO, LLTB en Staatsbosbeheer. Deze laatste organisatie vertegenwoordigde de natuurterreinbeheerders. De projectpartners werkten op regionaal niveau onder meer samen met natuur- en milieuorganisaties. Het bijzondere van het project was de combinatie van praktijk / veldwerk en technische achtergronden met betrekking tot 'drainage nieuwe stijl': nieuwe drainagetechnieken ten behoeve van waterconserving. In het verleden is op vrij omvangrijke schaal in landbouwpercelen in Noord-Brabant en Limburg buisdrainage aangelegd. Voornaamste doel hiervan was het verruimen van de gebruiksmogelijkheden van landbouwgrond voor het telen van nieuwe gewassen en/of voor het optimaliseren van gewasgroei. **Deze conventionele drainage is puur gericht op het afvoeren van water. Echter ook het behouden van water of zelfs het toevoeren van water in de grond kan met drainage worden bewerkstelligd. Deze vorm van drainage wordt 'Drainage nieuwe stijl' genoemd (Figuur 31).** Het onderzoek naar 'Drainage nieuwe stijl' bestond uit twee onderdelen: een literatuur- en modelstudie, en een demonstratie- en communicatietraject.

Figuur 31

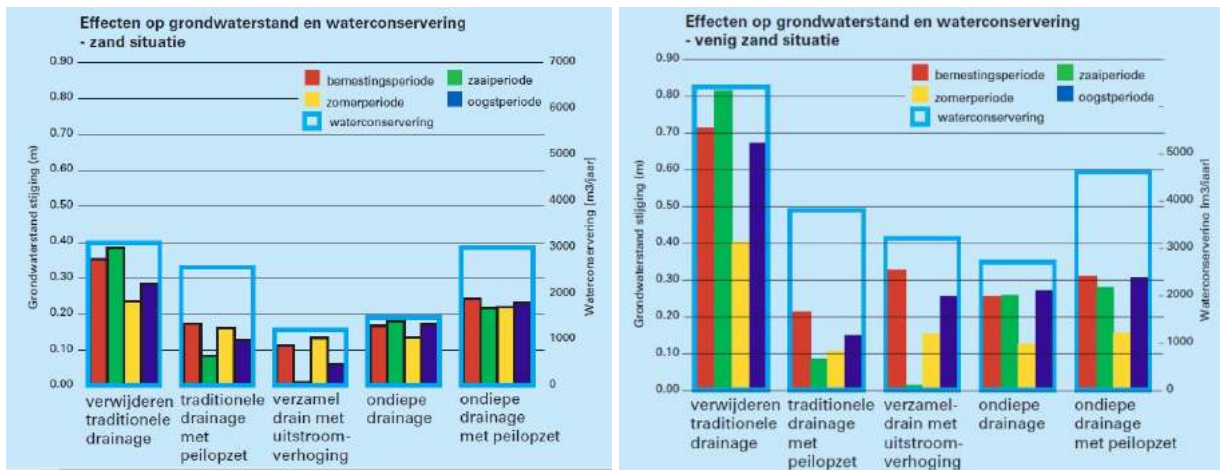
'Drainage nieuwe stijl' technieken, schematisch weergegeven: 1. Conventionele drainage met peilopzet, 2. Conventionele drainage met afsluitbare drains, 3. Conventionele drainage met uitstroomverhoging, 4. Ondiepe (intensievere) drainage, 5. Ondiepe (intensievere) drainage met peilopzet.

⁴⁴ Snepvangers, J., A. Peters, P. de Louw en B. Geenen. 2004. *Drainage nieuwe stijl: Drainage ten behoeve van waterconserving*. TNO-rapport NITG 04-100-B

de grond kan met drainage worden bewerkstelligd. Deze vorm van drainage wordt 'Drainage nieuwe stijl' genoemd (Figuur 31). Het onderzoek naar 'Drainage nieuwe stijl' bestond uit twee onderdelen: een literatuur- en modelstudie, en een demonstratie- en communicatietraject.

7.1 Hydrologische effecten

De hydrologische effecten van 'Drainage nieuwe stijl' zijn bepaald aan de hand van modelberekeningen met het ReizendeWaterConserverings-Maatregel (=RWCM) programma. Met RWCM kan een gebruiker, of deze nu boer, waterbeheerder of natuurbeheerder is, voor elke gewenste locatie in Noord-Brabant en Limburg het effect van waterconserveringsmaatregelen (stuwen, slootbodempverhoging of 'Drainage nieuwe stijl' technieken) doorrekenen. Binnen dit onderzoeksproject zijn scenario's met verschillende 'Drainage nieuwe stijl' technieken doorgerekend, voor twee situaties. Situatie 1 is een zandsituatie gelijkend op het demonstratieperceel Strijbeeksebeek. Situatie 2 is een venig-zandsituatie, gelijkend op demonstratieperceel Mariapeel. De resultaten in de vorm van effecten op de grondwaterstand en totale waterconservering zijn weergegeven in Figuur 32. Deze resultaten zijn gebiedsspecifiek en kunnen niet zonder meer naar andere regio's worden vertaald.



Figuur 32

Effect van vijf verschillende 'drainage nieuwe stijl' technieken op de grondwaterstand voor vier perioden in het agrarisch jaar (linker as) en de waterconservering op jaarbasis (rechter as) voor de zandsituatie en de venig-zandsituatie.

De belangrijkste conclusie uit de scenarioberekeningen is dat zowel in de zandsituatie als de venig-zandsituatie 'Drainage nieuwe stijl' positief bijdraagt aan waterconservering: - zand situatie: ca. 1000-3000 m³ per jaar waterconservering; - venig zand situatie: ca. 2500-6000 m³ per jaar waterconservering. Deze getallen gelden voor een situatie waarbij geen hydrologische grenzen aanwezig zijn rond de percelen welke de ruimtelijke verbreiding van de effecten kunnen inperken. De getallen bieden daarom inzicht in de maximaal te behalen hoeveelheden waterconservering.

De 'Drainage nieuwe stijl' technieken met peilopzet leiden tot meer waterconservering dan de technieken zonder peilopzet. Technieken met peilopzet zijn echter niet overal in Noord-Brabant en Limburg in te zetten, omdat niet overal voldoende water beschikbaar is. **Stuwpeilverhoging in combinatie met drainage zorgt voor 25-100% meer waterconservering ten opzichte van stuwpeilverhoging zonder drainage. Dit wordt veroorzaakt doordat de afstand tot open water korter is wanneer de drains onder water**

staan. In de zandsituatie is dit effect door de grotere doorlatendheid kleiner (25-35%), dan in venig-zandsituatie (90-100%).

Uit de scenarioberekeningen blijkt dat 'Drainage nieuwe stijl' zorgt voor een afname van piekafvoeren van 5-13% voor de zand-situatie en 8-28% voor de venig-zand-situatie. Dit zal positief bijdragen aan het voorkomen van wateroverlast. Ondiepe drainage met peilopzet levert 75-100% van de hoeveelheid waterconservering welke door het verwijderen van drainage kan worden behaald. Het grote voordeel van ondiepe drainage met peilopzet voor de boer is dat de grondwaterstand veel minder stijgt en minder natschade zal optreden dan bij het verwijderen van drainage. Het aanleggen van ondiepe drainage met een hogere intensiteit heeft als voordeel dat het grondwaterstandsvlak vlakker is. Echter wanneer de verhouding tussen de opbolling en de verondieping van het drainageniveau te klein wordt (ca. < 0,9) dan zal de intensieve ondiepe drainage leiden tot afname van de waterconservering, in plaats van een toename. Infiltratie via ondiepe drainage heeft naast een positief effect op de grondwaterstand ook het voordeel dat geïnfiltrerd wordt nabij of in de wortelzone. Het infiltratiewater kan zo sneller benut kunnen worden door het gewas.

7.2 Landbouwkundige effecten

Van het water dat in de grond wordt vastgehouden kunnen gewassen in droge perioden profiteren. Naar verwachting neemt het risico op natschade bij 'Drainage nieuwe stijl' technieken niet of nauwelijks toe, aangezien de technieken veel flexibiliteit bieden om het peil of het drainageniveau naar eigen inzicht te verhogen of te verlagen. Onderhoud en beheer van 'Drainage nieuwe stijl' zal over het algemeen iets meer tijd kosten dan in het geval van conventionele drainage. Echter daar staat tegenover dat verwacht wordt dat er minder beregend hoeft te worden. 'Drainage nieuwe stijl' met peilopzet is gevoelig voor vervuiling vanuit de sloot bij infiltratie. Regelmatig schonen van de sloot is nodig als de vuilvracht hoog is, eventueel moet de drainage vaker doorgespoeld worden. Ondiepe drainage met peilopzet kan niet toegepast worden in aardappelpercelen in gebieden met bruinrot, omdat risico op bruinrot niet kan worden uitgesloten. De aanlegkosten van 'Drainage nieuwe stijl' zijn nauwelijks hoger dan de kosten van conventionele drainage.

Reacties uit de praktijk - Tijdens het onderzoek is op twee workshops door boeren, waterbeheerders en bestuurders gediscussieerd over de mogelijkheden en onmogelijkheden van 'Drainage nieuwe stijl'. De workshops werden gehouden op de twee demonstratiepercelen. Hierdoor stond de wetenschap letterlijk zo dicht mogelijk bij de praktijk. De uitkomst van de workshops was dat een nuttig, nieuw instrument is ontwikkeld in de strijd tegen verdroging met potentie voor significante waterconservering in combinatie met een gezonde agrarische bedrijfsvoering. Toepassing van 'Drainage nieuwe stijl' is maatwerk en zal per regio én per boer verschillen.

7.3 Conclusies

In de literatuur- en modelstudie is aandacht besteed aan de te verwachten effecten van 'drainage nieuwe stijl' op de hydrologie en landbouwkundige praktijk. De RWCM-berekeningen brachten naar voren dat jaarlijks enkele duizenden m³'s water per ha gedraineerd oppervlak kunnen worden geconserveerd met 'drainage nieuwe stijl' technieken, afhankelijk van de geohydrologische situatie en de wateraanvoersituatie. Middels infiltratie via draineerbuizen door het opzetten van slootpeil kan het meeste extra water in de grond kan worden geconserveerd. Het ruimtelijk bereik van het opzetten van het stuwpeil wordt vergroot middels de drainage. De boer houdt bij een dergelijke situatie veel flexibiliteit, mits hij zelf de stuwen rond zijn percelen kan instellen. Wateraanvoer is echter slechts in een beperkt deel van Noord-Brabant en Limburg mogelijk, waardoor infiltratie via drainage als vorm van 'drainage nieuwe stijl' ook maar beperkt mogelijk is.

Stuwpeilverhoging in combinatie met drainage zorgt voor 25-100% meer waterconservering ten opzichte van stuwpeilverhoging zonder drainage. De combinatie drainage met stuwen zorgt er bovendien voor dat er voor boeren minder risico's zijn bij het opzetten van peilen. Grondwater zal bij het strijken van een stuw in natte situaties snel de percelen uit kunnen (korte reactietijd). Door deze vorm van 'drainage nieuwe stijl' zullen boeren gemakkelijker geneigd zijn mee te doen aan waterconserveringsprojecten; de drainage doet dan dienst als een soort 'verzekering'. Het afsluiten van drains gedurende een groot deel van het jaar heeft ook een significante uitwerking op waterconservering. Zeker voor de drogere zandgebieden, waar drainage eigenlijk alleen nodig is in extreme situaties, kan een groot deel van het jaar de drainage als het ware worden verwijderd door de buizen af te sluiten.

Uit de scenario's blijkt dat 'drainage nieuwe stijl' zorgt voor een afname van piekafvoeren met 5-28% afhankelijk van de geohydrologische situatie. Dit zal positief bijdragen aan het voorkomen van wateroverlast. **De hydrologische effecten op waterconservering van ondiepe drainage zijn zowel in de zandige als in de venige situatie positief.**

Wanneer voor een intensievere ondiepe drainage wordt gekozen is het van belang dat de hoogte van de opbolling in relatie staat tot de verondieping van de drainage. Dit om te voorkomen dat door de intensivering juist meer wordt afgevoerd in plaats van minder ten opzicht van diepe drainage. Doordat het infiltratiewater dichtbij of in de wortelzone de grond inkomt, is dit water direct beschikbaar voor de gewassen. Hierdoor wordt de beregeningsbehoefte kleiner en door vermindering van de onttrekkingen in de zomer, kan dit via een omweg de grondwaterstand verhogen.

Wat betreft de landbouwkundige effecten kan geconcludeerd worden dat de te verwachten teeltrisico's niet groter zijn dan de huidige risico's. In termen van verwachte opbrengst leidt 'drainage nieuwe stijl' niet tot minder opbrengst. Afhankelijk van meteorologische omstandigheden (neerslag en verdamping) en het gewas blijkt uit de berekeningen dat het gewas, zeker bij 'droge' omstandigheden, juist extra kan profiteren van de hogere grondwaterstanden. Deze conclusies zijn gebaseerd op berekeningen met de situatie van het demonstratieperceel Strijbeeksebeek.

Wat betreft overige landbouwkundige voorwaarden kennen de 'drainage nieuwe stijl' ieder hun eigen mogelijkheden en randvoorwaarden. In Tabel 10 is een overzicht van deze mogelijkheden en randvoorwaarden gegeven. Het demonstratie- en communicatietraject heeft als belangrijkste resultaat gehad dat zowel boeren als waterbeheerders en bestuurders kennis hebben gemaakt met 'drainage nieuwe stijl' als waterconserveringsinstrument. Uit de discussies tijdens de workshops kwam naar voren dat we er een nieuw instrument bij hebben in de strijd tegen verdroging met potentie voor significante waterconservering in combinatie met een gezonde agrarische bedrijfsvoering. 'Drainage nieuwe stijl' is echter maatwerk en het succes hangt samen met de bodemkundige, hydrologische en bedrijfsmatige situatie.

Tabel 10

Overzicht van de mogelijkheden en voorwaarden van 'drainage nieuwe stijl' technieken.

	Waterconserving (- weinig, ++ veel)	Lokale randvoorwaarden	Terrisco's Lov. traditioneel (- gelijk, ++ veel hoger)	Berijfsvoering (+ voordelen, - nadelen)	Aspecten m.b.t. aanleg, beheer en onderhoud (+/- voordelen, - nadelen, * neutraal)	Aanlegkosten traditioneel (-) gelijk, ++ veel hoger
Traditionele drainage	-	<ul style="list-style-type: none"> Geen storende lagen in de bodem (geldt voor alle drainagesystemen) 	-			
Traditionele drainage met pellopzet	++	<ul style="list-style-type: none"> alleen mogelijk bij voldoende water infiltratie vanuit drains alleen in (grofzandige bodems infiltratie via drains niet mogelijk bij aardappelen in bruinrot-risicogebieden 	-	<ul style="list-style-type: none"> minder beregeningsbehoefte betere afstemming waterhuishouding op ontwateringeisen vaker inspectie werking drains 	<ul style="list-style-type: none"> bij infiltratie zonder afschot aanleggen regelmatig schonen van sloot om vuilinspoeling drains te voorkomen bij infiltratie gevoelig voor verstopping, eventueel extra spoelen nodig, mogelijk snellere vervanging nodig 	- (+stuw)
Ondiepe drainage	+/-	<ul style="list-style-type: none"> niet mogelijk in slappe gronden i.v.m. verslemping 	-	<ul style="list-style-type: none"> minder beregeningsbehoefte belemmerd diepe (> drainage diepte) bewerking en diepwortelende gewassen niet mogelijk bij diep wortelende gewassen 	<ul style="list-style-type: none"> kleinere drainafstand, waardoor aanleg duurder is 	+
Ondiepe drainage met pellopzet	++	<ul style="list-style-type: none"> alleen mogelijk bij voldoende water mogelijkheden voor snelle peilaanpassing moeten aanwezig zijn infiltratie vanuit drains alleen in (grofzandige bodems infiltratie via drains niet mogelijk bij aardappelen in bruinrot-risicogebieden 	+/-	<ul style="list-style-type: none"> minder beregeningsbehoefte betere afstemming waterhuishouding op ontwateringeisen snelle en directe watergift omdat water infiltrteert dicht bij de wortelzone belemmerd diepe (> drainage diepte) bewerking en diepwortelende gewassen vaker inspectie van werking drains snelle peilaanpassing nodig bij extreme buien 	<ul style="list-style-type: none"> kleinere drainafstand, waardoor aanleg duurder is bij infiltratie zonder afschot aanleggen regelmatig schonen van sloot om vuilinspoeling drains te voorkomen bij infiltratie gevoelig voor verstopping, eventueel extra spoelen nodig, mogelijk snellere vervanging nodig 	+
Afsluitbare verzameldrain	+	<ul style="list-style-type: none"> ruimte in sloot (of bodem via putje) voor verzameldrains en voldoende toegankelijkheid 	--	<ul style="list-style-type: none"> minder beregeningsbehoefte goede optimalisatie mogelijk t.a.v. ontwateringeisen regelmatig instellen (bewerkelijk) bij extreme buien snel kunnen openen 	+	eenvoudige aanpassing traditionele situatie
Afsluitbare verzameldrain met uitstroombuiging	+	<ul style="list-style-type: none"> ruimte in sloot (of bodem via putje) voor verzameldrains, verhogingsstandaard en voldoende toegankelijkheid 	--	<ul style="list-style-type: none"> minder beregeningsbehoefte zeer goede optimalisatie mogelijk t.a.v. ontwateringeisen regelmatig instellen (bewerkelijk) 	+	eenvoudige aanpassing traditionele situatie

7.4 Aanbevelingen

Het is van groot belang dat in aanvulling op de modelresultaten de effecten van 'drainage nieuwe stijl' ook gemeten worden in het veld. Het doorzetten van de metingen in het demonstratieperceel Mariapeel voor minimaal twee jaar is noodzakelijk om de werkelijke effecten in beeld te kunnen brengen voor deze locatie.

1. Veldmetingen zorgen niet alleen voor validatie van de modelresultaten. Metingen leggen ook meer gewicht in de schaal bij discussies over het gebruik van 'drainage nieuwe stijl', zoals tijdens de afsluitende workshop gebleken is. Om deze redenen is het van belang ook in andere geohydrologische regio's demonstratievelden in te richten en de effecten op de grondwaterstand voor minimaal drie jaar te meten.
2. Door verbreding (qua bodemtype en hydrologische situatie) van het aantal demonstratievelden zal meer inzicht worden verkregen in de mogelijkheden van 'drainage nieuwe stijl'. Immers waterconserving (ook middels drainage 'nieuwe stijl') is maatwerk. En met meer informatie kan hierop beter worden ingespeeld.
3. In dit onderzoek is geen aandacht besteed aan de effecten van 'drainage nieuwe stijl' op de waterkwaliteit. Uit het onderzoek over de effecten van waterconserving op waterkwaliteit (Rozemeijer en Griffioen, 2004) blijkt dat de aan- of afwezigheid van buisdrainage invloed kan hebben op de waterkwaliteit. Meer onderzoek over de effecten van 'drainage nieuwe stijl' op zowel de waterkwaliteit is nodig.

8 Samengestelde regelbare drainage in Nederland geagendeerd (2006)

Auteur(s):

L.C.P.M. Stuyt en P.J.T. van Bakel

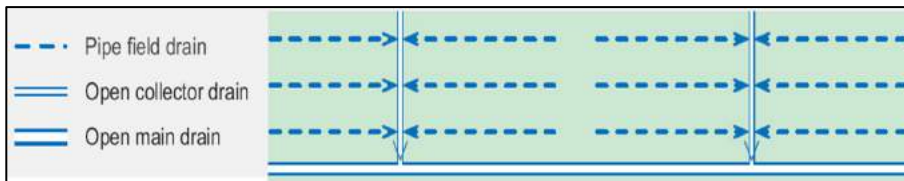
8.1 Inleiding

In 2006 brengt de heer A. van Iersel, woonachtig te Nederweert, een systeem voor regelbare drainage onder de aandacht. Dit systeem houdt in dat drains diep worden aangelegd en het drainagewater via een gesloten verzameldrain (buis) naar een verzamelput wordt gevoerd. In deze put kan het niveau van uitstroming (de ontwateringsbasis voor alle via de verzameldrain op de put aangesloten drains) worden geregeld door de lengte van de verticale pijp te variëren.

Het uitstroomniveau ligt hoger dan de drains. De drains bevinden zich dus meestentijds, en zeker in perioden met afvoer, enige decimeters onder de laagste grondwaterstand (die zich recht boven de drains bevindt). Hoewel dit ontwerp in het buitenland zeer gebruikelijk is (het Nederlandse ontwerp met open collectorsloten wordt elders nauwelijks toegepast), claimt Van Iersel een aantal voordelen van 'zijn' systeem vergeleken met de in Nederland gebruikelijke manier van draineren (drains komen boven water uit in een sloot). De belangrijkste zijn dat de hoogte van de uitstroomopening tot 30 cm beneden maaiveld kan worden ingesteld waardoor drainage niet leidt tot verdroging en dat een herverdeling van water binnen het perceel wordt bevorderd. Voor het waterschap Peel en Maasvallei is van belang of deze claims hout snijden zodat men zich een oordeel kan vormen over dit systeem en in het verlengde daarvan beleid kunnen ontwikkelen. Hetzij restrictief, want de kans op verdroging of hoge afvoeren neemt toe, of stimulerend want het systeem biedt voordelen ten aanzien van waterconservering en verminderen van uitspoeling van nutriënten naar grond- en oppervlaktewater. Daarom is Alterra in 2006 gevraagd een advies uit te brengen, op basis van een veldbezoek en expertise.

8.2 Configuratie diverse drainagesystemen

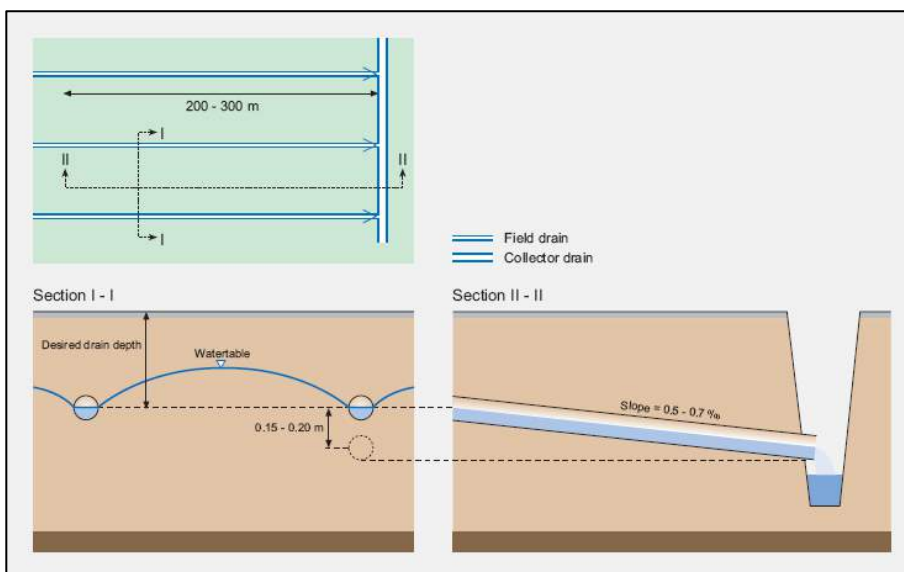
Het in Nederland gebruikelijke enkelvoudige drainagesysteem bestaat uit drains die, onder invloed van de zwaartekracht, afvoeren in open collectorsloten. In Nederland wordt het zogenaamde 'tweezijdige' ontwerp toegepast. Bij dit ontwerp dat geschikt is voor niet-geaccidenteerd terrein stroomt het grondwater vanuit twee richtingen naar de drains; zie Figuur 33.



Figuur 33

Ontwerp van enkelvoudige drainagesystemen, voor vlakliggend terrein (Nijland et al., 2005).

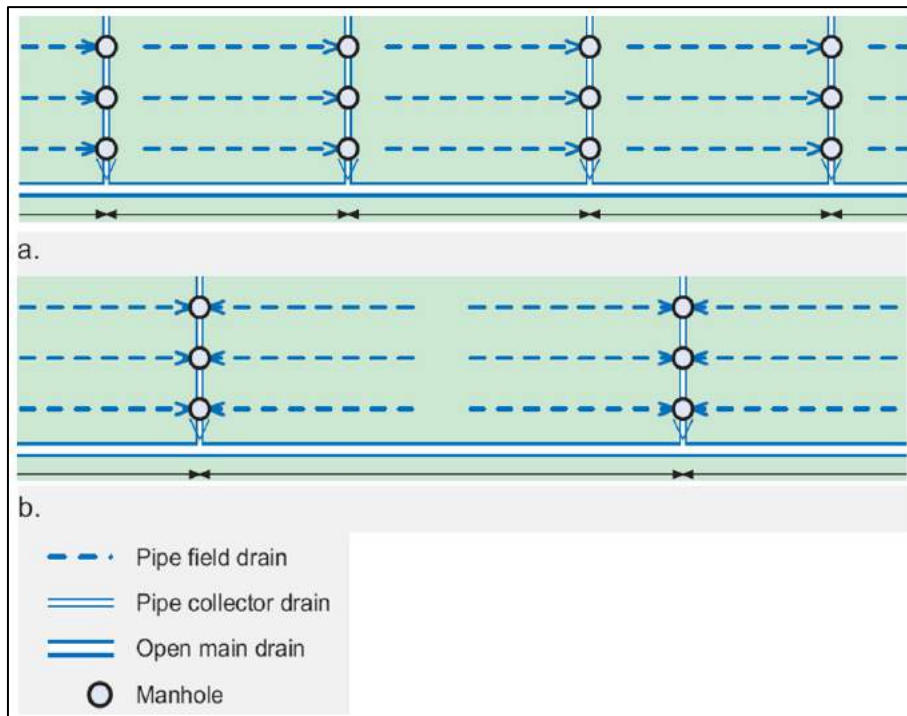
De maximumlengte van de drains bedraagt ca. 300 m wegens de wens om drains door te spuiten en de afvoercapaciteit van de $\varnothing 60$ mm drainbuizen. Het hoogteverschil tussen de draindiepte bovenstrooms en de eindbuis bij de sloot bedraagt in vlak terrein bij 300 m drainlengte 15 à 20 cm; zie Figuur 34.



Figuur 34

Het verband tussen de minimaal gewenste draindiepte en het maximum waterniveau in de collectorsloot.

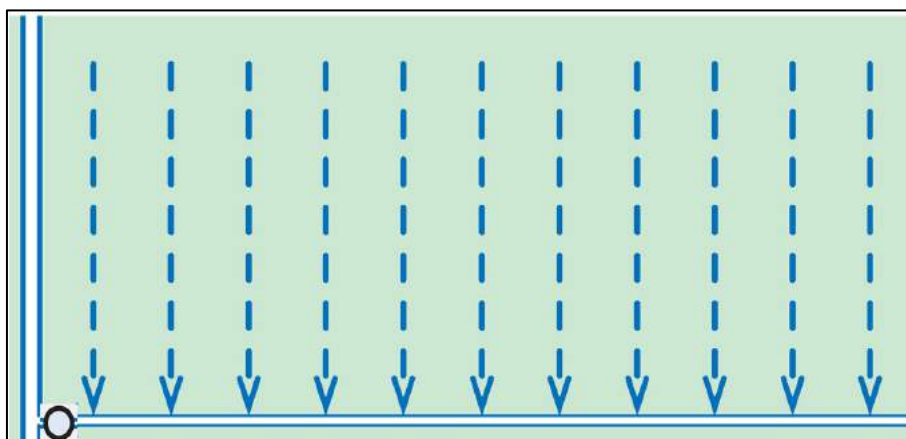
Een samengesteld drainagesysteem, zoals voorgesteld door de heer Van Iersel bestaat uit drains die afvoeren naar (en dus uitmonden in) een gesloten buiscollector. In het buitenland, waar landbouwpercelen doorgaans groter zijn dan in ons land, zijn twee ontwerpen gebruikelijk: een ontwerp met enkelzijdige toestroming naar drains, voor hellend terrein, zie Figuur 35a, en een ontwerp met tweezijdige toestroming; zie Figuur 35b.



Figuur 35

Ontwerp van samengestelde drainagesystemen, voor hellend terrein (a) en vlakliggend terrein (b) (Nijland et al., 2005).

Het essentiële verschil tussen een enkelvoudig en een samengesteld drainagesysteem is, dat de drains in een enkelvoudig systeem in een sloot uitmonden, en in een samengesteld systeem in een buis. Het door de heer Van Iersel voorgestelde drainageontwerp is een versimpeling van het in Figuur 35a getoonde samengestelde drainagesysteem; zie Figuur 36. De heer Van Iersel beschikt over een opengewerkt prototype van de verzamelput met aangesloten ontwateringsmiddelen, waaronder een permeabele collectorbuis; zie Figuur 37 en Figuur 38.



Figuur 36

Het drainageontwerp, voorgesteld door de heer Van Iersel. Alle drains worden aangesloten op een verzamelrain; de afwatering verloopt via een verzamelput met variabele drainagebasis (het cirkeltje in de figuur).



Figuur 37

PVC verzamelput naar een ontwerp van de heer Van Iersel. Het drainagewater bereikt de put via een 100 mm collectorbuis waarop de 60 mm drains zijn aangesloten (linksboven); de ontwateringsbasis wordt ingesteld door een verticaal stuk PVC-buis dat centraal in de verzamelput is bevestigd (rechtsboven) (foto's: L.C.P.M. Stuyt).



Figuur 38

Verzamelputten van het systeem 'Van Iersel' (foto's: L.C.P.M. Stuyt).

8.3 Van Iersel breekt lans voor samengestelde regelbare drainage (2006)

Op 17 maart 2006 brengt de heer A. van Iersel in een gesprek met deskundigen een aantal voordelen van samengestelde, regelbare drainage naar voren. Deze zijn op te splitsen in 'claims' ten aanzien van de technische uitvoering, en 'hydrologische claims'. Zij worden hierna gedetailleerd beschreven en van commentaar voorzien.

8.3.1 Technische claims

De voordelen van samengestelde, regelbare drainage zijn:

- een kleinere lengte aan kavelsloten per oppervlakte-eenheid;
- een minder grote belemmering bij veldwerkzaamheden, geen spuitvrije zones;
- minder slootonderhoud (kosten);
- er kan desgewenst gemakkelijk gepompt worden omdat er slechts één afvoerpunt is voor een 'blok' drains.

De nadelen van een samengesteld drainagesysteem zijn:

- tijdens de constructie moeten drains en verzameldrains nauwkeurig op elkaar worden aangesloten;
- controle van het functioneren van samengestelde drainage is moeilijker dan dat van enkelvoudige systemen;
- de vorming van luchtinsluitingen ('luchtbellen') die de afvoer van bovenstrooms gelegen drainsectie(s) volledig blokkeren vormt een extra risico omdat er meer plaatsen zijn waar deze insluitingen kunnen ontstaan (de collectorbuis) en naar verwachting moeilijker zullen verdwijnen dan bij enkelvoudige systemen;
- voor regulier drainonderhoud (doorspuiten) zijn speciale hulpstukken en/of ontwerpaanpassingen vereist;
- drains en verzameldrains kunnen niet met dezelfde machines worden geïnstalleerd;
- samengestelde drainagesystemen zijn aanzienlijk duurder dan enkelvoudige systemen.

8.3.2 Hydrologische claims

8.3.2.1 Meer water conserveren

Achtergronden

Water conserveren kan worden gedefinieerd als het nemen van maatregelen gericht op het structureel vasthouden van het neerslagoverschot in de winter, om het neerslagtekort in de zomer beter te kunnen opvangen. Dit streven kan mede worden gerealiseerd door de grondwaterstand aan het begin van het groeiseizoen minder diep te laten uitzakken, door de ontwateringsbasis (structureel of tijdelijk) te verhogen. Met de aanleg van regelbare buisdrainage (waardoor de ontwateringweerstand aanmerkelijk wordt verlaagd; bijvoorbeeld van 300 naar ca. 70 dagen) kan de drainagebasis met circa 50 cm worden verhoogd zonder daarmee de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG⁴⁵) te verhogen.

Als de gemiddelde grondwaterstand in een perceel ongeveer samenvalt met het GHG-niveau bedraagt de afvoer in veel situaties rond 2,5 mm/d. Dit gaat op ongedraineerde percelen gepaard met een opbolling⁴⁶ van

⁴⁵ De GHG is een algemeen geaccepteerde indicator voor kans op wateroverlast in de landbouw.

⁴⁶ Het maximale hoogteverschil (m) tussen de grondwaterspiegel en het al dan niet horizontale vlak door de waterspiegels van de leidingen (Bron: Hydrologische woordenlijst, uitg. NHI, 2002, pag. 80)

75 cm (gerekend ten opzichte van de vrije waterspiegel in de perceelsloot), en op gedraineerde percelen met een opbolling van 15 cm (gerekend ten opzichte van de diepteligging van de drains). Op deze simpele stationaire beschouwing is echter het nodige af te dingen. Het verschil in opbolling tussen 'gedraineerd' en 'ongedraineerd' is in de praktijk vaak minder groot, bijvoorbeeld 40 cm.

Als, conform de hierboven genoemde uitgangspunten, drainage is geïnstalleerd stopt de afvoer op de overgang van een situatie met een neerslagoverschot naar die met een neerslagtekort eerder, waardoor - in theorie - de gemiddelde grondwaterstand aan het begin van het groeiseizoen bij aanwezigheid van drainage 40 cm hoger is, hetgeen op zandgronden overeenkomt met circa 40 mm extra beschikbaar vocht. Hierbij is echter geen rekening gehouden met het feit dat de wegzijging naar aanwezige sloten en beken in de omgeving door de hogere grondwaterstanden toeneemt en dat in de zomer niet altijd behoefte is aan extra mm's water. Een meer realistische schatting is daarom een conserveringseffect van 20 mm per jaar (Van Bakel, 1986).

Claim

De claim is dat door de hogere ontwateringsbasis vergeleken met de situatie zonder drainage of vergeleken met de conventionele vorm van drainage de grondwaterstanden aan het begin van het groeiseizoen (peildatum 1 april) gemiddeld hoger zijn waardoor er water wordt geconserveerd en waardoor er in de zomer minder droogteschade optreedt.

Expertoordeel

Deze claim is terecht, zij het dat het gerealiseerde effect niet gekoppeld is aan het systeem 'van Iersel' maar aan het feit dat er gedraineerd wordt met gelijktijdige verhoging van de ontwateringsbasis.

8.3.2.2 Herverdelen van water binnen gedraineerd perceel

Achtergronden

Van nature zijn er ruimtelijke verschillen in hoogteligging en ander relevante hydrologische en bodemkundige eigenschappen. Voor de landbouw is dat ongewenst en het streven is gericht op het zo veel mogelijk opheffen van verschillen. Dit geldt ook voor verschillen in vochtvoorziening.

De claim

De claim is dat er door de drains die ruim onder de grondwaterspiegel zitten een herverdeling van water kan plaatsvinden waardoor er niet onnodig water wordt afgevoerd (dus ook een waterconserveringseffect). Bij ondiep aangelegde drains die niet onder water liggen kan er geen sprake zijn van herverdeling. Deze claim wordt volgens de heer Van Iersel ondersteund met de drainage op het laatst bezochte perceel. Sinds de aanleg heeft hier geen afvoer plaats gevonden terwijl er geen water meer op het land komt te staan in de lage delen in regenrijke perioden.

Expertoordeel

Ook zonder drains vindt er binnen een perceel stroming van grondwater plaats van plekken met een hogere grondwaterstand naar plekken met een lagere grondwaterstand. Echter, de weerstand tegen deze vorm van grondwaterstroming is groter dan de stromingsweerstand tegen stroming in drainbuizen. In situaties waarbij de lageregelegen plekken tijdens neerslag een hogere grondwaterstand krijgen dan de omgeving (hetzij omdat de dikte van de onverzadigde zone hier geringer is waardoor de neerslag sneller het freatisch vlak bereikt, hetzij omdat water over het maaiveld of door de bouwvoor in de richting van de lagere plekken stroomt) zou sprake kunnen zijn van de geclaimde effecten. Nadere kwantificering is daarom gewenst. In perioden van capillaire opstijging is de capillaire opstijging in de lage delen van het perceel in potentie hoger waardoor de grondwaterstand lager komt dan in de omgeving. Via de drains kan dit verschil worden vereffend met als

gevolg minder grondwaterstands daling in de lage delen maar meer grondwaterstands daling en daardoor kans op extra droogteschade op de hogere delen. De effecten zijn echter zeer beperkt: met een doorlaatvermogen van het bovenste watervoerende pakket (kD-waarde) van 300 m²/d (een representatieve waarde voor Nederweert en omstreken zijn de grondwaterstandsverschillen in de zomer binnen een perceel beperkt tot enkele centimeters.

Een plausibele verklaring voor het wegvallen van de afvoer nadat er is gedraineerd is dat door het verhogen van de ontwateringsbasis er als het ware een 'waterbult' ter plekke van het perceel wordt gecreëerd met extra wegzijging naar de omgeving tot gevolg. In paragraaf 4 zal hier nader op worden ingegaan. Een mogelijke verklaring voor het niet meer voorkomen van plassen is dat bij de aanleg van de drainage storende (leem)lagen zijn gebroken.

De claim van herverdelen van water binnen een gedraineerd perceel is overigens ook mogelijk bij aanwezigheid van een collectorsloot, mits de drains onder de slootwaterspiegel uitmonden.

8.3.2.3 Maatwerk per perceel

Achtergronden

Bij aanleg van buisdrainage op de gebruikelijke wijze monden de drains uit in een sloot. Aangezien een sloot een hinderlijk object is bij de bewerking wordt deze sloot altijd gelegd op de perceelsranden, waarbij meestal de reeds aanwezige sloten worden gebruikt.

De claim

De claim is: de verzameldrain hoeft niet per se gelegd te worden op de plaats waar anders de perceelsloot zou liggen. Ook hebben de burenen geen last van de sloot omdat hij niet gegraven hoeft te worden c.q. verdiept zou moeten worden.

Expertoordeel

In specifieke situaties is het denkbaar dat deze claim gerechtvaardigd is, bijvoorbeeld als de meest logische plek van de verzamelsloot niet aan de rand van het perceel ligt. Een collectorbuis biedt flexibiliteit omdat het ontwerp van drainagesystemen niet langer afhankelijk is van bestaande collectorsloten.

De claim dat de burenen geen last van hebben van de aanleg is correct als de verzameldrain zelf geen drainerende werking heeft en als de sloot op eigendomsgrenzen ligt. Daar staat tegenover dat het dempen van een sloot ook ongewenste effecten kan hebben voor de burenen en dus de sloot in de meeste gevallen moet worden gehandhaafd.

8.3.2.4 Vermindering belasting grond- en oppervlaktewater met nutriënten

Achtergronden

Met het oog op de wateropgave die voortvloeit uit de KRW is het van groot belang de effecten van maatregelen zoals de aanleg van buisdrainage te toetsen op effecten op de nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater.

De claim

Door Van Iersel wordt dit wel genoemd maar hij kan dat niet echt hard maken. Hij ontleent dit aan literatuuronderzoek (via internet).

Expertoordeel

De effecten van de aanleg van diep aangelegde drains op de uitspoeling van fosfaat naar het oppervlaktewater is onderwerp van onderzoek in het kader van de P-pilot Limburg. Uit de literatuur (Schoumans, 1995; Kruijne, 1996) is af te leiden dat aanleg van buisdrainage in potentie de P-belasting naar het oppervlaktewater sterk kan reduceren, mits de drains diep worden aangelegd (in verband met verblijftijden en lengte van de afgelegde weg in het verzadigde grondwater), en de drainage zorgt voor een verlaging van de hoogste grondwaterstanden tot beneden de onderkant van de fosfaatverzadigde laag. Deze grens valt veelal samen met de onderkant van de wortelzone. Indien de aanleg van drainage er voor zorgt dat de hoogste grondwaterstanden (GHG-niveau en hoger) minder hoog zijn dan zonder aanleg van drainage is deze claim terecht. Daar komt nog bij dat bij grondwaterstanden tot in de wortelzone of tot in het maaiveld de kans op het optreden van oppervlakkige en oppervlakte-afvoer sterk toeneemt. Zeker als dat optreedt vlak na een mestinjectie of bemesting met kunstmest is de P-belasting op het oppervlaktewater groot (Van der Salm et al., 2006). Met oppervlakte-afvoer kunnen ook bodemdeeltjes worden meegevoerd waaraan fosfaat is gehecht. De belasting via deze route is minder goed te kwantificeren.

Daarom: als drainage resulteert in minder oppervlakkige en oppervlakte-afvoer wordt de claim nog eens versterkt. En bij het systeem Van Iersel is de mogelijkheid dat oppervlakte-afvoer in de sloot komt niet meer aanwezig.

Door TNO (Griffioen en Rozemeijer, 2004) is in het kader van het onderzoek Benelux-middengebied nagegaan of waterconservering leidt tot veranderingen van het water- en stoftransport in de het verzadigde en onverzadigde grondwatersysteem. De belangrijkste conclusie was de kans op belasting van het oppervlaktewater met fosfaat, cadmium en koper toeneemt als de grondwaterstanden frequenter stijgen tot in de bovenste 20 cm van de bodem omdat die in de regel het meest verontreinigd is. Dit is een bevestiging van bovenstaande analyse.

Voor stikstof geldt een andere redenering. De veronderstelling is dat de uitspoeling van nitraat naar het grondwater sterk wordt bepaald door de grondwaterstanden in de zomer. Hoe hoger, hoe meer denitrificatie. Maar ook de wintersituatie (die van nature natter is) zorgt voor denitrificatie. Hoe natter, hoe minder de nitraatbelasting van het grondwater en oppervlaktewater via de doordegrondse route. Echter, als nattere omstandigheden resulteren in meer oppervlakte-afvoer, is er kans op hoge belasting met N van het oppervlaktewater, zeker bij hevige regenval na een mestinjectie (Van der Salm et al, 2006)

Daarom: als de aanleg van drainage zorgt voor gemiddeld hogere grondwaterstanden en minder kans op oppervlakte- en oppervlakkige afvoer leidt dat tot minder N-belasting van grond- en oppervlaktewater.

Echter, door de aanleg van buisdrainage wordt de verblijftijdspreiding van water in het grondwatersysteem drastisch veranderd omdat de waterscheiding slechts (bijvoorbeeld) 4 m verwijderd is van de drain terwijl dat bij sloten bijvoorbeeld 100 m is. Bovendien concentreren de stroomlijnen zich bij de aanwezigheid van drains veel meer bovenin het freatisch pakket waardoor de verblijftijden nog korter worden. Kortere verblijftijden en kortere routes betekenen dat de kans op afbraak of vastlegging van N en P op weg naar het ontwateringsmiddel kleiner wordt. Belangrijk is dus dat de drains zo diep mogelijk worden aangelegd waardoor de afgelegde weg langer wordt en de kans op kortsluitstromen ook kleiner wordt omdat de verzadigde waterlaag boven de drains eventuele kortsluitstroming in de onverzadigde zone voor een deel wegmiddelt. Stikstof en fosfaat gedragen zich in dit opzicht duidelijk verschillend. Bij fosfaat is veel meer sprake van een scherpe overgang in de bodem en dus is het effect van kortere verblijftijden en afgelegde weg als gevolg van de aanleg van drainage minder 'bedreigend' zolang fosfaat niet wordt gemobiliseerd door nattere omstandigheden. Stikstof is veel mobieler en de kans op extra belasting op het oppervlaktewater door de aanleg van drainage is groter. Alles staat of valt met de denitrificatiecapaciteit van de bovenste meters van de bodem in relatie tot de natheid. Zonder nader onderzoek is niet aan te geven hoe groot de risico's zijn.

Het 'systeem Van Iersel' heeft als onmiskenbaar voordeel dat de drains dieper liggen (en nog dieper kunnen worden gelegd) vergeleken met de conventionele vorm van draineren waarbij de drains boven water moeten uitkomen. Van Iersel adviseert een diepte van ca. 1,10 m maar uit oogpunt van waterkwaliteit geldt: hoe dieper hoe beter. Maar aangezien de drains sleufloos moeten worden aangelegd (omdat anders water via de drainsleuf kan kortsluiten met grotere kans op doorslaan van nutriënten) is een diepte van 1,50 m de grens. Overigens, bij de conventionele vorm van drainage kunnen de drains ook dieper worden aangelegd dan gebruikelijk mits wordt toegestaan dat ze onder water uit mogen komen.

In sloten kan een deel van de nutriënten in de slootbodem achterblijven of via maaisel weer op het land worden teruggebracht. Ook treedt er denitrificatie op. Deze zogenoemde retentiewerking is nog slecht te kwantificeren maar is zeker een belangrijk aandachtspunt bij het treffen van maatregelen om de KRW-doelstellingen te halen zeker als je de sloten daarbij actief wilt inzetten, bijvoorbeeld door extra retentie te creëren met natte bufferstroken. Bij het systeem Van Iersel wordt deze mogelijkheid afgesloten.

Al met al een gecompliceerd verhaal. Het is niet aan te geven welk effect gaat overheersen. De verwachting is dat vooral het onderdrukken/voorkomen van oppervlakte- en oppervlakkige afvoer de doorslag geeft. Bij drainage op sloten kan door het aanbrengen van een klein dammetje oppervlakte-afvoer ook worden voorkomen al is het aantrekkelijk voor de boer dit dammetje bij water op het land door te graven. Voorkómen van oppervlakteafvoer hoort onderdeel te zijn van Goede Landbouwkundige Praktijk (GLP).

8.3.2.5 Beheersing van piekafvoeren

Achtergronden

Een belangrijke wateropgave voor waterschappen is: de gevolgen van klimaatverandering op de frequentie van optreden van hoge afvoeren niet afwentelen op de benedenstreams gelegen burens maar opvangen in het gebied zelf door maatregelen te nemen in de voorkeursvolgorde vasthouden-bergen-afvoeren. Vasthouden van water is bergen bij de bron; daarom is het van belang om na te gaan of de aanleg van drainage volgens het systeem Van Iersel 'vasthouden' bevordert.

De claim

Deze claim is door Van Iersel niet expliciet genoemd. Voor het waterschap is deze claim echter zeer relevant en daarom zal er nader op worden ingegaan.

Expertoordeel

Aanleg van drainage met gelijktijdige verhoging van de ontwateringsbasis heeft twee tegengestelde effecten:

- de drainageweerstand wordt sterk gereduceerd waardoor de reactie van de afvoer op de neerslag sterk wordt versneld. Het gegeven dat de afvoer al vrij snel na het beging van de piek veroorzakende gebeurtenis hoog wordt is gunstig omdat een aanzienlijk deel van de neerslag snel tot afstroming komt en daarom niet meer aan de piek zal kunnen bijdragen;
- de geringe drainageweerstand kan er voor zorgen dat niet alle berging in de bodem wordt aangesproken omdat de grondwaterstand niet tot in het maaiveld stijgt. Het gevolg kan zijn dat in niet al te extreme situaties de piekafvoeren toenemen maar bij echt extreme situaties afnemen. Uit verkennende berekeningen is een omgekeerd effect te zien: de maatgevende afvoeren in een bepaalde variant nemen af van 10 naar 9 mm/d, terwijl de afvoeren met een herhalingstijd van 10 jaar stijgen van 16 naar 21 mm/d. Ook is te zien dat bij het nog verder verhogen van de ontwateringsbasis de piekafvoeren aanzienlijk groter kunnen worden; zelfs groter dan die in de uitgangssituatie;

- echte piekafvoeren kunnen alleen maar worden veroorzaakt door oppervlakte-afvoeren. Indien deze door de aanleg van drainage worden onderdrukt geeft aanleg van drainage een piekafvoerverlagende werking. Dit effect is niet exclusief te koppelen aan het systeem Van Iersel;
- door het niet aanwezig zijn van een collectorsloot wordt oppervlakte-afvoer fysiek onmogelijk. In de verkennende berekeningen met het SWAP-model wordt de maatgevende afvoer door het onderdrukken van maaiveld drainage en oppervlakkige afvoer gereduceerd van 14 tot 10 mm/d.
- Het netto effect is dus moeilijk aan te geven, en is niet voor alle herhalingstijden gelijk. De berekeningen indiceren weinig effect zolang de drainagebasis niet te ondiep wordt.

Een (niet door Van Iersel onderkende) claim is dat je door het slim dimensioneren van de uitlooppijpje als het ware een knijpduikerconstructie cadeau krijgt. ('Het slimme knijppijpje van Van Iersel'). Deze claim heeft zeker potentie maar dient nader te worden gekwantificeerd. Het is immers niet uitgesloten dat de buisdiameters van de verzameldrain en de uitstroomopening niet gedimensioneerd zijn op de in de bewuste regio gebruikelijke maatgevende afvoer (8,6 mm/d). De indicatieve berekeningen laten een duidelijk effect zien van 'slim knijpen'.

8.3.2.6 De 'angst' voor verdroging

Achtergronden

Verdroging is een erkend milieuprobleem; er is veel beleid op ingezet om het areaal verdroogde natuurterreinen terug te dringen. Een belangrijke wateropgave voor waterschappen is derhalve het nemen van maatregelen om verdroging op te heffen. De verbeterde ont- en afwatering ten behoeve van de landbouw is een belangrijke oorzaak van de verdroging (naar schatting zo'n 20 cm structurele verlaging van de grondwaterstand in het vrij afwaterende deel van Nederland).

De claim

Van Iersel zegt dat de angst voor verdrogende werking door de aanleg van zijn systeem ongegrond is. Immers, de ontwateringsbasis kan aanzienlijk worden verhoogd en boeren zullen dat ook doen omdat ze daar de voordelen van zien. Per saldo zal dat resulteren in gemiddeld hogere grondwaterstanden. In plaats van een bedreiging is het dus een kans.

Expertoordeel

De kans bestaat dat op nattere percelen de aanleg van drainage niet gepaard gaat met de gewenste verhoging van de ontwateringsbasis van zo'n 40 cm, waardoor per saldo een verdrogende werking optreedt. Dit kan alleen worden voorkomen door bij het verlenen van vergunning de aanleg aan voorwaarden te verbinden en de naleving ervan te controleren.

8.3.2.7 Gebruik van regelbare drainage als infiltratiemiddel

Achtergronden

Vochttekorten in de zomer kunnen worden bestreden door middel van beregenen met grond- of oppervlaktewater of door middel van infiltreren van oppervlaktewater via drains. Het nadeel van infiltreren via drains is dat de efficiëntie (quotient van toename verdamping en wateraanvoer) veel lager is dan bij beregenen omdat de grondwaterstand op een hoog niveau wordt gehouden en je dus de natuurlijke reservoirfunctie van de bodem voor een belangrijk deel uitschakelt. Voor intensieve teelten is infiltratie niet altijd geschikt omdat soms beregend moet worden om een gewas te laten aanslaan. En last but not least: op de meeste plaatsen in het waterschap is er geen infrastructuur en/of geen water om alle gedraineerde percelen van water te voorzien. Voor de landbouwgebieden rond de Grootte Peel ligt dat anders omdat wateraanvoer daar is of wordt

gerealiseerd en het gebied er in topografische zin ook geschikt(er) voor is. Aangezien het grootste deel van het via de drains geïnfilterde water ten goede komt aan het grondwater, in de vorm van minder grondwaterstandsval in de zomer, is het - althans, in theorie - een prima maatregel om verdroging te bestrijden.

De claim

Desgevraagd ziet Van Iersel geen beperkingen om zijn systeem ook te gebruiken als infiltratiemiddel.

Expertoordeel

De volgende vraag is of het systeem van Van Iersel geschikt is voor infiltratie. In technische zin moet het mogelijk zijn, maar ten opzichte van het conventionele ontwerp waarbij drains in de sloot uitmonden is een samengesteld drainagesysteem als dat van Van Iersel gevoelig voor storingen. Deze gevoeligheid wordt veroorzaakt door het intreden van lucht (of andere gassen) in het systeem. Zulke gassen, die bij (bio)chemische processen in de bodem kunnen ontstaan, kunnen de stroming van water gedeels blokkeren. De gesloten geometrie van het systeem met een buiscollector verhindert dat eenmaal ontstane luchtbelletjes het systeem gemakkelijk kunnen verlaten. Zeker als er sprake is van gasvorming in de collectorbuis kunnen aanzienlijke gedeelten van een drainagesysteem worden 'uitgeschakeld' en is vaststellen en lokaliseren van (de oorzaak van) de fout niet gemakkelijk. Evacuatie van lucht is bij conventionele, enkelvoudige drainagesystemen overigens ook vaak problematisch.

Samengestelde drainagesystemen in het buitenland zijn ruimer en grootschaliger ontworpen dan het door Van Iersel voorgestelde systeem: er wordt gewerkt met grotere buisdiameters, inspectieputten bij elke drain enzovoorts. Hierdoor zijn deze systemen minder gevoelig voor storingen dan de buitenlandse; dit geldt ook voor ondergrondse infiltratie.

8.4 Regionale beschouwingen

8.4.1 Inleiding

In bovenstaande analyses is het systeem Van Iersel beschouwd op perceelsniveau. Echter in met name zandgebieden is de uitstraling van maatregelen die je op een perceel neemt naar de omgeving aanzienlijk. Dit heeft alles te maken met het doorlaatvermogen van ondiepe watervoerende pakketten en het nagenoeg ontbreken van weerstand biedende lagen tussen freatisch pakket en ondiepe watervoerende pakketten. Een regionale beschouwing is daarom noodzakelijk.

8.4.2 'Grondwaterbulten' en 'grondwaterdalen'

Als in de regio Nederweert op een perceel drainage wordt aangelegd wordt ter plekke van dit perceel tijdens natte perioden een gemiddelde grondwaterstandsverlaging van circa 30 cm gerealiseerd. Bij een doorlaatvermogen (kD) van 100 m²/d boven de eerste scheidende laag (Van der Gaast en Massop, 2005), een doorsnede van het perceel van 200 m (ruim 3 ha) en een grondwaterstandsverlaging op 300 m afstand van de rand van het perceel van 10 cm, waarmee het stijghoogteverschil 20 cm bedraagt, veroorzaakt deze verlaging (in theorie) een grondwaterstroming van ruim 170 m³/d (ruim 5 mm/d). Omgekeerd geldt dat bij een verhoging van de ontwateringsbasis met circa 40 cm, in combinatie met drainage, de grondwaterstand structureel hoger zal zijn, met wegzijging tot gevolg. Bij een structurele verhoging van de grondwaterstand van 20 cm bedraagt de geïnduceerde wegzijging uit ons voorbeeldperceel circa 2,5 mm/d.

In beide gevallen is sprake van tamelijk hoge waarden. Daarom moet rekening worden gehouden met verticale stromingsweerstand; bij substantiële verticale stromingsweerstand tussen het freatisch pakket en het eerste watervoerende pakket zijn deze effecten immers aanzienlijk kleiner. In het kader van het project 'P-pilot Limburg' is voor een 3,5 ha groot perceel in Vlakbroek berekend dat de wegzijging na een grondwaterstandsverhoging met 56 cm bij een c-waarde van 100 dagen 4 mm/d bedraagt. Bij een c-waarde van 10 dagen wordt een wegzijging van 11 mm/d berekend. De kD-waarden ter plaatse zijn gesteld op 300 m²/d, vergelijkbaar met ons voorbeeldperceel. Een verhoging van de grondwaterstand in ons voorbeeldperceel van 20 cm betekent een geïnduceerde wegzijging van zo'n 1,5 à 4 mm/d, als op geringe diepte sprake is van een aanzienlijke resp. geringe stromingsweerstand. Dit zijn nog steeds aanzienlijke waarden. Deze cijfers illustreren dat de veronderstelde gunstige effecten van het systeem 'Van Iersel' op bijv. waterconserving op een 'Van Iersel-gedraineerd perceel' minder groot zijn dan wordt gesuggereerd.

De door de verhoogde drainagebasis veroorzaakte wegzijging is mogelijk een verklaring voor het feit dat de systemen 'van Iersel' bij het veldbezoek dd. 17 maart 2006 niet afvoerden, en dat één week eerder op de gedraineerde percelen al mest kon worden geïnjecteerd. De 'buren' zorgden voor de drainage.

De conclusie is dat een 'Van Iersel-gedraineerd perceel' perceel niet als een hydrologisch eiland mag beschouwen en men zich dus rekenschap moet geven van 'weglekeffecten' als men als niet op meer nabijgelegen percelen drainage gaat aanleggen. Zulke effecten worden immers - per eenheid van oppervlakte - in toenemende mate geringer naarmate je dezelfde maatregel over een groter oppervlak treft.

8.4.3 Consequenties voor het waterbeheer

Het feit dat via het grondwatersysteem sprake is van een grote ruimtelijke samenhang leidt ertoe dat mogelijke voordelen van het systeem Van Iersel (met name de waterconserving) pas ten volle worden behaald als op redelijk grote schaal wordt doorgevoerd en dat het peilbeheer in de hoofdwaterlopen daarop wordt afgestemd, i.c. waar zo hoog mogelijke peilen worden gehandhaafd omdat de laagstgelegen plekken zijn of worden gedraineerd en dus een hoger streefpeil kunnen krijgen. Aangezien te verwachten is dat niet alle boeren zich zullen 'bekeran' tot het systeem Van Iersel (of vergelijkbaar systeem) ligt hier nog een (her)inrichtingsopgave ('Reconstructie op waterbasis').

8.5 Conclusies en aanbevelingen (2006)

8.5.1 Conclusies

In de vorige hoofdstukken zijn de claims van de heer Van Iersel besproken en is er ook een expertoordeel over gegeven. Ook is er stilgestaan bij de relaties met de regionale hydrologie. In algemene zin zijn de volgende conclusies te trekken:

- De technologie van het systeem Van Iersel is niet nieuw. In het buitenland is het de standaard manier van draineren. De gedachte om een samengesteld drainagesysteem in Nederland toe te passen is evenmin innovatief; al ruim 50 jaar geleden werd in de Noordoostpolder het samengestelde Ramspol-drainagesysteem gebruikt. De in het buitenland gebruikelijke samengestelde drainagesystemen bestaan overigens uit componenten die enigszins zijn overgedimensioneerd om de kans op storingen te verkleinen.
- Het systeem Van Iersel heeft een aantal voordelen:
 - omdat geen collectorsloot nodig is, is de perceelsinrichting flexibeler;
 - minder sloten geeft ook minder verlies aan grond waarop landbouw kan worden bedreven;

- door het ontbreken van de collectorsloot is oppervlakteafvoer fysiek onmogelijk waardoor zowel de piekafvoeren als de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten en andere stoffen wordt gereduceerd;
- aanleg van drainage met gelijktijdige verhoging van de ontwateringsbasis biedt mogelijkheden om de grondwaterstand structureel te verhogen terwijl in natte situaties de grondwaterstand lager is. Daarmee kan een bijdrage worden geleverd aan zowel de verdrogingsbestrijding als de reductie van P-belasting op het oppervlaktewater. Dit is echter niet exclusief een voordeel van 'Van Iersel' ten opzichte van normaal aangelegde drainage;
- het systeem 'Van Iersel' biedt goede mogelijkheden voor waterconservering c.q. 'controlled drainage', maar ook dit is niet exclusief een voordeel van het systeem ten opzichte van een drainagesysteem waarbij de openwaterstand in de collectorsloot kan worden gereguleerd.
- Nadelen zijn er ook:
 - controle op de werking van de drains is moeilijker;
 - lokaliseren van blokkades van drainafvoer is moeilijk;
 - onderhoud is ook moeilijker uitvoerbaar;
 - de aanleg is duurder;
 - het risico van storingen (luchtinsluitingen e.d.) is groter;
 - de kans bestaat dat de grond door de verkorting van verblijftijden en kortere stroombanen eerder 'doorslaat', en dat dat de belasting van het oppervlaktewater met P en N snel toeneemt. Dit is echter niet exclusief een nadeel van het systeem Van Iersel ten opzichte van 'normaal' aangelegde drainage.

8.5.2 Aanbevelingen

De eindconclusie is dat het systeem voldoende voordelen biedt ondanks de duurdere installatie en grotere kwetsbaarheid voor storingen. Daarom bevelen wij aan om:

- over te gaan tot de voorbereiding en uitvoering van een pilot om de installatiemogelijkheden en de werking van 'Van Iersel' te kunnen beoordelen; hierbij gebruik maken van drainagematerialen met de in Nederland gebruikelijke afmetingen (i.c. Ø60 mm drains en Ø80 mm verzamel drains) en overgedimensioneerde afmetingen (Ø80 mm drains en Ø100 mm verzamel drains);
- effecten op uitspoeling te meten, door aan te sluiten bij het onderzoek P-pilot Limburg;
- de reeds aangelegde drainage volgens het systeem 'Van Iersel' te beoordelen op de werking en ervaringen van de gebruikers te verzamelen.

Een belangrijke motivatie voor nader veldonderzoek is door middel van demonstratie-objecten en uitwisseling van ervaring draagvlak te creëren voor zowel de aanleg van buisdrainage als maatregel om aan de wateropgaven te voldoen als voor de aanvullende eisen die daarvoor aan aanleg en beheer moeten worden gesteld.

8.6 Literatuur

- Enserink, G.A.R., 1956. Kritische beschouwingen over het 'Ramspol'-infiltratie-systeem uit een oogpunt van aanleg en functioneren. Flevoberichten A no. 1, Directie van de Wieringermeer (Noordoostpolderwerken), Zwolle.
- Kalisvaart, C. 1954. Ervaringen en vraagstukken ten aanzien van infiltratie. Referaat van de voordracht, gehouden voor het Agrohydrologisch Colloquium van de Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland te Utrecht op 18 juni 1954.
- Kalisvaart, C., 1957. Infiltratie in de Oostelijk Flevoland. Flevoberichten B no. 5, Directie van de Wieringermeer (Noordoostpolderwerken), Zwolle.

- Kalisvaart, C., 1958. Subirrigation in the Zuiderzee Polders. Pub. 2, ILRI, Wageningen.
- Kalisvaart, C., 1959. Ervaringen met de infiltratie in de Noordoostpolder. Flevoverichten A no. 16, Directie van de Wieringermeer (Noordoostpolderwerken), Zwolle.
- Nijland, H.J., F.W. Croon en H.P. Ritzema, 2005. Subsurface Drainage Practices: Guidelines for the implementation, operation and maintenance of subsurface pipe drainage systems. Wageningen, Alterra, ILRI Publication no. 60.
- Stuyt, L.C.P.M., W. Dierickx en J. Martínez Beltrán, 2006. Materials for subsurface land drainage systems. Rev. 1 FAO I&D Paper No. 60, FAO, Rome, Italy.
- Visser, J. 1995. Some results of subirrigation in the IJsselmeerpolders in The Netherlands. In: Subirrigation and controlled drainage. Ed. H.W. Belcher en F.M. D'Itri. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA.

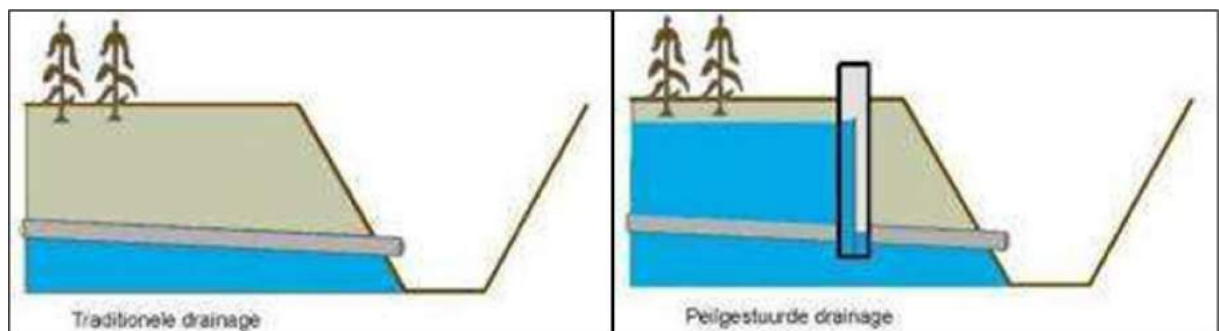
9 Project 'Regelbare Drainage Kleine Beerze' (2008)

Samenvatting:	L.C.P.M. Stuyt
Auteur(s) / projectgroep:	Dick Boland (Waterschap De Dommel), Jos van de Sande (ZLTO), Wim van de Heijning (ZLTO), Sandra Verheijden (Brabant Water), Ron Theunisz (gemeente Eersel), Huub Willems (gemeente Bladel), Hans Schep (Brabants Landschap), Adrie Geerts (Provincie Noord-Brabant), Lonneke Schilte (Waterschap De Dommel), Henk Tamerus (Waterschap De Dommel)
Jaar van publicatie:	2008 (mei)
Titel publicatie:	Gebiedspilot Waterkwaliteit Kleine Beerze. Eindrapport.
Gepubliceerd als/in:	Rapport Waterschap de Dommel / ZLTO-Projecten en Royal Haskoning

In de gebiedspilot waterkwaliteit Kleine Beerze (2007-2008) hebben de provincie Noord-Brabant, gemeenten Eersel en Bladel, ZLTO, Brabants landschap, Brabant Water en Waterschap De Dommel samen de uitvoerbaarheid en de (kosten)effectiviteit van maatregelen ter verbetering van de waterkwaliteit in de praktijk onderzocht. Regelbare drainage was één van de onderzochte maatregelen.

9.1 Omschrijving maatregel

Regelbare drainage is een uitgebreide variant op het al bestaande systeem 'Van Iersel'. Het bestaat uit een regelbaar drainagesysteem met aan elkaar gekoppelde draineerbuizen en uitstroom via een verzamelput. De grondwaterstand wordt gestuurd met de waterstand in de put. Zo kan water langer worden vastgehouden in het perceel. Bij conventionele drainage wateren de draineerbuizen op één diepte rechtstreeks af op de sloot (Figuur 39).

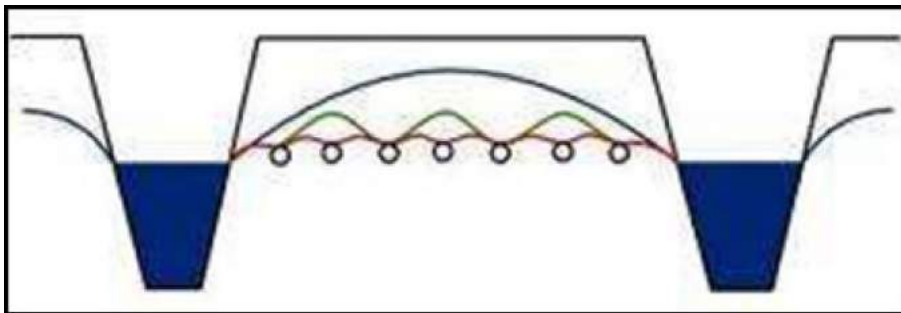


Figuur 39

Effect van regelbare drainage op grondwaterstand.

Een ander verschil met conventionele drainage is dat de draineerbuizen op een afstand van 6 meter uit elkaar liggen (bij conventionele drainage is dit twaalf meter). De draineerbuizen liggen ook dieper in het perceel (1,20

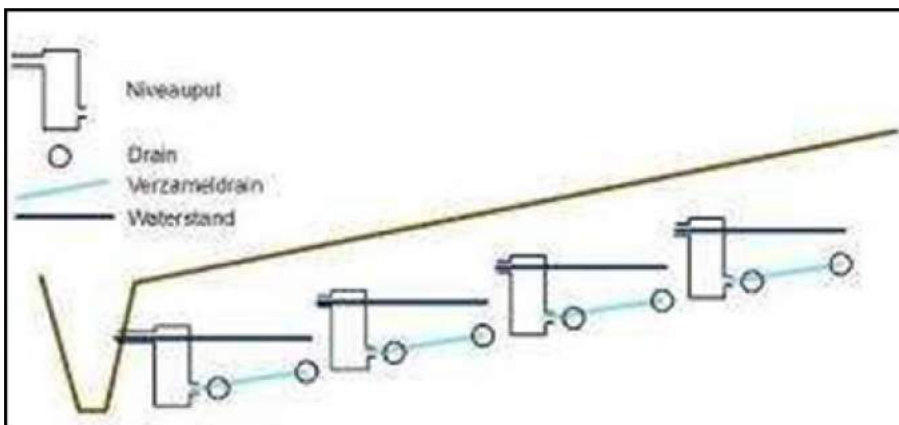
m -mv i.p.v. 0,80 m -mv). Hierdoor is de opbolling van het grondwater tussen de draineerbuizen kleiner en is de grondwaterstand over het gehele perceel gelijkmatiger (Figuur 40).



Figuur 40

Effect van regelbare drainage op opbolling grondwaterstand.

Regelbare drainage is bij twee deelnemers aan het GAW-project aangelegd. De betreffende percelen hebben grote maaiveldhoogteverschillen. Bij conventionele drainage blijft het vaak op de laagste plekken te nat en op de hoogste plekken te droog. Door gebruik te maken van regelbare drainage kan de ontwatering trapsgewijs veel beter gestuurd worden, op zowel de hoger als op de lager gelegen plekken. De draineerbuizen zijn dwars op de helling gelegd, in plaats van met de helling mee. De draineerbuizen zijn gekoppeld aan een verzamelrain en meerdere verzamelputten die op verschillende hoogtes langs de helling van het perceel zijn geplaatst (Figuur 41).



Figuur 41

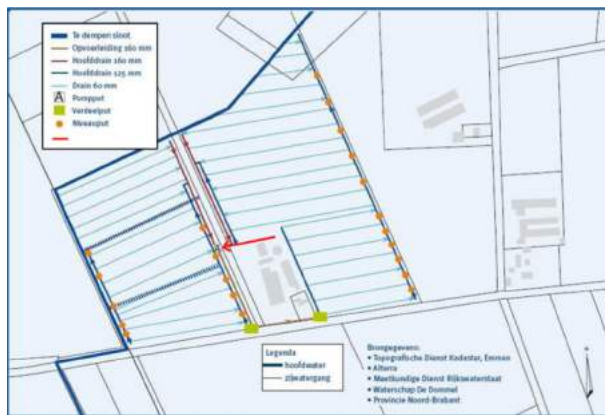
Effect van niveauputten op de grondwaterstand.

Het meest vernieuwende aan de regelbare drainage die in de gebiedspilot is aangelegd, is dat het drainagewater dat uit het systeem komt, wordt teruggepompt naar de hoge en droge gedeeltes van het perceel. Daar infiltreert het drainagewater opnieuw. Bij één deelnemer is tevens het erfwater gekoppeld aan het drainagesysteem. Het erfwater kan daardoor infiltreren en spoelt niet direct af naar het oppervlaktewater.

Op de op deze wijze gedraineerde percelen wordt water langer vastgehouden. Bij al aangelegde systemen blijkt dat er nauwelijks nog water uit de drains stroomt. De afvoer van nutriënten naar de sloot zal verminderen en daardoor zal de waterkwaliteit in de sloot verbeteren. Door de drainage zal het water beter verdelen over het perceel. Er wordt verwacht dat in de zomerperiode hierdoor minder beregend hoeft te worden, wat positief is voor de grondwatervoorraad.

9.2 Uitvoering maatregel binnen project

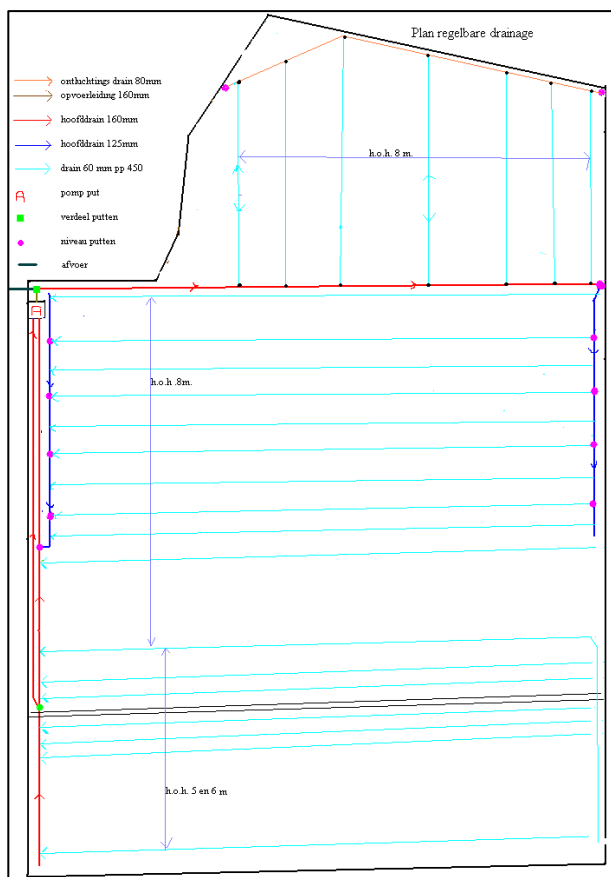
Voor de aanleg van de regelbare drainage heeft DLV-plant in oktober 2006 een advies uitgebracht voor de aan te leggen drainage. In december 2006 - januari 2007 is overleg geweest met Drainagebedrijf Rutten, inclusief een bedrijfsbezoek. Op beide percelen is een groot hoogteverschil in maaiveld. Dit maakte het lastig om drainage aan te leggen. **Er is gekozen voor een geheel nieuw ontwerp in drainage, waarbij het drainagewater wordt geïnfiltreerd op de hoger gelegen delen van het perceel.** Het bijgestelde ontwerp is weergegeven in Figuur 42 en Figuur 43.



Figuur 42

Regelbare drainage op locatie 1 (met recirculatie drainwater en infiltratie erfwater).

Voorafgaand aan de aanleg zijn afspraken gemaakt over de financiering. De standaardkosten voor aanleg van drainage zijn voor de agrariër; de meerkosten voor de regelbare drainage worden uit het GAW-project betaald.



Figuur 43

Regelbare drainage op locatie 2, met recirculatie van drainagewater).

De drainage is in november 2007 (na de oogst) aangelegd. De monitoring wordt de komende jaren doorgezet door Waterschap De Dommel. Beide drainagesystemen zal het waterschap gebruiken om het effect van regelbare drainage in de praktijk te meten en tevens in samenwerking met de agrariër als demonstratie voor groepen geïnteresseerde agrariërs, scholieren en waterbeheerders.

9.3 Meetresultaten/ berekeningen

De drainagesystemen zijn nieuw en uniek binnen het stroomgebied van Waterschap de Dommel. Het systeem heeft voornamelijk een demonstratiefunctie. De monitoring wordt de komende jaren als vervolg op het GAW-project door Waterschap De Dommel voortgezet. De monitoring levert informatie over zowel waterkwantiteit als waterkwaliteit. Er is een monitoringsplan (Royal Haskoning, 2008) opgesteld met acties voor de agrariërs en het waterschap. Het meetnet is in het voorjaar van 2008 aangelegd. De resultaten van het meetnet worden regelmatig door het waterschap aan de agrariërs verstrekt, zodat deze gebruikt kunnen worden voor de demonstratiefunctie. Daarnaast worden door de agrariër de volgende zaken bijgehouden in het logboek: beheer en onderhoud, en bezoekers(groepen). Vooral het bijhouden van de onderhoudsbehoefte en beheersbaarheid van de drainage in een logboek is erg interessant. De effectiviteit van regelbare drainage hangt af van de manier waarop het wordt beheerd. Omdat de drainage dieper en in een grotere dichtheid ligt, kan het bij onjuist gebruik zelfs verdrogend in plaats van vernattend werken. De benodigde tijd voor beheer en onderhoud is nu nog onbekend.

9.4 Bureauanalyse

Vooruitlopend op de monitoring is een bureauanalyse uitgevoerd. Door Alterra zijn eerder modelberekeningen uitgevoerd aan verschillende soorten drainage, waaronder de werking van het drainagesysteem van Iersel. Op dit moment wordt door Alterra veldonderzoek uitgevoerd. Op basis van de modelberekeningen bleek dat veel minder water werd afgevoerd richting het oppervlaktewater. In het onderzoek is de stikstof- en fosfaatbelasting naar het oppervlaktewater bepaald. In de modelberekeningen van Alterra is rekening gehouden met de processen die zich afspelen in de bodem. Door peilverhoging neemt de denitrificatie van stikstof toe en vermindert de stikstofbelasting. Voor fosfaat is het effect van een hoge grondwaterstand echter negatief aangezien dit de mobilisatie van P bevordert. De modelberekeningen houden dus rekening met twee factoren: verandering van processen in de bodem; vermindering afvoer van water.

De belasting is berekend over de periode 2016 - 2030. De gemiddeldes zijn weergegeven in Tabel 11. Deze tabel laat zien dat de uitspoeling van stikstof bij regelbare drainage aanzienlijk kleiner is dan bij conventionele drainage, en ook een kleine reductie kan geven ten opzichte van een ongedraineerd perceel. Voor fosfaat kan drainage zowel leiden tot een toename als een afname van de uitspoeling. Regelbare drainage is voor fosfaat zelfs iets minder gunstig voor de waterkwaliteit dan conventionele drainage.

Tabel 11

Gemiddelde stikstof (N) belasting en fosfaat (P) belasting naar het oppervlaktewater; resultaten van modelberekeningen (zie tekst).

	N belasting (kg N/ha.jr)	P belasting (kg P/ha.jr)
perceel zonder drainage	28	2,1
perceel met conventionele drainage	54 - 71	0,6 - 3,2
perceel met diepe, samengestelde, regelbare drainage	20 - 27	0,75 - 3,7

De reductie in uitspoeling van nutriënten op de twee proefpercelen in het GAW-project is nog onbekend. De verwachting is dat deze reductie bij regelbare drainage groter zal zijn dan die weergegeven in Tabel 11, omdat het drainagewater wordt opgevangen en opnieuw wordt geïnfiltreerd.

9.5 Kosten

De meerkosten van het aanleggen van regelbare drainage zijn:

Locatie 1: €18.695 (excl. BTW), met 32 niveauputten, pomp en pompput.

Locatie 2: €10.500 (excl. BTW), met 10 niveauputten (pomp en pompput al aanwezig).

Het drainagewater wordt geïnfiltreerd in het hoogste deel van het perceel. Hierdoor moet ook dit deel van het perceel van drainage voorzien worden. De meerkosten hiervan bedragen: €4.320 (excl. BTW) (4 ha met drainage op locatie 2).

9.6 Kosteneffectiviteit

Door de aanleg van het systeem wordt milieuwinst behaald, doordat minder stikstof uitspoelt. Aangezien op de percelen in dit project nog geen metingen zijn verricht wordt uitgegaan van de modelberekeningen van Alterra. Er wordt aangenomen dat het systeem geen effect op fosfaat heeft. Voor stikstof wordt uitgegaan van het verschil tussen normale drainage en regelbare drainage (Tabel 11). In werkelijkheid kan de effectiviteit groter zijn, omdat het drainagewater op de GAW-percelen opnieuw wordt geïnfiltreerd. De kosteneffectiviteit is aangegeven in Tabel 12.

Tabel 12

Kosten, gemoeid met het aanleggen van regelbare drainage op twee locaties.

	Eenheid	Locatie 1	Locatie 2
aanlegkosten	€	18.695	10.500
oppervlak perceel	ha.	13	12
kosten aanleg per ha.	€ / ha.	1.438	875
kosten aanleg afschrijven in tien jaar	€ / ha. jr.	144	88
vermindering stikstofbelasting t.o.v. conventionele drainage	kg N /ha. jr.	30	30
kostenvermindering belasting stikstof	€ / kg N	4,80	2,90

9.7 Ervaring met maatregel

Er is veel overleg geweest tussen Waterschap De Dommel, ZLTO, drainagebedrijven en de betrokken agrariërs. Na de start van het project heeft het iets minder dan twee jaar geduurd van totdat de drainage daadwerkelijk was aangelegd. De ervaring die meegenomen kan worden uit dit project is dat de aanleg van regelbare drainage ook moet aansluiten bij de bedrijfsvoering van de agrariër. De aanleg vindt bij voorkeur plaats in de herfst na de oogst.

De ervaring met het drainagesysteem is sinds de aanleg in november 2007 nog beperkt. Eén van de agrariërs geeft aan dat hij diverse kleine aanpassingen heeft moeten doen om de werking te optimaliseren. De kleine aanpassingen bestaan bijvoorbeeld uit het verhogen van het uitstroomniveau van een buis in een niveauput. De pomp om het drainagewater te laten infiltreren heeft al diverse keren gewerkt.

Het systeem is aangelegd op een te handhaven grondwaterstand van 60 cm onder maaiveld. In principe is het systeem regelbaar. Monitoring in het eerste jaar moet uitwijzen of het mogelijk en wenselijk is om in de toekomst de grondwaterstand periodiek te verhogen.

Dit kan door andere opzetstukken te gebruiken in de niveauputten. Op de twee proefpercelen moeten dan respectievelijk 32 en 10 niveauputten aangepast worden. De aanbeveling is om na een jaar te evalueren en in de zomerperiode het peil in de niveauputten te verhogen.

9.8 Communicatie

Communicatie over het project vindt plaats door middel van:

- Artikel in nieuwe Oogst. Op 1 september 2007 verschenen met de titel 'Hightech waterbeheer Eersel'.
- Communicatiebord op het bedrijf. Het doel van het communicatiebord is om passanten te informeren over de inzet van agrariërs voor waterberging en waterkwaliteit. Daarnaast kan het bord gebruikt worden bij veldbezoeken op het bedrijf. Drainage ligt immers onder de grond en er is bovengronds weinig te zien. Het gebruik van fotomateriaal/figuren kan daarbij helpen.
- Folders. Voor de agrariër zijn folders gemaakt met uitleg van het drainagesysteem, die hij kan gebruiken voor bedrijfsbezoeken.
- Bedrijfsbezoeken. Het project heeft een nadrukkelijke demonstratiefunctie. Het laat groepen studenten, boeren en waterbeheerders zien hoe het drainagesysteem in de praktijk functioneert. Daarbij zullen ook de meetresultaten worden gebruikt Figuur 44.



Figuur 44

Uitleg over de aangelegde regelbare drainage in het veld bij de niveauputten.

9.9 Wat is er nodig om een gedragsverandering teweeg te brengen?

Regelbare drainage is mogelijk een maatregel die waterschappen kunnen inzetten bij het (technisch) compenseren van uitstraling van vernatting bij de aanpak van de verdroging van natuurterreinen. Een bijkomend voordeel is dat daardoor (wellicht) ook de waterkwaliteit kan worden verbeterd. Om de werking van het systeem in de praktijk aan te tonen wordt een uitgebreid wetenschappelijk onderzoek uitgevoerd door Alterra. We raden aan dat Waterschap De Dommel de ervaringen en resultaten van de regelbare drainage inbrengt in dat uitgebreidere onderzoek en deelt met de provincie en de andere Brabantse waterschappen die werken aan antiverdrogingsprojecten. Aandachtspunten in dit onderzoek zijn:

- uitwerken van de effecten op waterkwantiteit en kwaliteit op basis van de metingen;
- effecten in beeld brengen voor de natuur door aanvoer van nutriëntrijk drainagewater;

- optimaliseren van de bemesting van het perceel met drainagewater en beregeningswater, op basis van de werkelijke behoefte aan vocht en nutriënten. Het systeem kan mogelijk verder gemoderniseerd worden door gebruik te maken van geavanceerde technieken als vochtmetingen en berekening met GPS;
- toepassen van regelbare drainage in stedelijk gebied.

Voor de agrariërs is het van belang dat de aanleg van een dergelijk systeem aantoonbare voordelen heeft in de bedrijfsvoering. De aanlegkosten van regelbare drainage ten opzichte van conventionele drainage zijn ongeveer twee keer zo hoog. Deze kosten moeten door de agrariër worden terugverdiend. Alleen voor de milieuwinst zullen agrariërs dit niet overwegen. Daarom verdient deze maatregel een duwtje in de rug. Dit kan worden gedaan door Waterschap de Dommel door de meerkosten voor hellend gebied te subsidiëren en de resultaten en werking van het systeem te promoten in cursussen en voorlichtingsmateriaal.

Regelbare drainage biedt mogelijk voordelen voor zowel de agrariër als de waterkwaliteit en verdrogingbestrijding. Door het drainagewater op te vangen en te infiltreren op de hoge, droge delen van het bedrijf wordt de uitspoeling van meststoffen geminimaliseerd. Het grootschalige onderzoek van Alterra moet de toegedichte effectiviteit van regelbare drainage in de praktijk aantonen. De twee proefvelden van de gebiedspilot dienen vooral als demonstratievelden en geven inzicht in de beheerbaarheid van het systeem.

10 Modelonderzoek naar effecten van conventionele en samengestelde regelbare drainage op hydrologie en nutriëntenbelasting

Auteur(s) / projectgroep:	P.J.T. van Bakel, E.M.P.M. van Boekel en G.-J. Noij
Jaar van publicatie:	2008
Titel publicatie:	Modelonderzoek naar effecten van conventionele en samengestelde regelbare drainage op hydrologie en nutriëntenbelasting
Gepubliceerd als/in:	Alterra-rapport 1647

In dit hoofdstuk wordt hierna de samenvatting van Alterra-rapport 1647 (2008) integraal opgenomen.

Achtergronden

Aanleg van drainage is een beproefd middel om de agrohydrologische omstandigheden te verbeteren. Bij conventionele drainage is de draandiepte bij zandgronden ca. 100 cm en bij kleigronden ca. 120 cm en wordt het streefpeil in de sloot waarin de drains uitmonden onder dit niveau gehouden. Daardoor wordt de grondwaterstanden in vooral de winterperiode in gronden zonder schijngrondwaterspiegels met zo'n 40 cm verlaagd. Deze verlaging is uit oogpunt van verdrogingsbestrijding meestal ongewenst. Ook heerst de opvatting dat de piekafvoeren door drainage aanzienlijk kunnen toenemen. Er treden eveneens aanzienlijke effecten op voor de nutriëntenbelasting naar grond- en oppervlaktewater (zowel positief als negatief) op. Drainage is dan ook geen populaire maatregel in het waterbeheer. In een eerder artikel is betoogd dat drainage juist wel kan bijdragen aan verdrogingsbestrijding en een beter milieu, mits drainage gepaard gaat met een verhoging van de ontwateringsbasis door middel van peilsturing en verdiepte aanleg. Om deze vorm van drainage in te zetten als maatregel bij de wateropgaven dient echter de effectiviteit ervan met veld- en modelonderzoek beter te worden onderbouwd. De projectgroep Regelbare drainage (waarin vertegenwoordigers van de betrokken waterschappen, de DLG-Limburg, de provincie Limburg en Wageningen UR) heeft zich tot taak gesteld dit onderzoek te realiseren. Voor het veldonderzoek is recent de benodigde financiering gevonden. Voorafgaand aan dit veldonderzoek is een modelonderzoek uitgevoerd met als doelen:

- voor verschillende hydrologische en landbouwkundige omstandigheden inzicht te krijgen in de effecten van verschillende vormen van drainage;
- materiaal te hebben voor het beleid van de waterbeheerders ten aanzien van regelbare drainage (omdat resultaten van veldonderzoek nog wel even op zich laten wachten);
- een basis te hebben voor de inrichting en beheer van de veldproeven en voor de opschaling van de resultaten.

De waterschappen Peel en Maasvallei en Brabantse Delta en DLG Limburg (trekker van de pilot waarbij maatregelen voor tegengaan van fosfaatuitspoeling worden beproefd) hebben opdracht gegeven voor dit modelonderzoek. In dit rapport worden opzet en resultaten besproken.

Vormen van drainage

Conventionele drainage is de in Nederland gebruikelijke vorm van drainage waarbij de drains uitmonden in een sloot en de slootwaterstand onder normale omstandigheden lager is dan de hoogte van de drainuitmonding en waarbij de draindiepte en de drainafstand landbouwkundig zijn bepaald.

Drainage Nieuwe Stijl is een systeem van drainage waarbij de drains ondieper liggen dan gebruikelijk en de drainafstand kleiner is om toch te voldoen aan landbouwkundige ontwateringseisen.

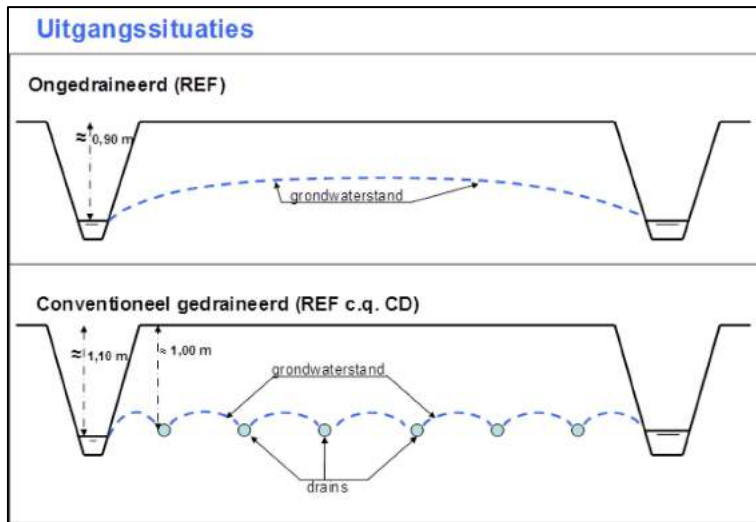
Regelbare drainage is een systeem van drainage waarbij de hoogte van de drainagebasis kan worden gestuurd. Omdat de drains zelf fysiek niet in hoogte verstelbaar zijn liggen de drains meestentijds onder water.

Samengestelde, regelbare drainage is een systeem van drainage waarbij drains uitmonden in een verzameldrain die uitmondt in een sloot of put. Bij het zogenoemde Systeem Van Iersel kan in de put met behulp van een pijpje de hoogte van de ontwateringsbasis worden geregeld. De mogelijk negatieve effecten van de aangenomen verhoging van de ontwateringsbasis met zo'n 50 cm op zandgronden (winterstreefpeil 60 cm -mv; zomerstreefpeil 40 cm -mv) resp. 60 cm op klei- en zavelgronden (winterstreefpeil 70 cm -mv; zomerstreefpeil 50 cm -mv) wordt voor een deel opgeheven door intensivering van de drainage.

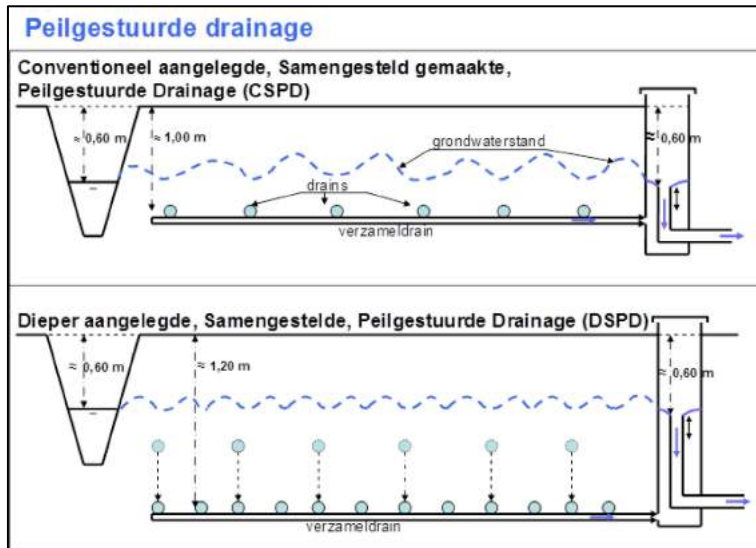
Dieper aangelegde drainage is een systeem van drainage waarbij de drains uit het oogpunt van waterkwaliteit dieper zijn aangelegd dan gebruikelijk.

In het modelvooronderzoek zijn drie vormen van drainage vergeleken met twee wezenlijk verschillende uitgangssituaties: ongedraineerd en conventioneel gedraineerd. Deze drie drainagevarianten zijn:

- conventionele drainage (CD). Deze variant is alleen relevant voor een ongedraineerde uitgangssituatie;
- conventioneel aangelegde, samengesteld gemaakte, regelbare drainage (CSPD), waarbij de bestaande drains worden aangesloten op een verzameldrain en de drainagebasis wordt verhoogd en regelbaar gemaakt. De drainafstand en daarmee de weerstand van de drainbuizen wordt daarbij niet veranderd. Ook worden geen sloten gedempt. Deze drainagevariant wordt alleen toegepast bij reeds gedraineerde plots;
- dieper aangelegde, samengestelde, regelbare drainage (DSPD). Deze drainagevariant wordt gecombineerd met intensivering van de drainage (halvering van de weerstand) en gedeeltelijk dempen van de sloten (de helft van de tertiaire sloten) en wordt toegepast bij zowel ongedraineerde als gedraineerde plots in de uitgangssituatie.
- In Figuur 45 worden de uitgangssituaties en in Figuur 46 de drainagevarianten schematisch weergegeven.



Figuur 45
Principetekeningen van de twee uitgangssituaties.



Figuur 46
Principetekeningen van de twee vormen van regelbare drainage.

Uitgangspunten en aanpak van modelonderzoek

De effecten van de verschillende vormen van drainage zijn berekend met het STONE-instrumentarium. In het STONE-instrumentarium zijn voor heel Nederland 6405 plots gedefinieerd en elke plot is representatief voor de hydrologie en nutriëntenhuishouding van het topsysteem (de bovenste 13 m) van een x aantal grids van 250 × 250 m. De motivering voor het gebruik van STONE is dat dit het enige instrumentarium is waarbij op operationele basis de N- en P-belasting naar het oppervlaktewater kan worden berekend.

Binnen het zandgebied van Noord-Brabant en Noord-Limburg zijn, in de uitgangssituatie, negen ongedraineerde en vier gedraineerde plots geselecteerd uit de 286 STONE-plots waarmee voor dit gebied o.a. de effecten van mestbeleid worden doorgerekend. Bij de selectie van de plots is rekening gehouden met spreiding over de vier

belangrijkste hydrotypen binnen het zoekgebied, areaal en spreiding in berekende N- en P-belasting in de uitgangssituatie. Ook zijn twee plots gedefinieerd binnen het kleigebied van West-Brabant. Voor elke geselecteerde plot is met behulp de modellen SWAP en ANIMO de hydrologie resp. de nutriëntenhuishouding berekend voor een periode van 30 jaar, in zowel de uitgangssituatie als de twee gedefinieerde drainagevarianten.

Het effect van het dieper aanleggen van drainage wordt modelmatig in rekening gebracht door bij gedraineerde situaties de laterale uitstroming van water naar de drains alleen te laten plaats vinden onder drainniveau. Het (modelmatig) effect is dat water een langere weg in het profiel aflegt en daardoor ook langer onder weg is met meer kans op vastlegging en/of afbraak van nutriënten.

De relatie met de regionale systeem wordt gelegd via een fluxrandvoorwaarde aan de onderkant van met model. Van elke plot is deze flux in de uitgangssituatie bekend. Door (her)drainage verandert echter de grondwaterstand ter plaatse van het ge(her)draineerde perceel, waardoor er ook een verandering in de onderrandvoorwaarde optreedt. Daarbij hoort de veronderstelling dat de gedraineerde percelen 'eilanden zijn in een zee van ongedraineerde percelen'. Dit 'weglekeffect' is in rekening gebracht door voor de vier voornaamste, in Noord-Brabant en Noord-Limburg voorkomende, hydrotypen, met behulp van SIMGRO-modellen voor deelstroomgebieden, de zogenoemde weglekweerstand te bepalen, bij een grootte van een gedraineerd perceel van 10 ha. Deze weerstand is gedefinieerd als het quotiënt van grondwaterstandsverandering en kwelverandering, beide gemiddeld over het gedraineerde perceel. De tijdsverloop van de stijghoogte van het grondwater in het regionaal systeem in de uitgangssituatie wordt berekend uit de gesimuleerde grondwaterstand en de gegeven flux. Deze stijghoogtes worden vervolgens als potentiaalonderrandvoorwaarde opgelegd bij de twee drainagevarianten, met een weerstand tussen freatische en diepe grondwaterstand gelijk aan de systeemweerstand. Voor het kleigebied is deze aanpak niet gevolgd omdat is verondersteld dat alle percelen zijn gedraineerd en integraal zullen overgaan op regelbare drainage en door de hogere weerstand van de deklaag de regionale effecten minder zullen zijn.

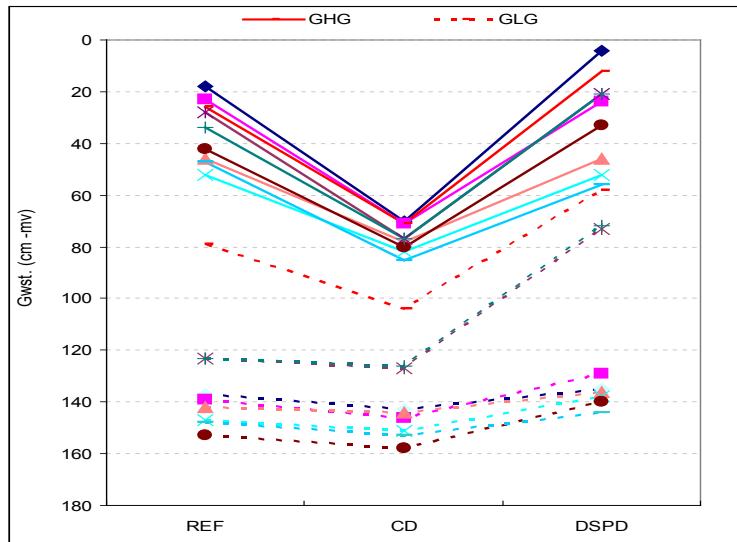
Resultaten

Bij de analyse is het belangrijk verschil te maken tussen de ongedraineerde en gedraineerde plots.

Ongedraineerde plots

De meest in het oog springende resultaten zijn:

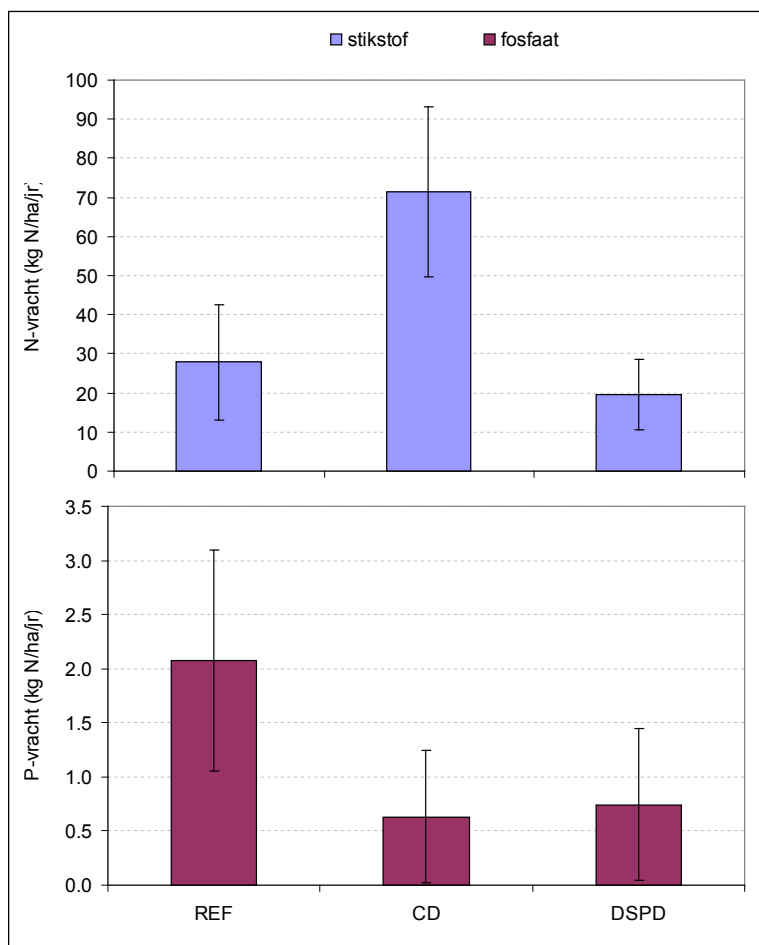
- de jaargemiddelde grondwaterstanden van alle negen plots worden door conventionele drainage met gemiddeld 20 cm verlaagd; door het dieper aanleggen en regelbaar maken van de drainage wordt de gemiddelde grondwaterstand 12 cm hoger vergeleken met de uitgangssituatie
- de effecten op de GHG en GLG staan afgebeeld in Figuur 47.



Figuur 47

De GHG en GLG van de negen zandplots in de ongedraineerde uitgangssituatie (REF), en twee bij drainagevarianten: conventionele drainage (CD) en diep aangelegde, samengestelde, regelbare drainage (DSPD),

De GHG en GLG worden door conventionele drainage met gemiddeld 42 en 7 cm verlaagd; door regelbare drainage worden de GHG en GLG met gemiddeld resp. 6 en 19 cm verhoogd. Vooral bij plots met wateraanvoer wordt de GLG fors hoger. De piekafvoeren worden door conventionele drainage met gemiddeld 27% verlaagd; bij de regelbare variant zijn de piekafvoeren ongeveer gelijk aan de uitgangssituatie. De effecten op de N-belasting en P-belasting worden samengevat in Figuur 48.



Figuur 48

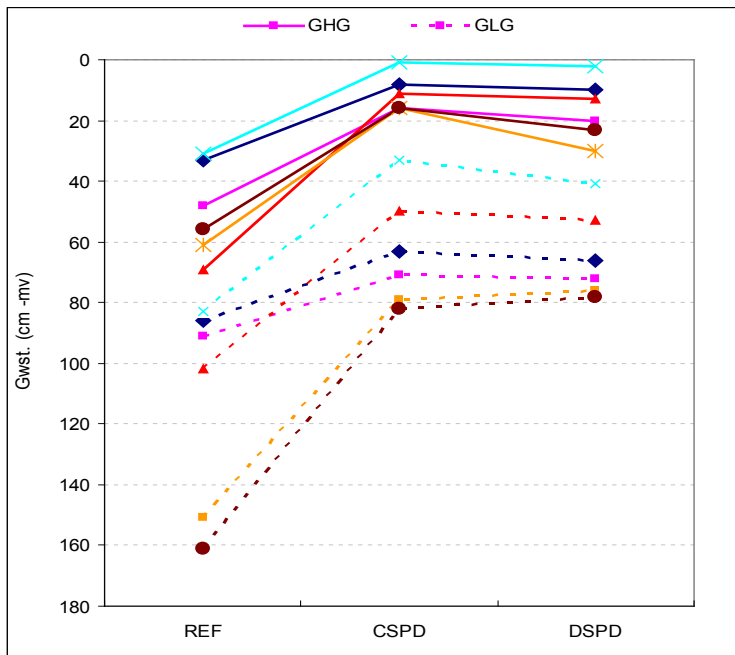
Over negen zandplots gemiddelde jaargemiddelde N- en P-belasting in de ongedraineerde uitgangssituatie (REF), en twee bij drainagevarianten: conventionele drainage (CD) en diep aangelegde, samengestelde, regelbare drainage (DSPD).

Door conventionele drainage neemt de N- en P-belasting toe met gemiddeld ruim 40 kg/ha/jr resp. neemt af met ca. 1,5 kg/ha/jr. Voor de regelbare variant zijn de uitkomsten een afname met bijna 10 resp. ruim 1 kg/ha/jr.

Gedraineerde plots

De belangrijkste resultaten hierbij zijn:

- de jaargemiddelde grondwaterstanden van alle vier plots worden door het samengesteld en regelbaar maken van de conventionele drainage met gemiddeld 36 cm verhoogd; door het regelbaar maken in combinatie met intensivering van de drainage wordt de gemiddelde grondwaterstand met 34 cm verhoogd ten opzichte van de uitgangssituatie;
- de effecten op de GHG en GLG staan afgebeeld in Figuur 49.

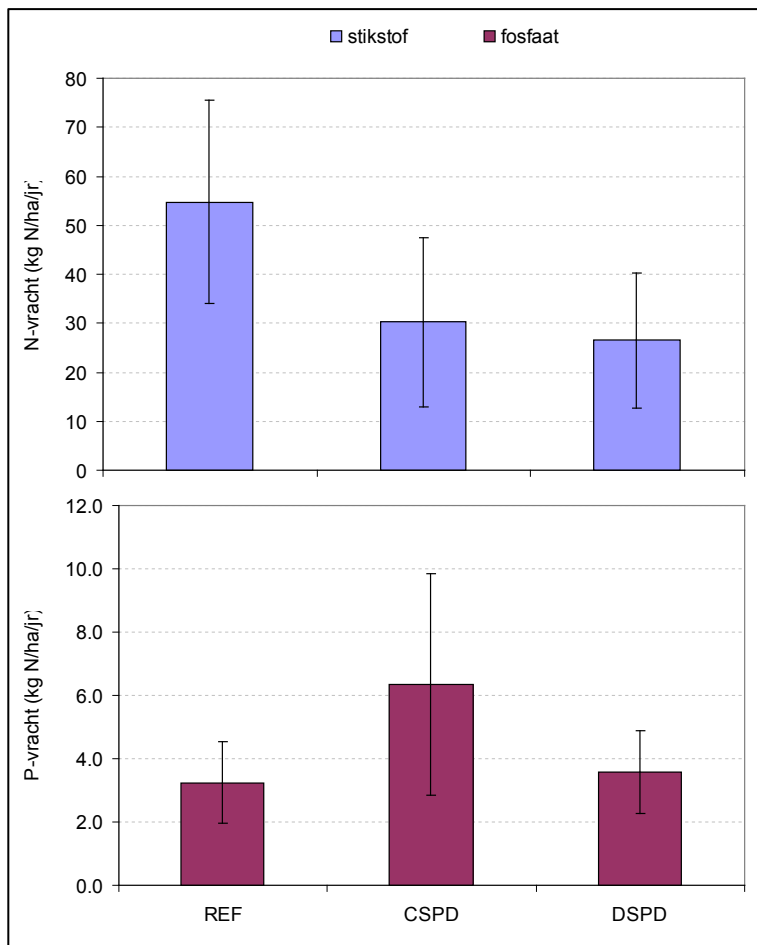


Figuur 49

De GHG en GLG van de 4 zandplots en de zavel- en kleiplot in de gedraineerde uitgangssituatie (REF), en 2 bij drainagevarianten: conventioneel aangelegde, samengesteld gemaakt, regelbare drainage (CSPD) en diep aangelegde, samengestelde, regelbare drainage (DSPD).

De GHG en GLG worden door het regelbaar maken van conventionele drainage gemiddeld met resp. 35 en 50 cm verhoogd; door aanleg van samengestelde regelbare drainage worden de GHG en GLG gemiddeld met resp. 32 en 49 cm verhoogd;

- de piekafvoeren worden door het regelbaar maken van conventionele drainage of door herdrainage met gemiddeld 30% verhoogd;
- De effecten op de N-belasting en P-belasting op de vier zandplots worden samengevat in Figuur 50.



Figuur 50

Over vier zandplots gemiddelde jaargemiddelde N- en P-belasting in de gedraineerde uitgangssituatie (REF), en twee bij drainagevarianten: conventioneel aangelegde, samengesteld gemaakte, regelbare drainage (CSPD) en diep aangelegde, samengestelde, regelbare drainage (DSPD) en indicatie van de bijbehorende standaardafwijkingen.

Door het samengesteld maken van conventionele drainage neemt de gemiddelde N- en P-belasting af met 25 resp. neemt toe met ca. 3 kg/ha/jr. Voor zavel- en kleiplot zijn de effecten vergelijkbaar: de N- belasting neemt door regelbaar maken van conventionele drainage af met ruim 7 kg/ha/jr en de P-belasting neemt toe met ca. 0,4 kg/ha/jr. Door aanleg van regelbare drainage zijn de resultaten: een iets grotere afname van de N-belasting (ca. 8 kg/ha/jr) en een iets minder grote toename van de P-belasting (ca. 0,25 kg/ha/jr).

Conclusies voor ongedraineerde situaties

Door de aanleg van conventionele drainage worden de grondwaterstanden aanzienlijk verlaagd waardoor de maaveldafvoer wordt gereduceerd en de piekafvoeren afnemen. Door de lagere grondwaterstanden neemt de N-belasting toe en neemt de P-belasting af.

Door peilsturing met relatief hoge streefpeilen in combinatie met intensivering van de drainage wordt de gemiddelde grondwaterstand wat hoger dan in de uitgangssituatie maar de GHG blijft ongeveer gelijk. De piekafvoeren zijn ongeveer gelijk vergeleken met de uitgangssituatie. De N-belasting is lager vergeleken met de uitgangssituatie, als gevolg van de diepere ligging van de drains. De P-belasting is ondanks vergelijkbare grondwaterstanden duidelijk lager vergeleken met de uitgangssituatie. Voor ongedraineerde situaties is er dus 'winst' te boeken met drainage, mits wordt gekozen voor diep aangelegde regelbare drainage met een aanzienlijke verhoging van de ontwateringsbasis.

Conclusies voor gedraineerde situaties

Het samengesteld maken van conventionele drainage, waardoor peilsturing mogelijk wordt, of het herdraineren en toepassen van hoge streefpeilen leidt tot een aanzienlijke verhoging van de grondwaterstand ten opzichte van conventionele drainage.

Door de vernatting nemen de piekafvoeren toe, vooral door de toename van de maaiveldafvoer.

Door de vernatting neemt bij conventioneel aangelegde, regelbare drainage de N-belasting behoorlijk af en neemt de P-belasting aanzienlijk toe. Deze verhoging kan ongeveer ongedaan worden gemaakt door intensiever te draineren (waardoor er minder maaiveldafvoer optreedt) en de drains dieper aan te leggen.

Discussie en aanbevelingen

Bij de aanvang van de modelstudie is gekozen voor relatief hoge streefpeilen bij de regelbare drainage. Bij plots met landgebruik akkerbouw of maïs en met relatief hoge kwelintensiteiten kan dit leiden tot natschade. In de praktijk zullen dan lagere streefpeilen moeten worden aangehouden dan bij het modelonderzoek zijn gebruikt. De effecten kunnen daardoor ook anders zijn dan berekend.

Sommige plots hebben de mogelijkheid van wateraanvoer. Bij regelbare drainage kunnen de drains infiltreren waardoor de grondwaterstands daling sterk wordt afgeremd. In de praktijk is de wateraanvoercapaciteit vaak ontoereikend om aan de infiltratiebehoefte te kunnen voldoen. De berekende effecten voor de plots met wateraanvoer zijn dan ook minder realistisch.

Drainage heeft een aanzienlijk effect op de kwel en/of wegzijging en daarmee op de hydrologie en de nutriëntenhuishouding. Het is daarom absoluut noodzakelijk dit effect in rekening te brengen. De wijze waarop dit bij dit modelonderzoek is gemodelleerd is goed toepasbaar bij vervolgstudies. Bij realisatie van regelbare drainage op meer dan incidentele schaal treedt onderlinge wisselwerking op en loopt de werkwijze uit zijn toepassingsbereik en dient vervangen te worden door berekeningen met behulp van regionale hydrologische modellen.

De afvoer via het maaiveld vindt plaats via grondwaterstandsafhankelijke drainage naar 20 cm diepe greppels of als oppervlakteafvoer (bij overschrijden van de infiltratiecapaciteit en het opgevuld zijn van de bergingsmogelijkheden op het maaiveld). De conceptualisering en parameterisering van dit proces met behulp van een 1-D model is noodzakelijkerwijs 'primitief'. Dit geldt ook voor de nutriëntenconcentraties in het oppervlakkig afstromend water.

Uit een beperkte analyse blijkt dat in ongedraineerde uitgangssituaties de invloed van het proces van maaiveldafvoer op met name de P-belasting aanzienlijk kan zijn. Blokkeren van de maaiveldafvoer biedt dus mogelijkheden voor reductie van de P-belasting. Combinatie met verbetering van de ontwatering door de aanleg van (regelbare) drainage ligt voor de hand.

Er is geen rekening gehouden met het optreden van schijngrondwaterspiegels of andere, met anisotropie verbonden, verschijnselen. Daardoor zijn de effecten voor gronden met niet verwaarloosbare weerstand boven het drainniveau minder representatief.

Bij regelbare drainage wordt modelmatig het streefpeil in alle sloten gelijk gehouden aan de hoogte van de ontwateringsbasis in de put (bovenkant pijpje). In de praktijk zal alleen de ontvangende sloot een hoger streefpeil krijgen. Toepassing van regelbare drainage op grotere schaal maakt het echter mogelijk ook de streefpeilen in de hoofdwaterlopen te verhogen omdat het streefpeil is afgestemd op een norm voor de drooglegging van de laagste percelen die door regelbare drainage met zo'n 30 cm kan worden verhoogd.

De hydrologische effecten van de twee drainagevarianten (grondwaterstanden en afvoeren) zijn zoals verwacht. Aan de berekende effecten op de piekafvoeren kan niet al te veel waarde worden toegekend. Het

concept van het proces van maaiveldafvoer (het proces dat verantwoordelijk is voor hoge afvoerpieken en daarmee soms ook voor hoge N- en P-pieken) is eenvoudig. De richting en grootte van de effecten van de twee drainagevarianten op de N- en P-belasting zijn zoals op basis van expertise en uit literatuuronderzoek min of meer is te verwachten. Dit geldt niet voor de grootte van het effect van het dieper aanleggen van drainage. Uit de literatuur zijn geen effecten bekend. De berekende effecten een 'primeur' en eerste goede indicatie. Daarbij moet worden bedacht dat de effecten staan of vallen met de validiteit van de gehanteerde modelconcepten. In het bijzonder de modellering van de maaiveldafvoer en daarmee verbonden afspoeling van nutriënten en het niet meenemen van anisotropie zijn zwakke plekken.

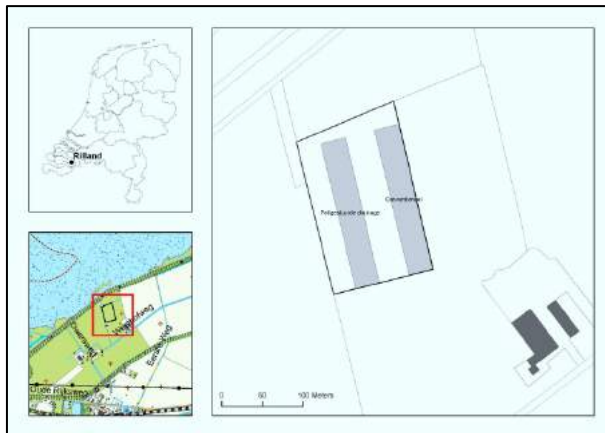
De resultaten van het modelonderzoek geven een nader inzicht in de effecten van conventionele en regelbare drainage op de dynamiek van de grondwaterstanden en de nutriëntenbelasting en zijn gebruikt voor de opzet van het veldonderzoek. Ook zijn ze gebruikt voor het beleid van de betrokken waterschappen ten aanzien van regelbare drainage en voor voorlichting aan andere waterschappen, provincies en ministeries.

11 Veldonderzoek 'Stikstof op het juiste peil' zuidwest-Nederland (2007-2011)

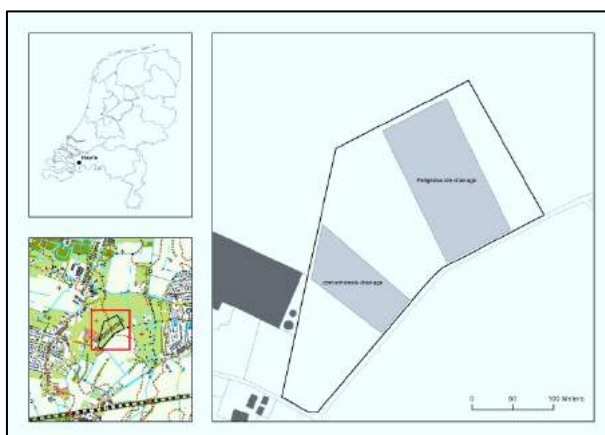
Auteur(s): R.A.L. Kselik en L.C.P.M. Stuyt

11.1 Inleiding

Eén van de belangrijkste doelen van het project 'Stikstof op het juiste peil' was om te onderzoeken of de aanleg van regelbare drainage een bijdrage kan leveren aan de vermindering van uitspoeling van stikstof en fosfaat via de drainage naar het oppervlaktewater.



Figuur 51
Locatiekaartjes Proeflocatie 'Rilland'.



Figuur 52
Locatiekaartjes Proeflocatie 'Heerle'.



Figuur 53

Locatiekaartjes Proeflocatie 'Moerstraten'.

11.2 Type metingen en meetperiodes

Op de drie locaties Rilland, Heerle en Moerstraten (zie Figuur 51 t/m Figuur 53) zijn in de periode september 2010 - april 2011 drie methoden gebruikt om drainafvoeren te meten, zowel bij conventionele drainage als voor het systeem met regelbare drainage. Deze methoden zijn:

- de 'emmermethode' (aantal seconden om een liter water uit de drain op te vangen);
- de momentopname van de debietmeter in m³/uur;
- de cumulatieve meterstand van de debietmeter.

In Tabel 13 is voor de drie locaties te zien welke methoden en voor welk systeem deze zijn toegepast.

Tabel 13

Overzicht toegepaste methoden op de verschillende locaties.

	Rilland		Heerle		Moerstraten	
	regelbaar	conventioneel	regelbaar	conventioneel	regelbaar	conventioneel
emmer in s/liter	ja	ja	ja	ja	ja	ja
meter m ³ /uur	ja	ja	ja	-	-	-
meter totaal m ³	ja	ja	ja	-	-	-

Duidelijk is dat het, om deze uitspoeling van nutriënten te kwantificeren, nodig is om gedurende een langere periode zowel de drainagedebieten als de concentraties van de fosfaten en nitraten in het drainagewater op hetzelfde moment te meten. Tijdens het uitspoelingsseizoen van 2010 - 2011 zijn er echter ook perioden geweest dat niet alle metingen konden worden uitgevoerd. De onderstaande tabel 2 geeft een overzicht van de debiet- en kwaliteitsmetingen op de locaties Rilland, Heerle en Moerstraten. Op elke locatie wordt conventionele drainage vergeleken met samengestelde, regelbare drainage. Voor elk systeem en locatie zijn waarnemingen van zowel debieten als drainagewaterkwaliteit vereist om de uitgespoelde vrachten van nutriënten te kunnen berekenen.

In Tabel 14 zijn de dagen weergegeven waarop in Rilland, Heerle en Moerstraten debietmetingen en kwaliteitsmetingen zijn verricht. Deze tabel laat zien dat slechts bij uitzondering alle metingen tegelijkertijd zijn gedaan. In Moerstraten zijn voor beide systemen en in Heerle voor het conventionele systeem nooit cumulatieve debieten gemeten. Hieronder wordt uitgelegd dat juist van de cumulatieve debieten de beste resultaten te verwachten zijn. In Moerstraten kon geen schatting worden gemaakt voor beide systemen omdat hier geen debietmeters zijn geplaatst, in Heerle slechts voor regelbare drainage, maar dit kon niet vergeleken worden met het conventionele systeem op deze locatie omdat daar geen cumulatieve debieten zijn gemeten. Alleen in Rilland konden de verschillende debieten gedurende een langere periode worden vergeleken, maar de vrachten voor de regelbare drainage werden daar niet iedere periode geanalyseerd.

Tabel 14

Dagen waarop tijdens het najaar van 2010 en het voorjaar van 2011 drainagewaterkwaliteit en -kwantiteit zijn geregistreerd in Rilland, Heerle en Moerstraten voor de cumulatieve meterstand methode.

	22-sep	08-okt	19-okt	05-nov	19-nov	07-dec	14-dec	03-jan	17-jan	21-jan	27-jan	08-feb	24-feb	23-mrt	07-apr
Rilland peilgestuurd kwaliteit															
Rilland peilgestuurd debiet															
Rilland normaal kwaliteit															
Rilland normaal debiet															
Heerle peilgestuurd kwaliteit															
Heerle peilgestuurd debiet															
Heerle normaal kwaliteit															
Heerle normaal debiet															
Moerstraten peilgest. kwaliteit															
Moerstraten peilgestuurd debiet															
Moerstraten normaal kwaliteit															
Moerstraten normaal debiet															

Naast debiet- en metingen aan drainagewaterkwaliteit zijn in ieder drainagesysteem vijf peilbuizen geplaatst. Hiermee zijn grondwaterstanden gemeten op dezelfde dagen als de debietmetingen. Deze peilbuizen zijn geplaatst op, en tussen de drie drains. De bovenkant van deze buizen lag ca. 20 cm beneden het maaiveld. Alle bovenkanten van de peilbuizen en de maaiveldhoogten zijn ingemeten ten opzichte een referentiepunt. Het referentiepunt was de bovenkant van de verzamelput waarin de drains uitmondden. Er is geen relatie gelegd met de hoogte t.o.v. NAP.

11.3 Uitwerking debietmetingen - Veldproef Rilland

Op de locatie Rilland werden in de periode 5-11-2010 t/m 17-01-2011 alle drie de methoden toegepast, waarbij in totaal zes maal zonder hiaten gemeten is. Hiermee konden de uitkomsten van de verschillende methoden en systemen met elkaar vergeleken en geëvalueerd worden. Hiervoor werden de gemeten waarden naar dezelfde eenheden omgezet, in dit geval mm waterlaag per oppervlakte eenheid. Voor iedere meetmethode werd eerst het totaal aantal m³ bepaald dat tussen twee opeenvolgende metingen werd afgevoerd en daarna gedeeld door het oppervlak van het gedraineerde gebied. Op het meetperceel in Rilland

is dit oppervlak 7500 m², voor zowel de conventionele als de regelbare situatie; 1 mm waterlaag is dan equivalent met een volume van 10 m³ per hectare en op 7,5 m³ voor een oppervlakte van 7500 m². Als dus bv 220 m³ neerslag is afgevoerd in een bepaalde periode van bijvoorbeeld zeven dagen via een oppervlakte van 7500 m² dan is dit $220/7,5 = 29,3$ mm en dus gemiddeld per dag $29,3/7 = \text{ca. } 4,2$ mm.

Bij de aflezingen van de cumulatieve meterstand is duidelijk hoeveel m³ water tussen twee metingen werd gedraineerd, maar bij de andere twee methoden niet. Omdat deze laatste twee bepalingen zeer willekeurig zijn binnen het tijdstip dat de drains afvoeren is er simpelweg van uitgegaan dat de waarde van het tijdstip van opname geldig blijft tot de volgende meting. Deze waarde is dan lineair in de tijd voorgezet, als was het een gemiddelde waarde. Deze volumes van de emmer en de momentopnames (m³/u) zijn daarna getotaliseerd naar m³ over de meetperiode en gedeeld door het oppervlak om mm te krijgen. Tabel 15 en Tabel 16 geven de uitkomsten van de drie typen afvoermetingen, uitgedrukt in mm water over de periode. Tevens is in deze tabellen de neerslag minus de referentieverdamping E (Makkink) gedurende de meetperiode weergegeven. Uitgaande dat er geen oppervlakkige afstroming vanaf het maaiveld naar de sloot en geen wegzijging heeft plaatsgevonden is deze hoeveelheid via de drains naar de sloot afgevoerd.

Tabel 15

Berekende (methode 1 en 2) en gemeten (methode 3) drainafvoer en neerslagoverschot voor conventionele drainage, locatie Rilland.

Conventionele drainage	afvoer in mm per periode voor de drie meetmethodes			neerslag minus verdamping mm
	1) emmer	2) momentopname	3) cumulatief	
periode				
2010-11-05				
2010-11-19	2,7	0,0	45,9	82,4
2010-12-07	14,8	11,5	19,3	32,8
2010-12-14	13,4	9,0	7,9	8,2
2011-01-03	7,4	0,0	25,2	27,2
2011-01-17	16,1	9,0	44,7	72,0
totaal	54,5	29,4	142,9	222,6

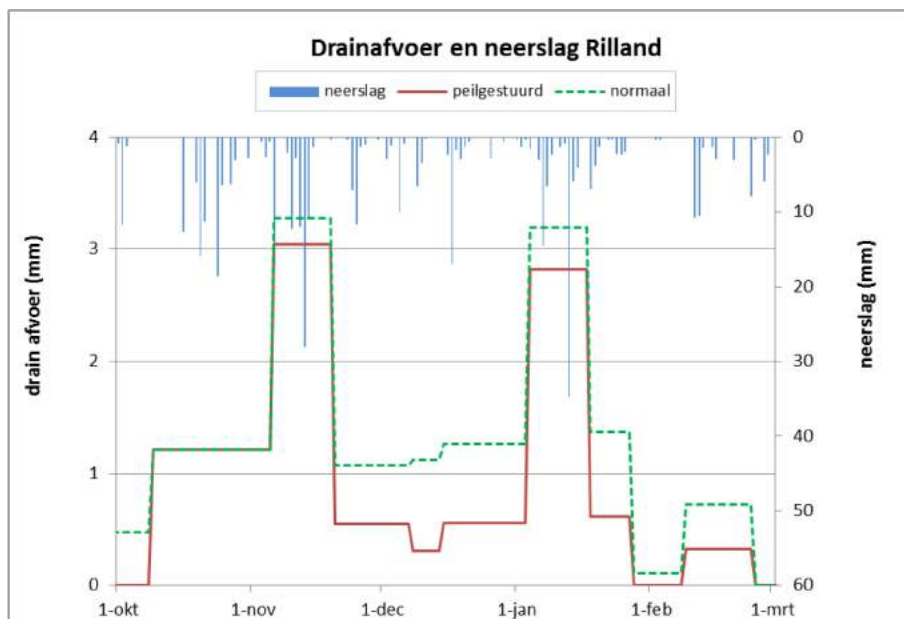
Tabel 16

Berekende (methode 1 en 2) en gemeten (methode 3) drainafvoer en neerslagoverschot voor regelbare drainage, locatie Rilland.

Regelbare drainage	afvoer in mm per periode voor de drie meetmethodes			neerslag minus verdamping mm
	1) emmer	2) momentopname	3) cumulatief	
periode				
2010-11-05				
2010-11-19	0,0	0,0	42,7	82,4
2010-12-07	0,0	0,0	9,9	32,8
2010-12-14	2,0	0,0	2,1	8,2
2011-01-03	0,0	0,0	11,2	27,2
2011-01-17	0,0	0,0	39,5	72,0
totaal	2,0	0,0	105,3	222,6

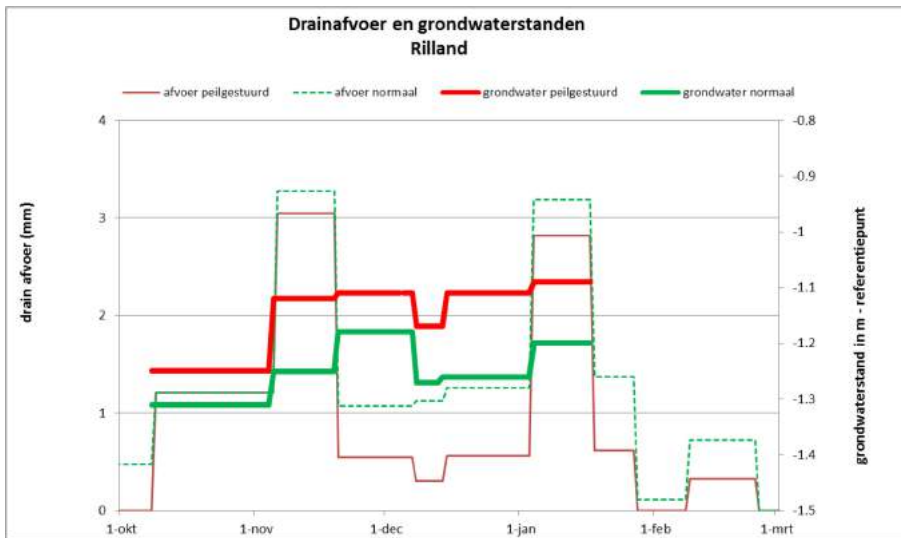
De waarnemingen van de momentopnamen van de debietmeter in m^3/u geven de laagste waarden. Ook de waarnemingen die met de emmermethode zijn verkregen wijken sterk af van de cumulatieve meterstanden. Dit is verklaarbaar omdat beide methoden slechts een momentopname zijn binnen een lange periode en dat op de momenten van opname de drains niet erg hard liepen. Uit de lage waarnemingen van methode 2 (momentopname van de debietmeter in m^3/uur) kan worden afgeleid dat de meter wellicht een bepaald minimaal debiet (aanloopdebiet) nodig heeft voordat hij begint te registreren. Deze registratie valt daardoor lager uit dan de emmer-methode. Als de conventionele drainage wordt vergeleken met regelbare drainage blijkt duidelijk (bij alle methodes) dat het conventionele systeem meer water afvoert dan het regelbare systeem. Met de emmer-methode kan wel worden aangetoond dat het conventionele systeem meer drainagewater afvoert dan het regelbare systeem.

Uit Tabel 15 en Tabel 16 blijkt dat de emmer- en de momentopnamemethode niet betrouwbaar genoeg zijn om iets te kunnen zeggen over totale afvoer in de tijd. Daarom zijn in Figuur 54 alleen de drainafvoeren en de neerslag volgens de cumulatieve methode uitgezet. De twee curven, rood en groen, tonen de afvoeren van respectievelijk het regelbare systeem en het conventionele systeem, uitgedrukt in mm waterschijf. De drainafvoer tussen twee meetopnames is lineair verdeeld over de tijd. De grafiek laat zien dat beide systemen op de neerslag reageren gezien de pieken bij hoge neerslag, waarbij het conventionele systeem volgens verwachting meer afvoert dan het regelbare systeem.



Figuur 54

Drainafvoer voor regelbare en conventionele drainage en neerslag, veldproef te Rilland.



Figuur 55

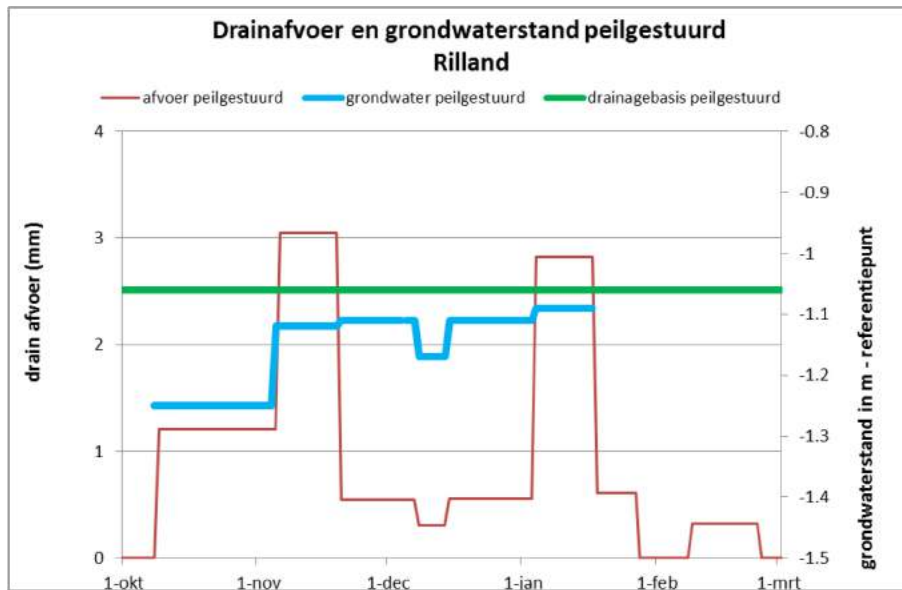
Grondwaterstanden en drainafvoeren voor het regelbare en conventionele systeem, veldproef te Rilland.

In Figuur 55 zijn de drainafvoeren uitgezet tegen de grondwaterstand. De uitgezette grondwaterstand is de gemiddelde grondwaterstand, berekend uit metingen verricht met vijf grondwaterstandsbuizen die tussen en op de drains zijn geplaatst. De uitgezette diepte is ten opzichte van het lokale referentiepunt. Het maaiveld ligt bij het regelbare drainagesysteem ca. -0,36 m ten opzichte van het referentiepunt en bij het conventionele systeem ca. -0,29 m ten opzichte van het referentiepunt. De conventionele drainagebasis was ingesteld op 90 cm beneden maaiveld en bij de regelbare drainage 70 cm beneden maaiveld. Bij het regelbare systeem was de drainagebasis dus 20 cm hoger ingesteld dan bij het conventionele systeem.

Aan de grafiek is te zien dat de grondwaterstanden bij het regelbare systeem hoger staan dan bij de conventionele situatie. De afvoeren (de dunne lijnen) bij het conventionele systeem zijn hoger en de grondwaterstanden liggen lager, hetgeen te verwachten is. In Figuur 55 is te zien dat afvoeren en grondwaterstanden 'redelijk' in overeenstemming zijn. Als de grondwaterstand hoger wordt, nemen de afvoeren toe.

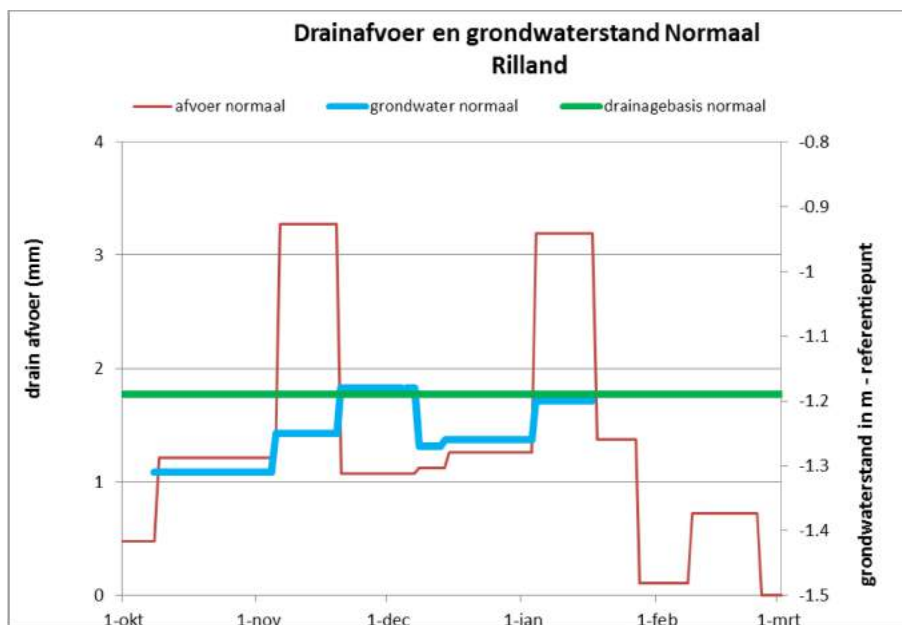
Om een beeld te krijgen hoe de grondwaterstanden zich gedurende de meetperiode verhielden ten opzichte van de drainagebasis en het maaiveld zijn in Figuur 56 en Figuur 57 de drainagebasis, grondwaterstanden en afvoeren uitgezet. In deze grafieken is het maaiveld niet ingetekend; het ligt bij de regelbare drainage gemiddeld 0,7m , en bij het conventionele systeem gemiddeld 0,9 m boven de drainagebasis.

Uit de grafische voorstellingen in Figuur 56 en Figuur 57 blijkt dat de drainagebasis bij het regelbare systeem altijd, maar ook bij het conventionele systeem vaak boven de gemeten grondwaterstanden ligt. Indien dit juist zou zijn, zouden geen afvoeren gemeten moeten zijn. Een verklaring kan zijn dat de drainbuizen onder een helling naar de sloot afvoeren en niet overal even diep beneden het maaiveld liggen. Hierdoor kan het zijn dat er in het gedeelte waar de grondwaterstandsmetingen zijn gedaan geen afvoer plaatsvond, maar op kleinere afstand van de sloot wel.



Figuur 56

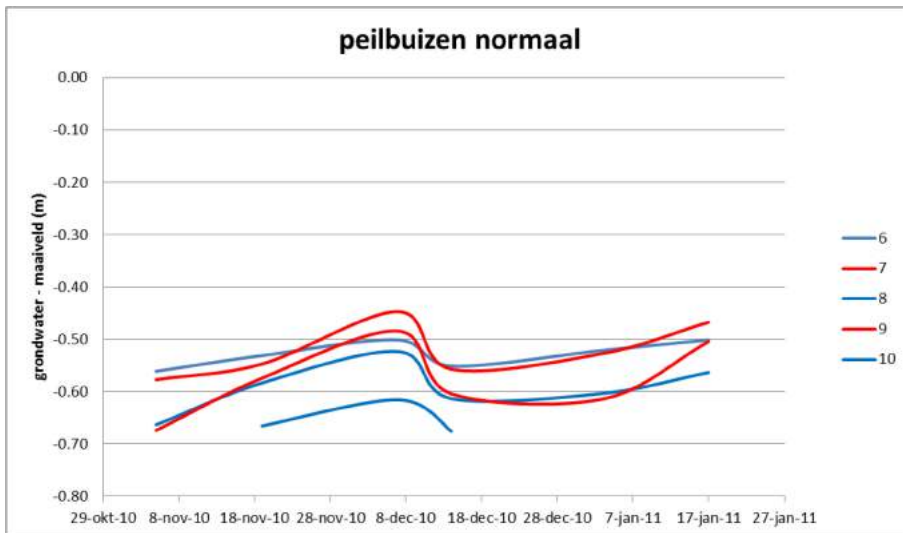
Drainafvoer, grondwaterstand en drainagebasis voor het regelbare systeem, veldproef te Rilland.



Figuur 57

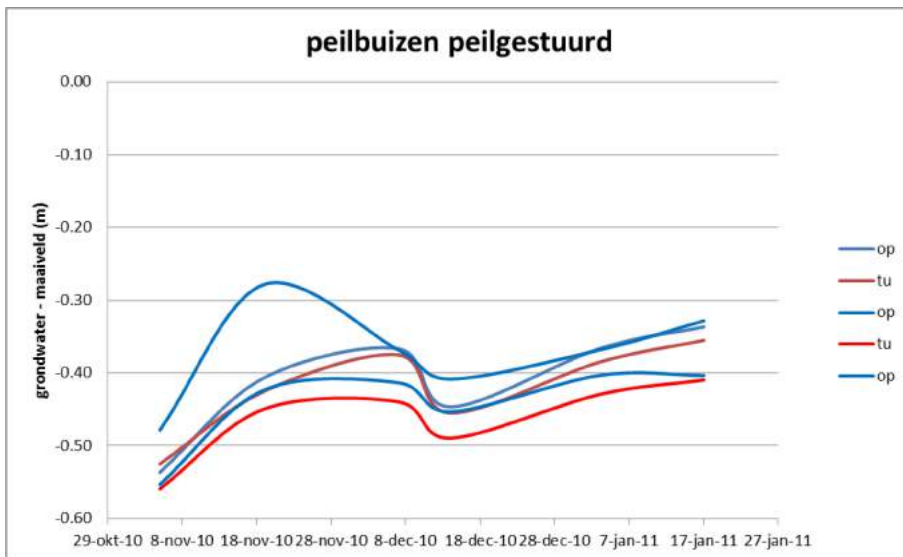
Drainafvoer, grondwaterstand en drainagebasis voor het conventionele systeem, veldproef te Rilland.

In Figuur 58 en Figuur 59 zijn de gemeten grondwaterstanden in Rilland uitgezet ten opzichte van het maaiveld. De blauwe lijnen geven de buizen óp de drains weer en de rode lijnen buizen tussen de drains. Bij het conventionele systeem (Figuur 58) levert dit plausible waarden: grondwaterstanden tussen de drains liggen wegens opbolling geregeld ondieper. Bij de waarnemingen aan het regelbare systeem (Figuur 59) blijkt eerder het tegendeel. De reden is niet vastgesteld.



Figuur 58

Grondwaterstand in de peilbuizen ten opzichte van het maaiveld, voor het conventionele systeem, proeflocatie Rilland.

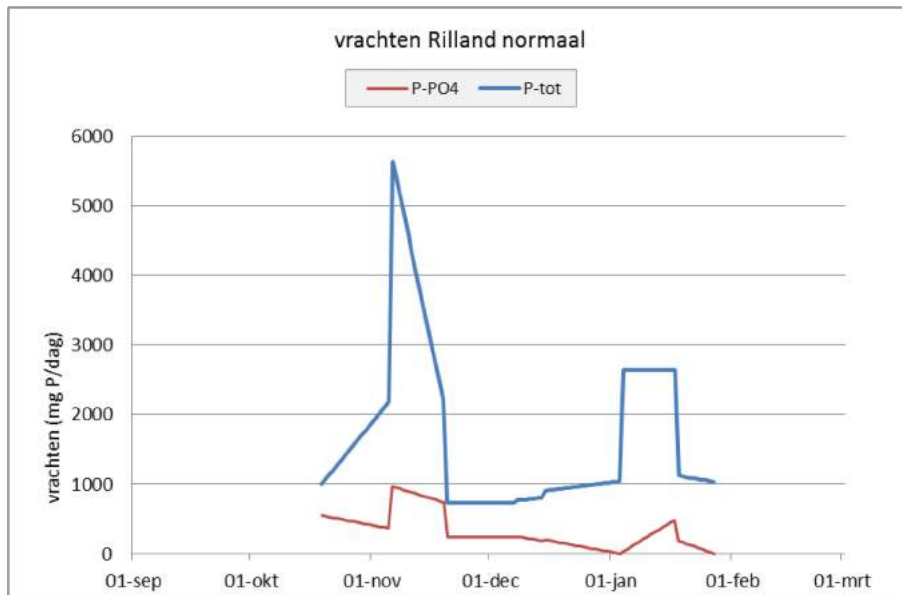


Figuur 59

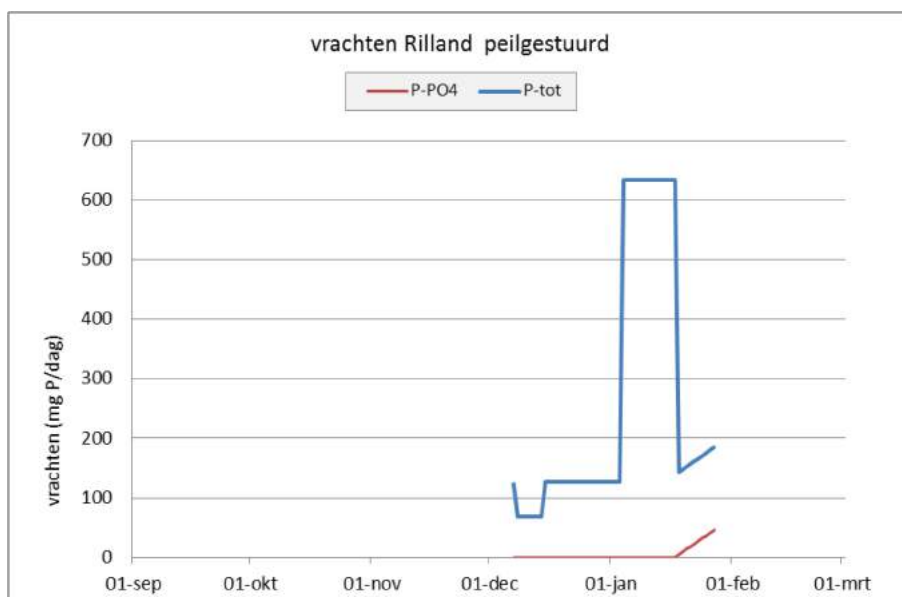
Grondwaterstanden in de peilbuizen ten opzichte van maaiveld voor het regelbare systeem, proeflocatie Rilland.

11.4 Berekende vrachten - proeflocatie Rilland

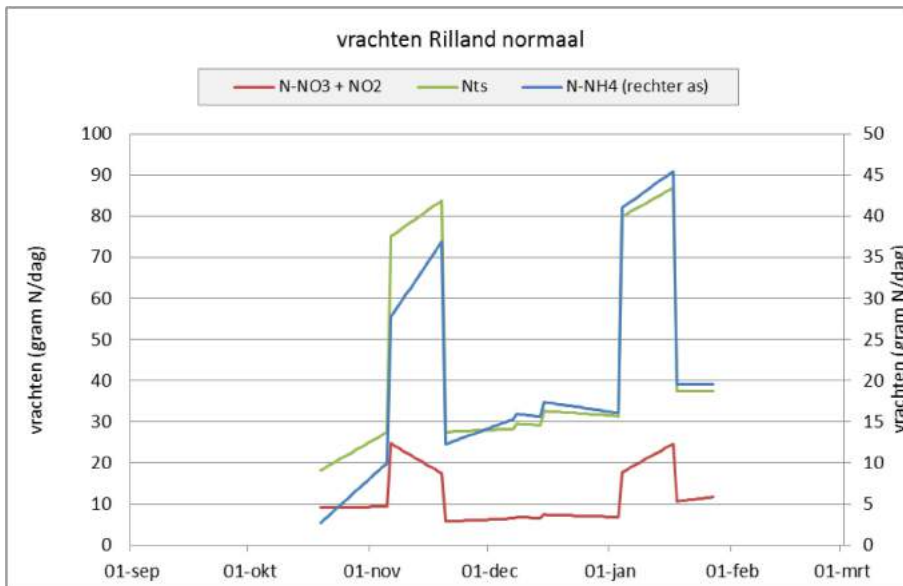
Voor conventionele en regelbare drainage zijn vrachten berekend van fosfaat en nitraat; zie Figuur 60, Figuur 61, Figuur 62 en Figuur 63. De vrachten zijn tussen twee opeenvolgende bemonsteringen op dagbasis lineair geïnterpoleerd tijdens perioden dat debieten zijn geïnterpreteerd. Pieken in de vrachten vallen samen met afvoerpieken; het zijn immers de producten van debieten en concentraties in het drainagewater.



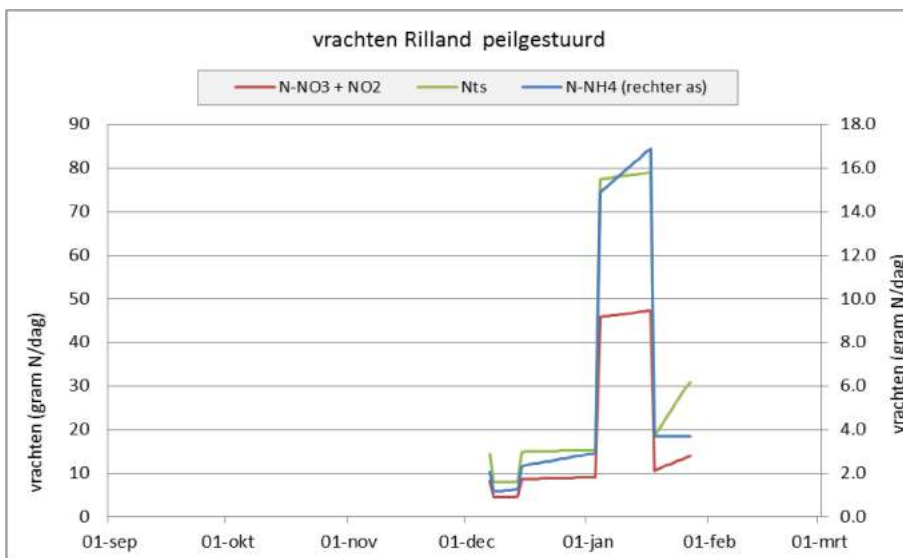
Figuur 60
 Vrachten van fosfaat, geregistreerd in Rilland aan conventionele drainage.



Figuur 61
 Vrachten van fosfaat, geregistreerd in Rilland aan regelbare drainage.



Figuur 62
Vrachten van nitraat, geregistreerd in Rilland aan conventionele drainage.



Figuur 63
Vrachten van nitraat, geregistreerd in Rilland aan regelbare drainage.

Op proeflocatie Rilland zijn aan regelbare drainage nauwelijks waarnemingen gedaan aan de waterkwaliteit (Tabel 14). Omdat de gemeten stikstofconcentraties in Rilland in beide drainageconfiguraties echter vergelijkbaar waren is besloten de vrachten voor de regelbare drainage te schatten op grond van de concentraties die zijn gemeten aan conventionele drainage. Voor P-totaal was dit niet mogelijk omdat de fosfaatvrucht bij regelbare drainage ongeveer een factor 10 lager was dan bij conventionele drainage; zie Figuur 60 en Figuur 61. Daarom is hiervoor bij regelbare drainage een gemiddelde waarde genomen van de bekende meetgegevens (drie metingen) en is deze vervolgens toegepast op de ontbrekende metingen.

De resultaten van de vrachtberekeningen zijn ondergebracht in Tabel 17. Voor andere dan de in deze tabel genoemde locaties konden geen betrouwbare vrachten worden berekend, omdat daar geen betrouwbare waarnemingen van drainafvoeren beschikbaar zijn.

Uit Tabel 17 blijkt dat de vrachten N-totaal in Heerle (4500 m²) beduidend hoger zijn dan in Rilland (7500 m²). De concentraties in Heerle waren ongeveer 7 tot 8 maal zo hoog als in Rilland. De afvoer bij regelbare drainage in Rilland was ca. 1000 m³ en in Heerle 1372 m³.

Tabel 17

Berekende vrachten N- en P-totaal voor locaties met cumulatieve debietmetingen.

Perceel	Peil, cm - mv	N-totaal vracht	P-totaal vracht
Rilland regelbaar	70	4,0 kg/ha	44 gram/ha
Rilland conventioneel	90	5,3 kg/ha	225 gram/ha
Heerle regelbaar	65	64 kg/ha	125 gram/ha

11.5 Schatting van nitraat- en fosfaatvrachten in Heerle met de 'emmer-methode'

Voor proeflocatie Heerle is een schatting gedaan van de uitspoelingsvermindering van N-totaal en P-totaal bij regelbare drainage ten opzichte van de conventionele drainage, op grond van waarnemingen van drainafvoeren met de 'emmer-methode'. Uit deze waarnemingen werd berekend dat in de periode van september 2010 tot april 2011 bij de conventionele drainage 1290 m³ werd afgevoerd en bij de regelbare drainage 830 m³. Regelbare drainage zorgt voor een reductie in de drainafvoer van 64%.

Vergeleken met de cumulatieve debietmeting, die voor de regelbare drainage uitkwam op 1700 m³, werd met de emmermeting dus slechts 830/1700 m³ = ca. 49% van de afvoer gemeten.

Als we bij meting met de 'emmer-methode' bij conventionele drainage van dezelfde fout uitgaan komt de best geschatte afvoer voor conventionele drainage uit op ca. 2630 m³.

De nitraat-, en fosfaatvrachten in Heerle zijn geschat op grond van de gemeten waterkwaliteit. P-totaal was voor zowel regelbare als conventionele drainage gemiddeld 0,04 mg/l. Bij N-totaal was het verschil groter: hier was de gemiddelde concentratie bij regelbare drainage 19 mg/l N, en 26 mg/l N bij conventionele drainage.

Deze waarden zouden betekenen dat er op de proeflocatie Heerle via regelbare drainage ca. 1700 m³ × 19 mg/l = ca. 32 kg moet zijn uitgespoeld, oftewel ca. 74 kg N/ha, en via conventionele drainage 2630 m³ × 26 mg/l = 68 kg N (ca. 150 kg N/ha). Analoog zou dit voor P-totaal betekenen: 1700 × 0,04 × 2,2 = 150 gram P/ha voor regelbare drainage, en ca. 2630 × 0,04 × 2,2 = 230 gr P/ha voor conventionele drainage. Deze waarden zijn zowel voor N-totaal als P-totaal iets hoger als cijfers, berekend op grond van cumulatieve debietmetingen (Tabel 17). De cijfers in Tabel 17 zijn ongetwijfeld het meest betrouwbaar.

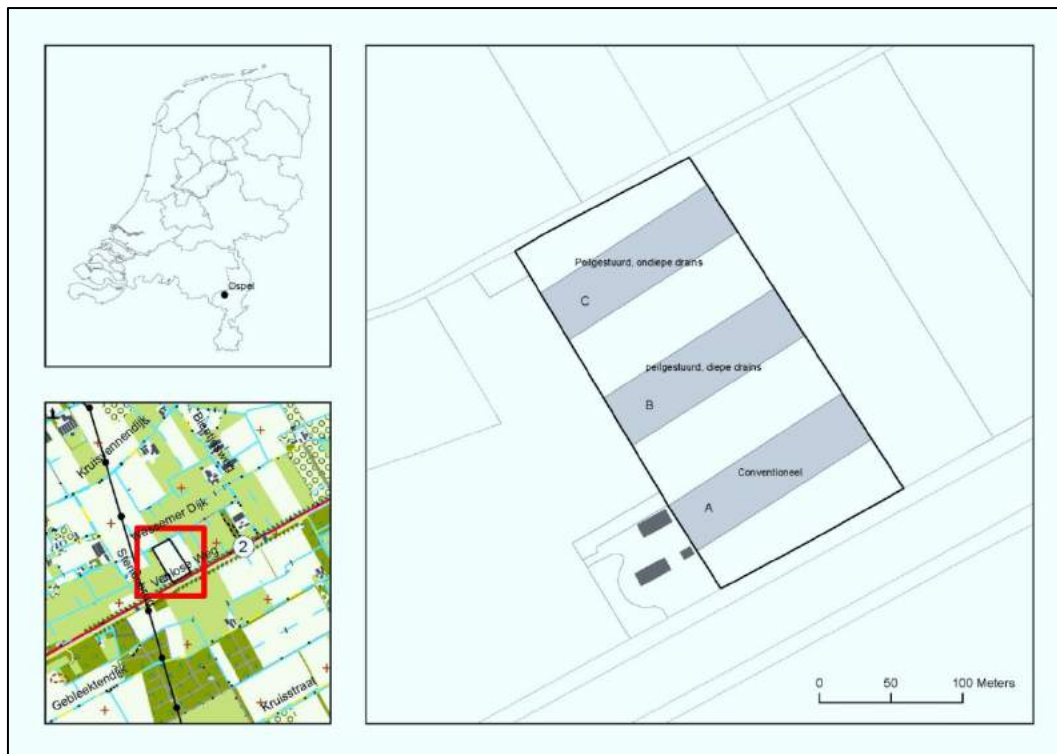
11.6 Conclusies

1. Er zijn grote verschillen geconstateerd tussen de drie gehanteerde methoden van debietmeten, waarbij duidelijk werd dat de beste van deze drie de cumulatieve debietmeter is. Om deze reden is, op één test na, besloten om alleen de met de cumulatieve debietmeter geregistreerde drainafvoeren te gebruiken voor het bepalen van vrachten van nutriënten in drainagewater. Het gevolg is dat deze vrachten in Rilland voor zowel regelbare drainage als conventionele drainage zijn berekend; in Heerle alleen voor regelbare drainage.
2. Op de drie locaties Heerle, Moerstraten en Rilland lieten de concentraties N-totaal voor zowel regelbare als conventionele drainage geen significante verschillen zien; alle waarden lagen tussen ca. 20 en 30 mg/l. Hetzelfde geldt voor P-totaal (waarden tussen 0,01 en 0,05 mg/l), met dit verschil dat voor de locatie Rilland P-totaal een factor 10 hoger is bij het conventionele systeem. Dit was in eerdere jaren ook al geconstateerd en is gerelateerd aan zoute kwel op deze locatie (R. Rijken, persoonlijke mededeling). Het 'hoger ingestelde' regelbare drainagesysteem maakt deze kwel minder intensief.
3. In Heerle blijkt dat bij regelbare drainage de nitraatconcentratie in het drainagewater, in tegenstelling tot de verwachtingen, hoger is dan bij conventionele drainage. Waardoor dit verschil wordt veroorzaakt is niet vastgesteld.
4. De nitraatconcentraties in het drainagewater zijn in Heerle hoger dan in Rilland. Dit moet wellicht worden toegeschreven aan de verschillen in grondsoort: zandgrond in Heerle en kleigrond in Rilland.
5. Uit de metingen in Heerle blijkt dat regelbare drainage op zandgrond een bijdrage kan leveren aan het verminderen van de uitspoeling van stikstof.
6. In zowel Rilland en Heerle spoelt met het drainagewater weinig fosfaat uit.

12 Praktijkproef Samengestelde, regelbare drainage te Ospel (Limburg), 2008-2012

Auteur(s):

L.C.P.M. Stuyt, R. Kselik, L. Renaud, P. Groenendijk en F.J.E. van der Bolt

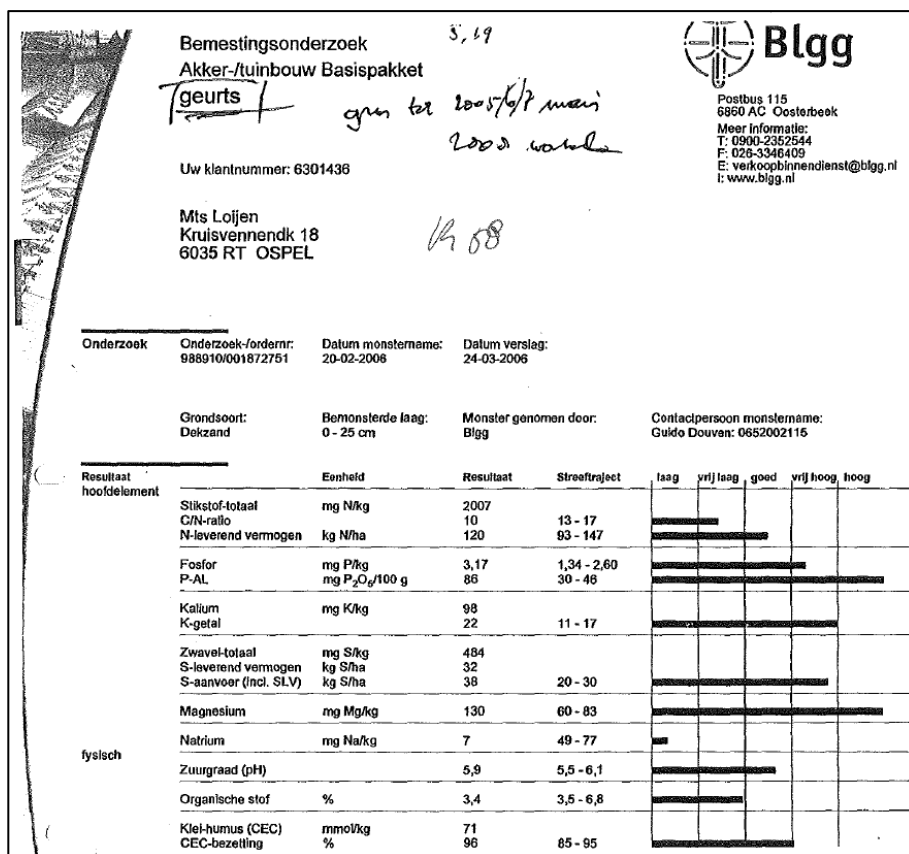


Figuur 64

Locatiekaartjes veldproeven regelbare drainage te Ospel, Limburg.

12.1 Beknopt chronologisch overzicht van vijf jaar praktijkproeven te Ospel

Op 20 februari 2006 worden op de percelen van Maatschap Loijen, Kruisvenendijk 18, 6035 RT Ospel (zie Figuur 64) grondmonsters genomen ten behoeve van een 'Bemestingsonderzoek Akker-/tuintbouw Basispakket'. De uitslag, dd. 24 maart 2006, was als volgt (zie Figuur 65):

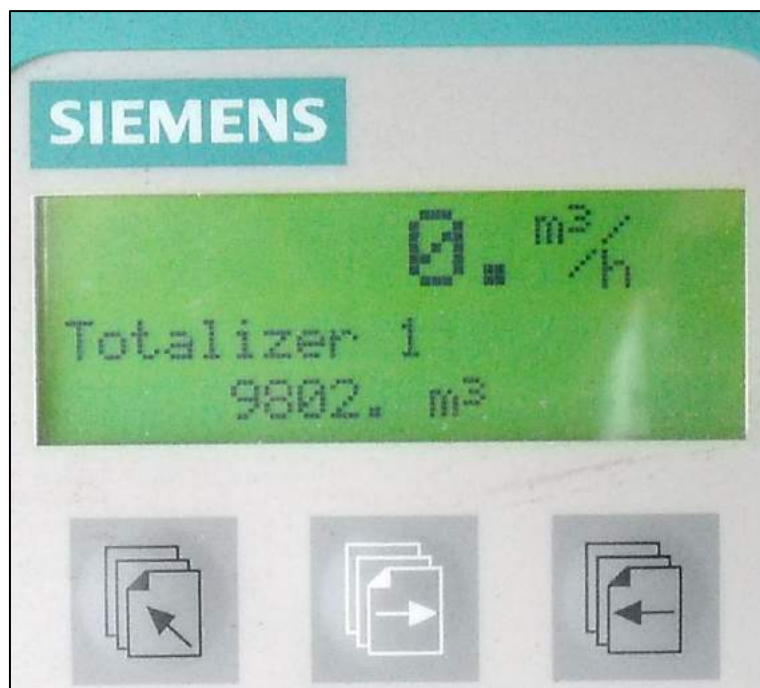


Figuur 65

Bemestingsadvies Loijen te Ospel dd. 24 maart 2006.

Mede op grond van dit bemestingsadvies zou op grond van een voor onderzoek in de herfst van 2007 een perceel van Maatschap Loijen geselecteerd worden voor de uitgebreide veldproef. In maart 2006 publiceerde Alterra een notitie over de voor- en nadelen van 'regelbare drainage'. In juni 2006 organiseerde waterschap Peel en Maasvallei een workshop over 'regelbare drainage', met belanghebbenden, vertegenwoordigers van diverse organisaties en van kennisinstituten. In augustus 2006 werden de eerste contouren van een projectvoorstel voor een praktijkproef zichtbaar, in november 2006 gevolgd door een concreet projectvoorstel, opgesteld door Alterra, in samenwerking met Ad van Iersel. In 2007 werd door van Bakel, Peerboom en Stuyt in het tijdschrift H₂O een artikel gepubliceerd, getiteld 'Drainage tegen verdroging en voor een beter milieu: paradox of werkelijkheid'. Aansluitend werden gesprekken gevoerd over de invulling van een uitgebreide veldproef. In maart 2007 startte waterschap 'Brabantse Delta met het project 'Stikstof op het juiste peil'. In april 2008 publiceerde Alterra Rapport 1647: 'Modelonderzoek naar effecten van conventionele en samengestelde, regelbare drainage op de hydrologie en nutriëntenbelasting'⁴⁷. De gunstige effecten die volgens dit rapport met de nieuwe vorm van drainage bereikt zouden kunnen worden hebben de initiatieven om te komen tot een serie veldproeven een flinke stimulans gegeven. In mei 2008 werd de drainage en Ospel aangelegd. In november 2008 werd de eerste oogst van het land gehaald: waspeen. In december 2008 werd meetapparatuur geïnstalleerd, in januari 2009 de pompinstallatie met de bijbehorende elektriciteit, waarna in februari 2009 de eerste serie metingen van grondwaterstanden en debieten (zie Figuur 66) konden worden verricht.

⁴⁷Zie <http://edepot.wur.nl/19013>



Figuur 66

De hoeveelheden drainagewater, afkomstig uit meetblokken A, B en C wordt met een elektronische debietmeter vastgelegd.

De zomer van 2009 bleek zeer droog; er werd besloten te beregenen. In oktober 2009 kwam de tweede oogst van het land: schorseneren. In 2010 werd de eerste serie gegevens geanalyseerd, en geconcludeerd dat de percelen homogeen genoeg waren om de drainage om te bouwen in drie gelijkwaardige meetblokken, A, B en C. In april 2010 werden aardappels gepoot. In mei 2010 werd de configuratie van de opbouw naar drie gelijkwaardige meetblokken vastgesteld. Dat najaar kwam de derde oogst van het land: aardappels, en werd nieuwe meetapparatuur geïnstalleerd, waaronder de zogenoemde Isco's, waarmee het drainagewater permanent bemonsterd kon worden. In november 2010 waren de nieuwe meetopstellingen operationeel. In december 2011 begon een vorstperiode, die tot medio januari zal duren. De drainage van meetblok B bleek na de dooi-aval echter niet te werken. Onderzoek bracht aan het licht dat het drainagesysteem niet op de daarvoor bestemde regelput was aangesloten. Deze fout werd snel hersteld, maar heeft de resultaten van de proeven wellicht beïnvloed. In het voorjaar van 2011 kon de eerste volledige meetreeks worden afgesloten en geanalyseerd. Het vierde gewas op de percelen was snijmais. Voorjaar en zomer van 2011 waren, tot eind juni, bijzonder droog. Na een nattere midzomerperiode verliep ook het najaar weer zeer droog, waarop besloten werd om in november de (inmiddels braakliggende) meetblokken te beregenen. De beregening heeft enkele weken geduurd, en daarna begon het flink te regenen. Het meetseizoen 2011-2012 kon in april 2012 met succes worden afgesloten. In mei 2012 met de proeflocatie ontmanteld, en de percelen in hun oorspronkelijke staat teruggebracht, zij het dat de agrariër over twee regelbare drainagesystemen beschikt.

12.2 Officiële opening van proeflocatie Ospel op 26 september 2008

Op 26 september 2008 werd in de proeflocatie Ospel officieel geopend. Waterschap Peel en Maasvallei gaf ter gelegenheid van het volgende persbericht uit.

Persbericht

Waterschap organiseert officiële start veldonderzoek

Herontdekking drainagesysteem blijkt ook innovatief

Waterschap Peel en Maasvallei herontdekte het systeem van regelbare drainage als middel om verdroging van zandgronden tegen te gaan. Maar uit verkennend onderzoek van het Wageningse onderzoeksinstituut Alterra blijkt dat het er ook voor zorgt dat er minder fosfaat en stikstof in het oppervlaktewater terecht komt. Reden voor het waterschap om dieper onderzoek te laten doen. Het ministerie van Verkeer en Waterstaat, Stichting STOWA, Rabobank en collega-waterschap Brabantse Delta financieren het onderzoek. Het waterschap organiseert een officiële start van het onderzoek op woensdag 8 oktober aanstaande.

Genodigden kregen onderstaande uitnodiging.

U bent van harte uitgenodigd om aanwezig te zijn bij de officiële start van het onderzoek op woensdag 8 oktober om 14.00 uur in Ospel. De bijeenkomst vindt plaats in een tijdelijk paviljoen bij het proefveld. Dit ligt pal langs de Noordervaart / Venloseweg in Ospel ter hoogte van de Bientjesweg-Sterrenbrug. Vanaf de Venloseweg vindt u wegwijzers naar de locatie.

Henk van Alderwegen, voorzitter van Waterschap Peel en Maasvallei is er trots op dat het onderzoek zoveel financiële steun heeft gekregen en het systeem van regelbare drainage zo vooruitstrevend opgepakt wordt in zijn werkgebied en bij andere betrokkenen zoals het ministerie. Van Alderwegen: "Ik waardeer het dat het ministerie van Verkeer en Waterstaat zoveel gewicht geeft aan dit onderzoek. Ze toont daarmee innovatieve kracht. Ik ben ook verheugd dat de directeur-generaal Water van het ministerie naar onze officiële startbijeenkomst komt en laat zien dat ze zich inzet om de problematiek van stikstof- en fosfaatuitspoeling te beperken."

Veldonderzoek

Onderzoeksinstituut Alterra blijft de komende jaren verder onderzoek doen naar dit systeem, ondermeer in een uitgebreide veldproef in Limburg (Ospel) en West-Brabant. Waterschap Peel en Maasvallei en Waterschap Brabantse Delta zijn al langer bezig om dit drainagesysteem in hun werkgebied in te zetten en hebben het eerste onderzoek door Alterra laten uitvoeren en het vervolgonderzoek aangevraagd. Waterschap Peel en Maasvallei heeft het systeem zelfs al in hun Keur, het wetboek van het waterschap, op laten nemen. Ze wil met de boeren samenwerken om de conventionele drainage van landbouwgrond in haar hele werkgebied, Noord- en Midden-Limburg, te vervangen door regelbare drainage. De waterschappen hebben de Stichting STOWA gevraagd als projectleider op te treden. Dit is een stichting voor toegepast onderzoek in het waterbeheer. Ze houdt zich bezig met onderzoek naar oppervlaktewater, afvalwater, grondwater en waterkeringen. Ze neemt de projectleiding op zich. De waterschappen leveren de chemische analyses voor het onderzoek.

Officiële start

Woensdag 8 oktober 2008 vindt de officiële start plaats van het project op het proefperceel in Ospel. Vertegenwoordigers van de financiers zullen dan officieel een starthandeling uitvoeren voor de proeven die drie jaar gaan duren. Belangrijkste doelgroepen voor deze dag zijn de overheden, zoals Ministeries van VROM, V en W, LNV, provincie Limburg en Noord-Brabant en de waterschappen in Nederland. Daarnaast zijn andere

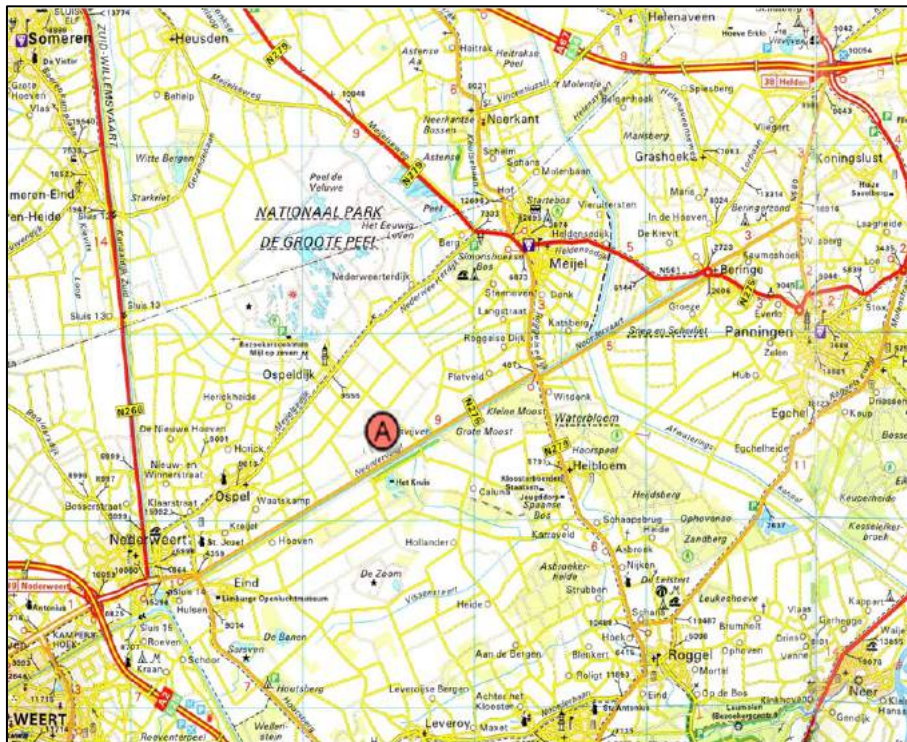
betrokken partners uitgenodigd, zoals Natuurmonumenten, Staatsbosbeheer, Werkgroep Behoud De Peel, agrariërs (van de LLTB en ZLTO).

Regelbare drainage

Regelbare drainage is een waterafvoersysteem dat water kan vasthouden. In andere delen van de wereld, zoals in Frankrijk en de Verenigde Staten wordt het al langer gebruikt. In Nederland is er zo'n vijftig jaar geleden ook mee geëxperimenteerd, maar is toen niet veel in de praktijk gebracht. Aan het einde van het drainagesetel, bij de beek of sloot, kan de agrariër een in hoogte verstelbare uitmonding aanbrengen. Daarmee kan hij er voor zorgen dat het water dat in drainagepijpen terecht komt alleen wordt afgevoerd in het vroege voorjaar of andere perioden met te veel water. Door water in het buitengebied niet te snel af te voeren, hoeven grondgebruikers minder te beregenen, wordt verdroging van natuurgebieden tegengegaan en worden beken en rivieren gelijkmatiger belast. Doordat het systeem voorkomt dat water te snel oppervlakkig wordt afgevoerd, wordt ook de fosfaatlast teruggedrongen. Waterschap Peel en Maasvallei voorziet dan ook dat deze maatregel een substantiële bijdrage kan leveren aan het bereiken van de doelen van de Europese Kaderrichtlijn Water (voor waterkwaliteit).

12.3 Beschrijving van de proeflocatie 'Ospel'

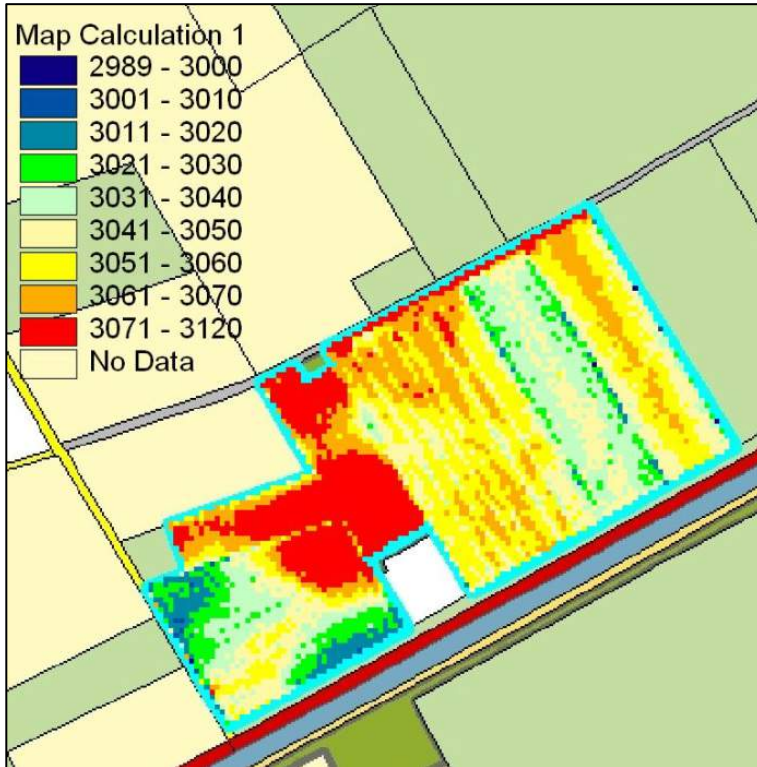
De proeflocatie Ospel met afmetingen 140x252 m (ruim 3,5 ha) bevindt zich in de provincie Limburg ten noordoosten van Weert aan de N275 (51°17'44"N en 5°48'53"O); zie Kaart 1 en Kaart 2.



Kaart 1

Omgeving van de proeflocatie 'Ospel'; deze bevindt zich ter hoogte van A.

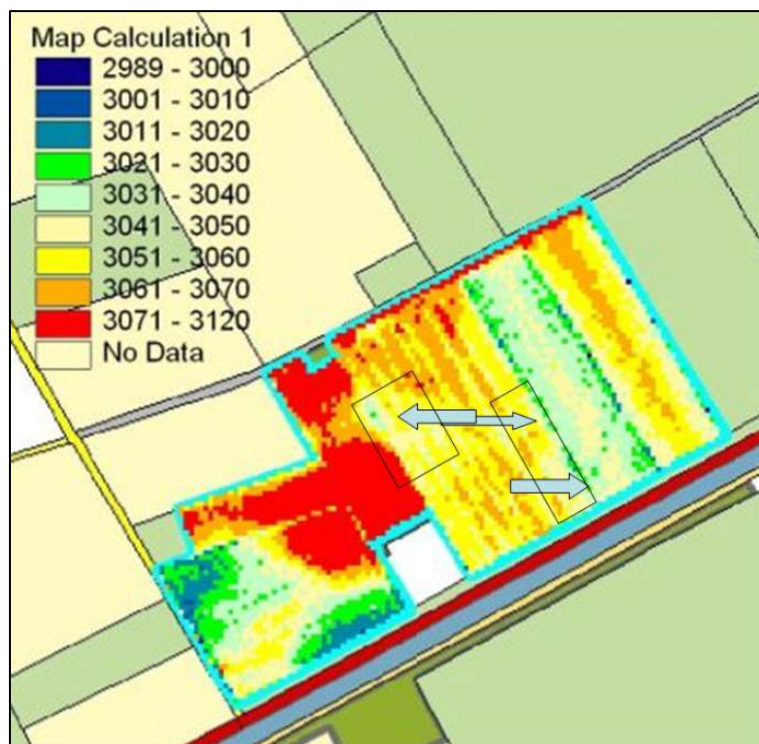
Het proefperceel bevat enkele plekken die, ondanks egalisatie, wegens maaiveld dalingen nog steeds of weer lager liggen dan andere plekken. Dit kan leiden tot oppervlakkige afspoeling wanneer er binnen korte tijd veel neerslag valt; de pijlen in Kaart 3 geven aan waar dit het meest waarschijnlijk is. Bij de laaggelegen plekken bevinden zich ook de meest moerige⁴⁸ lagen op dit perceel.



Kaart 2

AHN 5x5m hoogtekaart van de proeflocatie Ospel. Het proefperceel is het centraal gelegen, geel-oranje gekleurd gedeelte; de legenda is gegeven in cm ten opzichte van NAP.

⁴⁸ Moerig materiaal is een bodemkundig begrip waarmee bodemmateriaal wordt aangeduid waarin de minerale component in zeer geringe mate is vertegenwoordigd. Moerig materiaal bevat veel organische stof. Het moerige materiaal wordt ingedeeld op basis van de gehalten aan organische stof, lutum en de fractie 2-2000µm (zand en silt samen).



Kaart 3

Laaggelegen plekken in het proefperceel; de pijlen geven de mogelijke stromingsrichtingen van oppervlakkige afvoer weer, tijdens extreem natte omstandigheden.

In dit project willen wij hier configuraties van Samengestelde, Regelbare drainagesystemen vergelijken, en tegelijkertijd het effect kwantificeren van een conventioneel gedraineerd perceel op groeiomstandigheden, verloop van het gehalte aan bodemvocht en de kwaliteit van het ondiepe grondwater. Het is daarbij vanzelfsprekend dat we de proef starten met een homogeen gedraineerd perceel tijdens het winterseizoen 2008-2009. Als we dat niet zouden doen zouden we geen referentiebasis hebben.

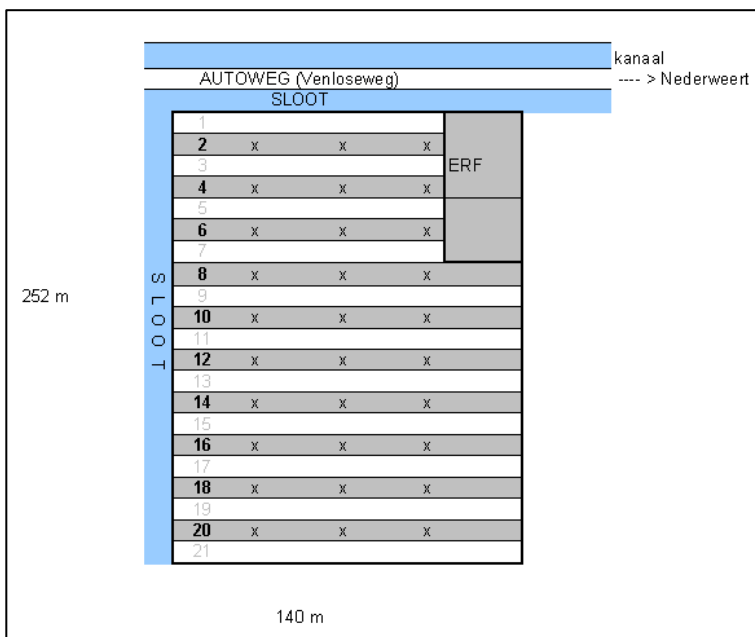
In het winterseizoen 2008-2009 zijn referentie waterkwaliteitsmetingen verricht, en is de proef geoutilleerd met een uniforme 'start' lay-out van het drainagesysteem. De drainage wordt in Ospel uiteindelijk in twee opeenvolgende stadia aangelegd, respectievelijk in de zomer van 2008, en in de herfst van 2009:

1. *Initiële configuratie*: installatie van een uniform netwerk van drains en collectorbuizen die tijdens het eerste meetjaar (winterseizoen 2008-2009) uniforme 'referentiemonitoring' mogelijk maken van diverse drainagekarakteristieken (waterkwantiteit en waterkwaliteit).
2. Uiteindelijke configuratie: ombouw van het in 2008 aangelegde systeem (140× 252m) tot drie even grote blokken (140×84m), met de volgende configuratie: (i) ondiepe Samengestelde Regelbare drainage; (ii) 'diepe' Samengestelde Regelbare drainage en (iii) geen drainage (dus afvoer vanuit het bestaande drainage systeem zal worden verhinderd).

Op 22 februari 2008 wordt de proeflocatie bezocht door medewerkers van opdrachtnemer Wageningen UR en opdrachtgever Waterschap Peel en Maasvallei. De perceelssloot waarin de drains uiteindelijk zullen uitmonden, is zojuist gegraven. De bodem bestaat uit dekzand met in de ondergrond lössleem: uiterst fijnzandig materiaal met een leemgehalte van 50-70%.

12.4 Aanleg van de drainagesystemen (13-14 mei 2008)

Op 13 en 14 mei 2008 zijn 44 drains geïnstalleerd met een drainafstand van 6 m en op twee verschillende diepten, namelijk 0,75 en 1,05 m beneden maaiveld. De drains werden geïnstalleerd in twee in 22 denkbeeldige, langwerpige blokken, met in elk blok één diepe, en één ondiepe drain. Op het perceel wisselen diep, en ondiepe gelegde drains elkaar af; zie Kaart 4. Van deze geïnstalleerde drainage is slechts een summere bestektekening beschikbaar: zie Figuur 67.



Kaart 4

Drainageplan van proeflocatie Ospel bestaande uit 21 blokken, elk bestaande uit een diep (d.w.z. draindiepte 1,3m) en één ondiep gelegde drain (d.w.z. draindiepte 0,8m); tijdens de installatie bleek dat er 22 blokken konden worden geïnstalleerd met in totaal 44 drains.

Bij het maken van het ontwerp van het drainagesysteem is rekening gehouden met het feit dat dit systeem in het najaar van 2009 omgebouwd zou moeten worden tot drie verschillende blokken. Ombouwen van een bestaand drainagesysteem is altijd bezwaarlijk, omdat er in de grond gespuit en geroerd gaat worden, waardoor de bodemstructuur achteruit kan gaan en de waterdoorlatendheid afneemt. Bovendien kan de oorspronkelijk correcte ligging van drainerbuizen in negatieve zin worden beïnvloed, waardoor de drainerende werking van het systeem aanzienlijk slechter kan worden.



Figuur 68

Impressies van de installatie van het experimentele samengestelde, regelbare drainagesysteem op proefperceel Ospel (1). Van linksboven naar rechtsonder achtereenvolgens: (i) bestektekening, (ii) draineermachine met sleufloze 'Delta'-ploeg, (iii) installatie van de eerste collectorbuis, (iv) invoer van collectorbuis in de ploeg, (v) positionering van 'Delta'-ploeg aan sloottalud bij begin van installatie van draineerbuis en (vi) sleufloze installatie van draineerbuis.



Figuur 69

Impressies van de installatie van het experimentele samengestelde, regelbare drainagesysteem op proefperceel Ospel (2). Van linksboven naar rechtsonder, achtereenvolgens: (i) blauwe drainuitmonding van zojuist geïnstalleerde drain, (ii) sleuf met 'trapje' in sloottalud, (iii) drain kruist onderliggende collectorbuis, en (iv) 'T-stuk' aangebracht aan bovenkant collectorbuis voor aansluiting draineerbuis.



Figuur 70

Impressies van de installatie van het experimentele samengestelde, regelbare drainagesysteem op proefperceel Ospel (3). Van linksboven naar rechtsonder, achtereenvolgens: (i) aansluiting van collectorbuis op meetput fase 1, (ii) nieuwe gaten geboord na foutieve hoogtemeting door de draineur, (iii) aansluiting van collectorbuis op meetput fase 2 en (iv) kapotgetrokken, foutief geïnstalleerde reeksen collectorbuizen.

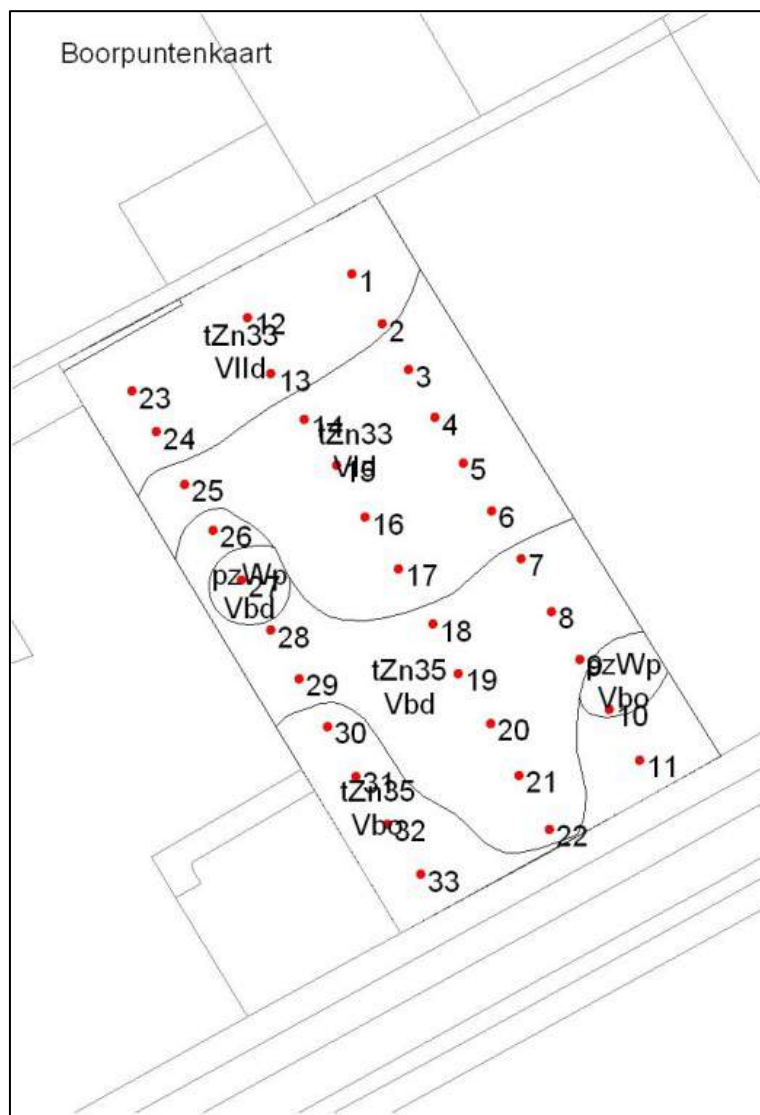


Figuur 71

De 44 geïnstalleerde drains werden in het najaar van 2008 gemarkeerd.

12.5 Bodemkundige inventarisatie op proeflocatie Ospel (15-16 juli 2008)

Om een goede indruk te krijgen van de samenstelling van de bodem werden 33 bodemprofielen beschreven. Het perceel is op 15 en 16 juli 2008 bodemkundig geïnventariseerd, in drie raaien van noord naar zuid. In de raaien is op afstanden van 25 m het profiel beschreven; zie Figuur 72.

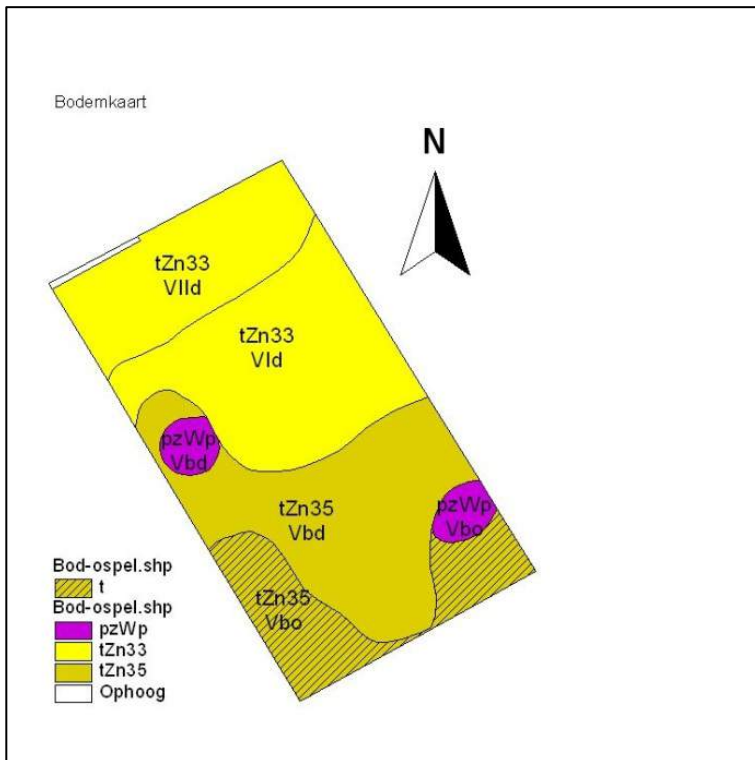


Figuur 72

Ligging van de raaien en boorpunten. Raai 1 = 1 t/m 11, raai 2 = 12 t/m 22, raai 3 = 23 t/m 33.

Er zijn 21 profielen tot 180 cm en 12 profielen tot 280 cm diepte beschreven. De profielbeschrijving is gemaakt volgens de Handleiding Bodemgeografisch Onderzoek (Ten Cate, 1995). De grond bestaat meestal uit zwak- en sterk lemig zand. Op enkele plekken komt ondiep moerig materiaal voor. Overal bestaat de ondergrond uit leem. Aan de zuidkant komt in de ondergrond leem ondieper voor dan op de meeste noordelijke plekken. Het perceel is geëgaliseerd. Onder de bouwvoor van 25 cm dik komt regelmatig op 25 à 40 cm diepte een verwerkte laag voor (bijlage 1 boorstaat 4, 5, 18). De bodem bestaat uit dekzand met lössleem (Brabantleem) in de ondergrond. Lössleem is uiterst fijnzandig materiaal met een leemgehalte van

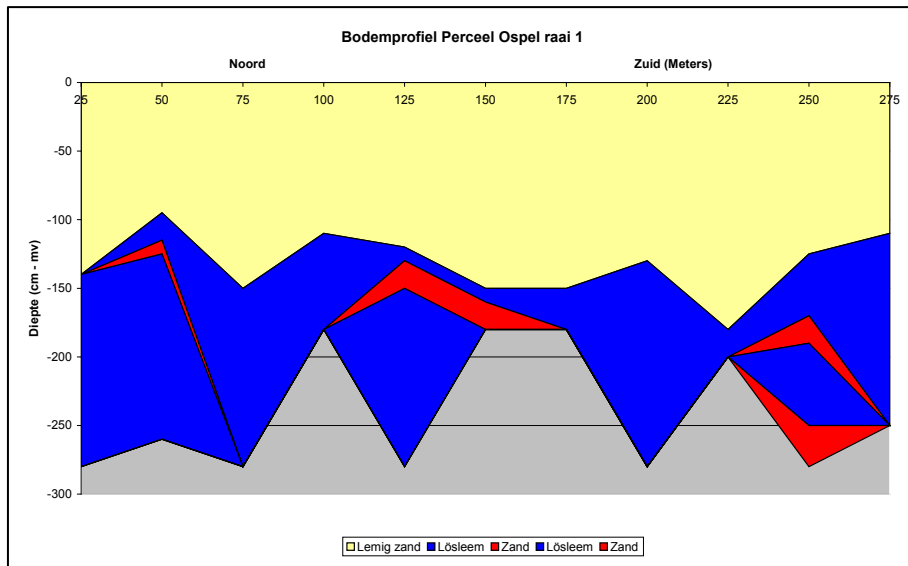
50 - 70 %. De inspoelingshorizont (podzol - Bhe horizont) was voor de egalisatie waarschijnlijk overal aanwezig. Door ploegen en egaliseren is de podzol door de bovengrond gemengd of 'weg geëgaliseerd'. In sommige profielen is niets van de podzol terug te vinden. In andere komt nog een lichtbruine laag voor (BC-horizont). Ze zijn Gooreerdgronden genoemd. Op de noordelijke helft van het perceel is de bovengrond zwaklemig (tZn33) en op de zuidelijke helft sterk lemig (tZn35); zie Figuur 73.



Figuur 73

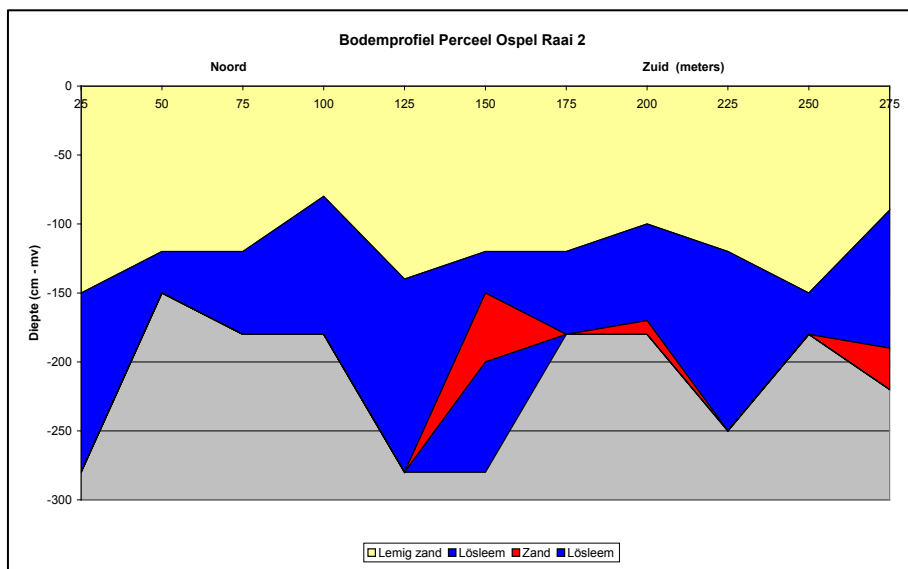
Bodem- en Gt-kaart van proeflocatie 'Ospel'.

Op twee plaatsen is onder de bouwvoor een 5 cm dikke giedelaag (veenlaag) van aangetroffen (pZwP). Dit waren vóór egalisatie de lagere plekken in het perceel. Ook is hier de podzol nog in het profiel aanwezig. In het gehele perceel is in de ondergrond lössleem (Brabantleem) aangetroffen. Op de zuidrand van het perceel begint de lössleem tussen 80-120 cm diepte ('t' in Figuur 73). In het overige deel van het perceel komt de lössleem tussen 120-180 cm -mv. voor. De begindiepte en dikte van de lössleem is aangegeven in drie vereenvoudigde profieldoorsneden: zie Figuur 74, Figuur 75 en Figuur 76. Op een aantal plaatsen komt lössleem voor die waterverzadigd en slap is. In een aantal profielen komt in het lössleempakket een zandlaagje voor.



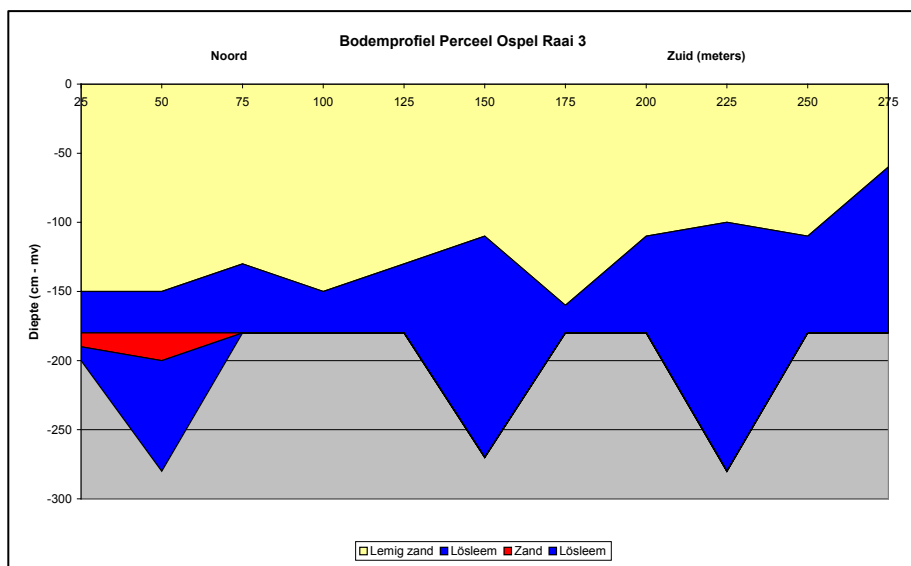
Figuur 74

Schematische weergave bodemprofiel van 3 raaien in noord - zuid richting van het perceel. Raai 1 = beschrijving 1 t/m 11.



Figuur 75

Schematische weergave bodemprofiel van drie raaien in noord - zuid richting van het perceel. Raai 2 = beschrijving 12 t/m 22.



Figuur 76

Schematische weergave bodemprofiel van drie raaien in noord - zuid richting van het perceel. Raai 3 = beschrijving 23 t/m 33.

De lössleemlaag is hier en daar in de taluds van de sloot goed te zien; zie Figuur 77. Het valt op dat de bovenkant van de lössleemlaag een zeer grillig patroon vormt. Op enkele meters afstand zijn er al hoogteverschillen van enkele decimeters. Dit betekent dat de drains regelmatig de leemlaag doorsnijden.

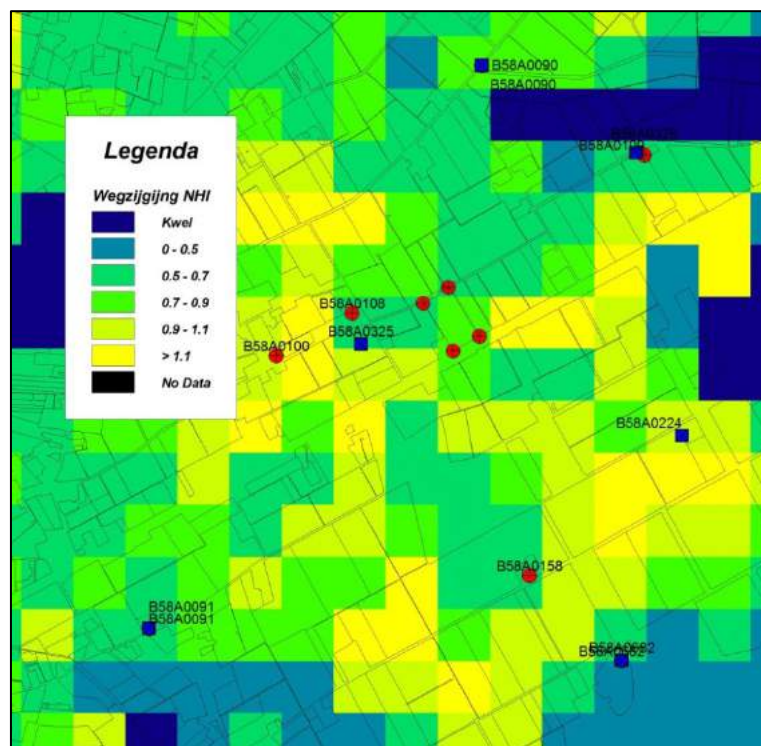


Figuur 77

Lössleemlaag, zichtbaar in sloottalud. Foto: Willy de Groot, 20 mei 2009.

Grondwatertrap - De grondwatertrap is op de noordzijde van het perceel Gt Vld, op het centrale gedeelte Gt Vld en op het zuidelijk deel Gt Vbd en Vbo. In perioden met veel neerslag ontstaan schijnspiegels boven de

lössleem. Kwel vanuit de Noordervaart (peil staat duidelijk hoger dan maaiveld perceel) is nergens geconstateerd. De waterstand in de boorgaten was op 16 juli 2008 ca. 270 cm in de boorgaten tot 280 cm - mv. De boorgaten tot 180 cm diepte stonden droog. Ter plaatse van het proefperceel is sprake van wegzijging van grondwater. In Figuur 78 is de met NHI berekende wegzijging weergegeven; Op basis van het NHI wordt een gemiddelde wegzijging berekend voor het perceel van 1.0 mm/d. Uit de modelberekeningen kan worden afgeleid dat het grootste deel van het neerslagoverschot via wegzijging regionaal wordt afgevoerd.



Figuur 78

Kwel-wegzijgingskaart van de directie omgeving van proeflocatie Ospel, samengesteld op basis van berekeningen, uitgevoerd met het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI).

12.6 Aanleg afwatering/debietmeting (januari - februari 2009)

In januari en februari 2009 is, in drie stappen, een installatie gerealiseerd voor de debietmetingen en het afvoeren van het drainagewater. De aansluiting op het elektriciteitsnet kon niet direct worden gerealiseerd, daarom is tijdelijk gewerkt met een stroomaggregaat. Op 11 februari werd de definitieve aansluiting op het elektriciteitsnet gerealiseerd en kon de pomp in werking worden gesteld (Figuur 79).



Figuur 79

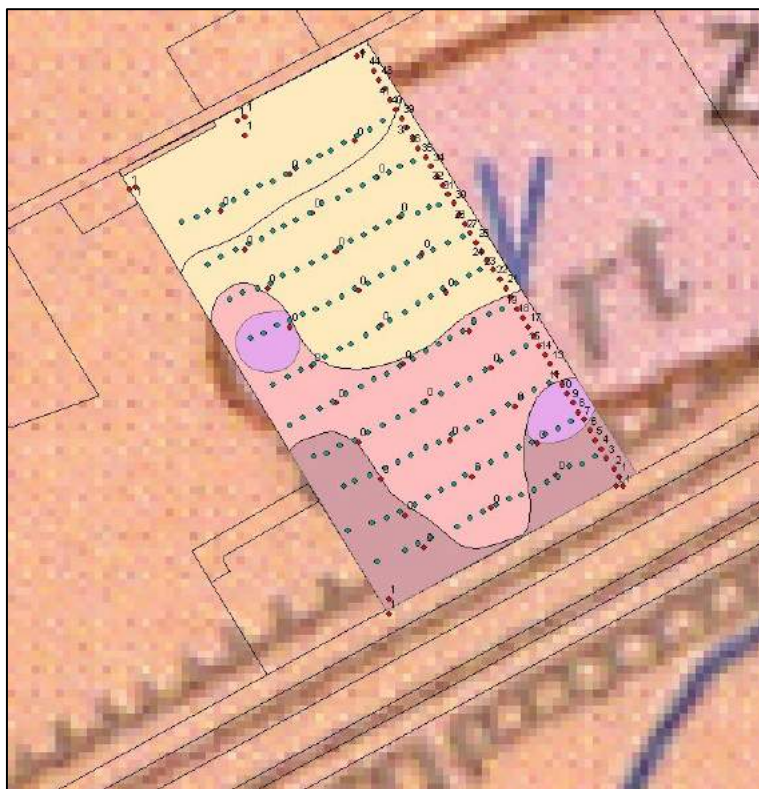
Van linksboven naar rechtsonder, achtereenvolgens: (i) het pomphuis, gezien vanaf het Sluppenven; aan de waterspiegel is het duikertje zichtbaar dat tot dan toe een rechtstreekse verbinding vormde met de perceelssloot maar nu is afgesloten, (ii) de Japanse dompelpomp, tijdelijk naar boven gehaald voor inspectie (iii) identificatieplaatje van de pomp, (iv) een glorieus moment: de eerste minuut dat de pomp in werking is; de stroomvoorziening wordt nog verzorgd door het dieselaggregaat.

12.7 Vastlegging behandelblokken A, B en C; analyse bodemmonsters in 2009

In het perceel liggen drains op 6 m afstand. De drains zijn van zuid naar noord genummerd van 1 t/m 44. Voor chemische trendanalyses van de bodem zijn op 27 januari 2009 grondmonsters genomen, tot een diepte van 1,2 m, min of meer parallel aan de looprichting van de drains; zie Figuur 80. Doel ervan was na te gaan of de uitgangssituatie van het proefperceel homogeen en op een verwacht niveau is. De exacte locaties van de behandelingsblokken waren nog niet bekend. Op basis van de ligging van de nieuwe drainage en een indeling van het proefperceel in 20 vakken (telkens twee drains, dus 12 m breedte) zijn 16 steken per vak gedaan in een rechte lijn tussen de twee drains (figuur links). Van de 16 steken zijn mengmonsters gemaakt voor elk van 5 diepten 0-30 cm, 30-50 cm, 50-70 cm, 70-90 cm en 90-120 cm. Aan het eind van de proef in 2011 is deze exercitie herhaald. Door vergelijking van de chemische toestand op deze tijdstippen ontstaat inzicht in de effecten van de drainage op de bodemvruchtbaarheid en het bodemmilieu. De bodemmonsters werden zowel mechanisch als handmatig gestoken (Figuur 81), en onderzocht op onderstaande elementen:

voorbehandeling - matrix	SWV	apparaat	Q*	element
geen	E1304	ICP-AES Thermo	Q	Fe en P
geen - water	E1417	SFA-CaCl2	Q	NH4, NO3+NO2, Nts en PO4

Uit de analyses werd het volgende geconcludeerd. Het perceel is voldoende homogeen voor het aanleggen van een 3-blokkenproef, met behandelingen A, B en C. De fosfaatverzadigingsgraad (PSD) van de bovengrond is gemiddeld ongeveer 45%, ruim boven de norm van 25%, maar de PSD van de laag net beneden de bouwvoor, die voor ons onderzoek van groot belang is, omdat de grondwaterstand daar net wel of niet in zal komen, is veel lagere PSD, namelijk ca. 18%. De drainagebehandelingen daarom zullen op het proefperceel in Ospel waarschijnlijk geen of weinig effect op de fosfaatvrucht veroorzaken. Het is echter niet uitgesloten. Het is waarschijnlijk dat kleine verschillen zullen ontstaan als gevolg van verschillen in organische P-vrachten, maar deze verschillen hebben niet specifiek betrekking op fosfaatlekkende percelen.



Figuur 80

Locaties waar in februari 2009 proeflocatie Ospel grondmonsters werden gestoken.



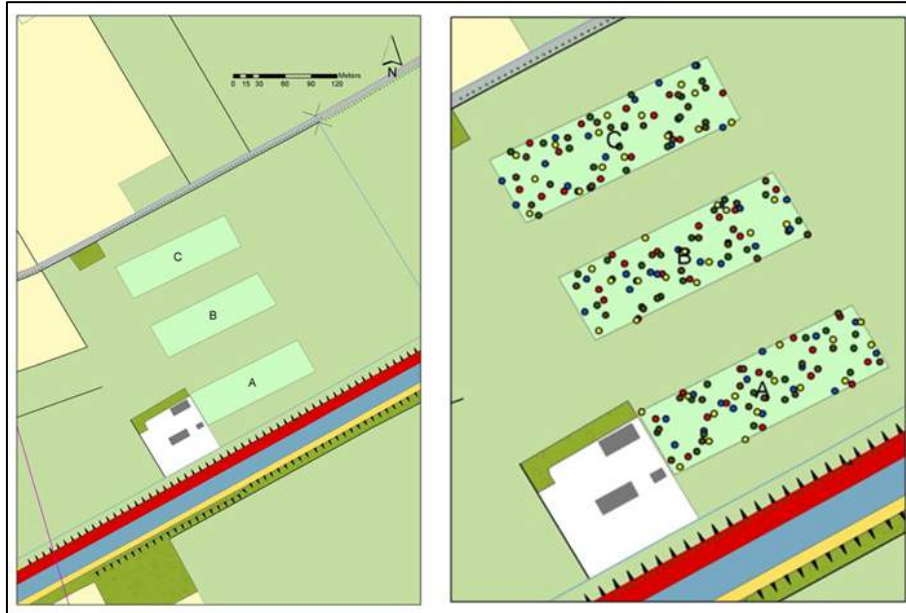
Figuur 81

Mechanisch steken van bodemmonsters op proeflocatie Ospel in februari 2009. Van linksboven naar rechtsonder, achtereenvolgens: (i) quad met bemonsteringsapparatuur, (ii) uitzetten van bemonsteringsplekken, (iii) mechanisch inbrengen van een guts, (iv) uittrekken van de guts, (v) bemonstering en (vi) verpakking bodemmonster.

12.8 Uitgebreide chemische bodemanalyses Ospel 2009-2011

In 2010 is de ligging van de behandelingsblokken A, B en C vastgelegd; zie Figuur 82, links. Om de bodemchemische beginsituatie vast te leggen is ook toen een uitgebreide grondbemonstering uitgevoerd. Aan het eind van de proef in 2011 is deze exercitie herhaald. Door vergelijking van de chemische toestand op deze tijdstippen ontstaat inzicht in de effecten van de drainage op de bodemvruchtbaarheid en het bodemmilieu. In het voorjaar van 2010 is de bodem bemest. In 2010 hebben er aardappelen op het proefveld gestaan. In november 2010 is de grond uitgebreid bemonsterd. Per behandelingblok, te weten: A: Conventionele drainage, B: Samengesteld Regelbaar Diep en C: Samengesteld Regelbaar Ondiep zijn vijf mengmonsters

genomen van vijftien steken en op vier dieptetrajecten: 0-30, 30-50, 50-70 en 70-90 cm. De locaties van de steken binnen elk behandelingsblok zijn geloot middels een zo goed mogelijke ruimtelijk verdeling; zie Figuur 82, rechts). Het kan zijn dat de verschillen vooral en allereerst in de bovengrond plaats hebben. Vandaar dat we ook een analyse voor de laag 0-30 cm hebben uitgevoerd. Met vijf mengmonsters kan het gemiddelde goed worden geschat en wordt ook de spreiding in de voorkomende waarden bekend.



Figuur 82

Het proefperceel in Ospel langs de Noordervaart, met drie drainageblokken: A = conventionele drainage; B = regelbare drainage, diepgelegen drainbuizen, en C: regelbare drainage, ondiep gelegen drainbuizen (links) en de locaties voor de uitgebreide bodembemonsteringen in 2010 en 2011 die door loting zijn verkregen (rechts).

Het effect van de drainage op de verandering van de chemische bodemsamenstelling na een jaar is beperkt. Er zijn regressieanalyses uitgevoerd naar paarsgewijze verschillen van de gemiddelde verandering in bodemgehalten tussen 2010 en 2011 gemiddelde van alle vier bemonsterde lagen (0-30, 30-50, 50-70, 70-90 cm) (zie Tabel 18) en naar paarsgewijze verschillen van de gemiddelde verandering in bodemgehalten tussen 2010 en 2011, gemiddelde van bovenste bemonsterde laag (0-30 cm); zie Tabel 19.

Tabel 18

Regressieanalyse met onderzoek naar paarsgewijze verschillen van de gemiddelde verandering in bodemgehalten tussen 2010 en 2011 gemiddelde van alle vier bemonsterde lagen (0-30, 30-50,50-70, 70-90 cm); (negatief getal betekent: daling t.o.v. 2010).

Gehalte	Conventionele Drainage (A)	Samengesteld Regelbaar Diep (B)	Samengesteld Regelbaar Ondiep (C)	Standaard error	t-waarden van paarsgewijze verschil: O-C;O-S;C-S	Significante verschillen
Fe	0.1	0	0	0.0562	-1.78; 0.00;1.78	
Al-ox	12.95	61.45	-10.12	36.73	1.32;1.95;0.63	O-S (+/-)
Fe-ox	27.00	30.55	10.05	11.35	0.31;1.81;1.49	
P-ox	1.55	2.15	-10.825	8.413	0.07;1.54;1.47	
N-NH ₄	-0.25	-0.36	-0.24	0.295	-0.37;-0.41;-0.03	
N-NO ₃ _NO ₂	3.31	4.42	5.38	1.102	1.01;-0.87;1.88	
Nts	2.85	3.2	4.53	1.038	0.34;-1.28;1.61	
P	0.355	0.335	0.408	0.0557	-0.36;-1.30;-0.94	
C	-12.45	-14.8	-11.85	2.711	-0.87;-1.09;-0.22	
Pw	-3.2	-7.6	-5.5	1.402	-3.14;-1.50;1.64	O-C
P-PO4	-0.025	-0.03	-0.02	0.020	-0.25;-0.49;-0.25	
PSD	-0.304	-0.589	-2.16	0.943	-0.30; 1.67;1.97	C-S (+/-)

Tabel 19

Regressieanalyse met onderzoek naar paarsgewijze verschillen van de gemiddelde verandering in bodemgehalten tussen 2010 en 2011, gemiddelde van bovenste bemonsterde laag (0-30 cm); (negatief getal betekent: daling t.o.v. 2010).

Gehalte	Conventionele Drainage (A)	Samengesteld Regelbaar Diep (B)	Samengesteld Regelbaar Ondiep (C)	Standaard error	t-waarden van paarsgewijze verschil: O-C;O-S;C-S	Significante verschillen
Fe	0	0	0	0	0;0;0	
Al-ox	-11.00	39.00	39.40	34.04	1.47;-0.01;-1.48	
Fe-ox	29.00	36.20	26.20	18.01	0.40;0.56; 0.16	
P-ox	15.80	2.40	12.20	11.47	-1.17;-0.85;0.31	
N-NH ₄	-0.86	-1.24	-0.91	1.12	-0.34;-0.29;0.04	
N-NO ₃ _NO ₂	7.64	7.46	10.43	2.155	-0.08;-1.38;-1.29	
Nts	6.60	4.80	8.40	2.511	-0.72;-1.43;-0.72	
P	0.32	0.30	0.48	0.1058	-0.19;-1.70;-1.51	
C	-18.00	-20.4	-19.1	2.124	-1.13;-0.61; 0.52	
Pw	-3.2	-7.6	-5.5	1.402	-3.14;-1.50; 1.64	O-C
P-PO4	-0.020	-0.08	-0.010	0.054	-1.11;-1.29;-0.18	
PSD	1.121	-1.395	-0.225	1.167	-2.16;-1.00; 1.15	O-C

Enkele observaties:

1. Het Al-ox gehalte van blok B: **Samengesteld Regelbaar Diep** lijkt meer gestegen dan van het blok met **Conventionele drainage (A)**.
2. De Pw van het blok met **Conventionele drainage (A)** is wat minder gedaald dan van **Samengesteld, Regelbaar, Diep (B)**.
3. De PSD van de behandeling **Conventionele drainage (A)** is wat minder gedaald dan **Samengesteld Regelbaar Ondiep (C)**.

Voor de bovenste laag (0-30 cm; Tabel 19) geldt dat er weinig significante verschillen zijn, met uitzondering van het verschil in **daling van de Pw en PSD** tussen **Conventionele drainage (A)** en blok **B Samengesteld Regelbaar Diep**. De daling van de Pw is groter bij blok **B Samengesteld Regelbaar Diep**. De Pw is alleen van de bovengrond bepaald, vandaar dat het effect in Tabel 18 en Tabel 19 identiek zijn. De PSD van blok **B Samengesteld Regelbaar Diep** is gedaald. De stijging van de PSD bij **Conventionele drainage (A)** wordt veroorzaakt door grotere stijging van P-ox en daling van Al-ox. Deze afzonderlijke effecten zijn niet significant, maar het gezamenlijke effect wel.

Conclusie

Het effect van de drainagebehandelingen op de verandering in de chemische bodemsamenstelling na een jaar is beperkt.

De N-gehalten (N-NO₃-NO₂ en N_{is}) zijn in 2011 wat hoger dan in 2010. Er zijn echter geen significante verschillen tussen de behandelingen gevonden.

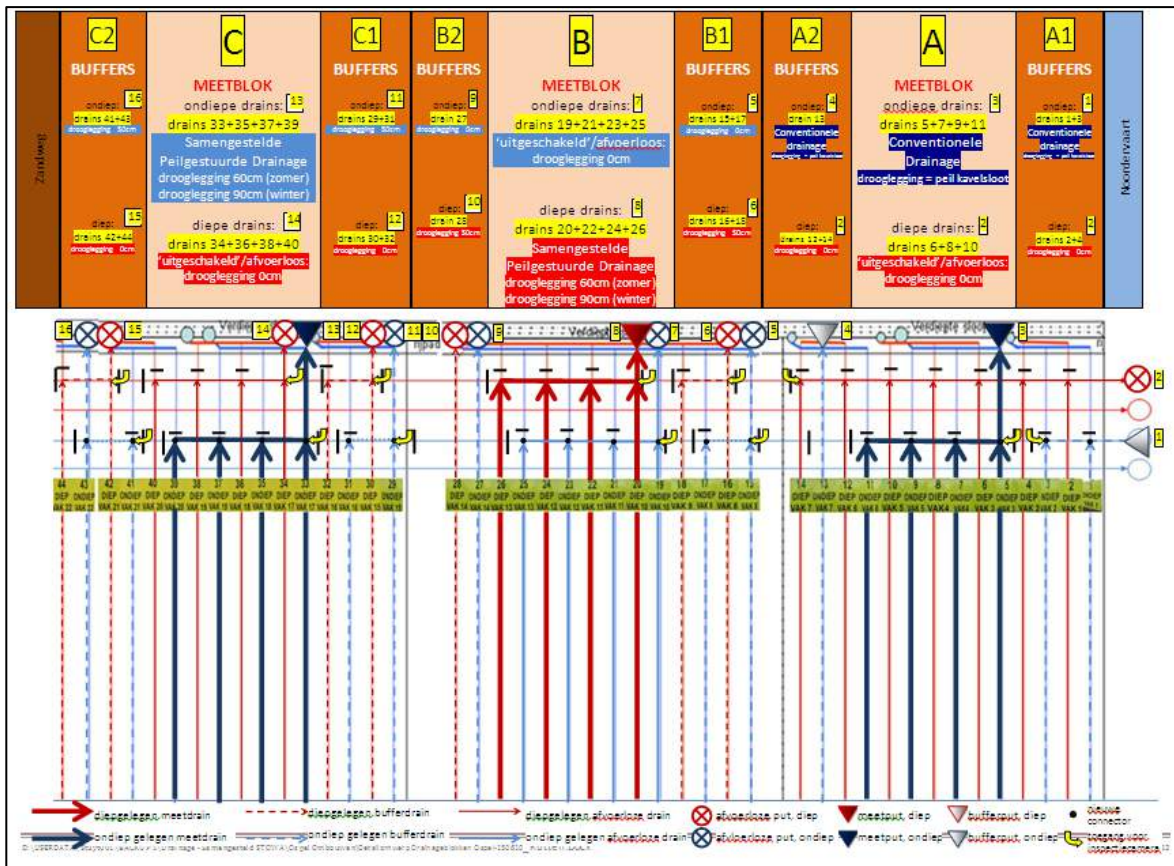
Het Pw-getal daalt bij Conventionele drainage (A) minder snel dan C: Samengesteld Regelbaar Ondiep. De fosfaatverzadigingsgraad van de behandeling met Conventionele drainage (A) daalt bijna significant minder sterk dan die met C: Samengesteld Regelbaar Ondiep. De lichte daling van het P-ox gehalte in het blok met samengestelde drainage is daar de belangrijkste oorzaak van.

Uitgebreide analyses van de chemische veranderingen van de bodem tussen 2008 en 2011 zijn te vinden in bijlage 3.

12.9 Ombouw naar drie behandelblokken A, B en C (najaar 2009)

In dit project is ervoor gekozen om de ruimtelijke variabiliteit op proeflocatie Ospel vast te stellen door het uitvoeren van een zogenoemde nulmeting. Tijdens deze nulmeting wordt een aantal variabelen gemeten die ook later - tijdens de experimenten - zullen worden gemeten, maar nu nog zonder behandelingen. Verschillen in bijvoorbeeld drainwaterafvoer, drainwaterconcentraties, grondwaterstanden, gewasgroei moeten dan het gevolg zijn van (ruimtelijke) verschillen in het proefveld. Het beste is natuurlijk om zo'n nulmeting over een reeks van jaren uit te voeren, zodat ook naar de effecten van weerjaren kan worden gekeken, maar bij wijze van compromis is in dit geval één uitspoelseizoen uitgetrokken (2008/2009), waarna het 'echte' veldonderzoek tussen 2009 en 2012 is uitgevoerd. Dat de winter 2008/2009 en de zomer van 2009 bijzonder droog zouden worden was een risico waarmee rekening moest worden gehouden. Besloten werd het proefperceel 'Ospel' in te delen in 21 vakken met een diepe en een ondiepe drainagebuis. Tien vakken zouden worden bemonsterd op bodem, grondwater, drainagewater, etc. om de ruimtelijke variabiliteit in het proefveld a priori vast te stellen. Op grond van de verzamelde informatie werd door het projectteam geconcludeerd dat wegens de droogte minder informatie omtrent de homogeniteit van het perceel beschikbaar was dan was gehoopt, maar dat van zorgwekkende variabiliteit zeker geen sprake was. Het enige punt van zorg was het 'tegenvallende' fosfaatgehalte op het perceel, maar ook dat was - na uitgebreide analyse door deskundigen van Alterra - geen reden om naar een ander perceel uit te zien.

Op grond van de bevindingen werd besloten om de bestaande drainageconfiguratie medio juni 2010 daadwerkelijk om te bouwen. Het perceel werd opgedeeld in drie 'behandelblokken' van elk 86 m breed en 140 m lang, met de toekomstige drains in de lengterichting. De behandelblokken zijn gerangschikt van A vlakbij de Noordervaart in het zuidoosten tot en met C vlakbij de zandweg in ten noordwesten van het perceel; zie Figuur 83.



Figuur 83

De nieuwe configuratie van proefperceel 'Ospel', na ombouwen in meetblokken A (conventionele drainage), B (regelbare drainage, diep) en C (regelbare drainage, ondiep).

Elk blok bevat veertien drains op onderlinge afstand van 6 m die 'om en om' zijn aangelegd op een diepte van respectievelijk 80 en 130 cm beneden het laagste maaiveld van het blok (gerekend vanaf de bovenkant van de drain). Tussen de behandelblokken werden vier drains gereserveerd als buffer om onderlinge beïnvloeding tussen behandelblokken te voorkomen. In principe blijven er in elk 'behandelblok' tien 'behandeldrains' over, vijf diepgelegen (130 cm -mv) en vijf ondiep gelegen (80 cm -mv) drains. Zij monden via twee afzonderlijke ondergrondse verzameldrains (ook wel 'collectorbuizen' genoemd) uit in twee afzonderlijke meetputten voor de bepaling van waterkwantiteit (debieten) en waterkwaliteit (concentraties en vrachten).

In Figuur 84 is een overzicht gegeven van de in de putten in te stellen peilen.

Put	Blok									Peil / Drainagebasis (cm -mv)		
	A1	A	A2	B1	B	B2	C1	C	C2	zomer	winter	vast
1	x									slootbodem ≈ peil kavelsloot		
2	x	x	x							-	-	uitgeschakeld (0)
3		x								slootbodem ≈ peil kavelsloot		
4			x							slootbodem ≈ peil kavelsloot		
5				x						-	-	uitgeschakeld (0)
6				x						-	-	'afvoerloos' (50)
7					x					-	-	uitgeschakeld (0)
8					x					60	90	-
9						x				-	-	uitgeschakeld (0)
10						x				-	-	'afvoerloos' (50)
11							x			-	-	'afvoerloos' (50)
12							x			-	-	uitgeschakeld (0)
13								x		60	90	-
14								x		-	-	uitgeschakeld (0)
15									x	-	-	uitgeschakeld (0)
16									x	-	-	'afvoerloos' (50)

Figuur 84

Overzicht in te stellen peilen in de zestien putten op proeflocatie Ospel op proeflocatie Ospel.

Elk van de drie meetblokken is voorzien van meetinstrumenten voor het registreren van grondwaterstanden, drainafvoeren en het bemonsteren van drainagewater voor analyse van de chemische samenstelling in een laboratorium, in casu een Teledyne ISCO 4700 gekoelde sampler. Zie Figuur 85 t/m Figuur 88.



Figuur 85

ISCO 4700 bemonsteringsapparatuur voor drainagewater.



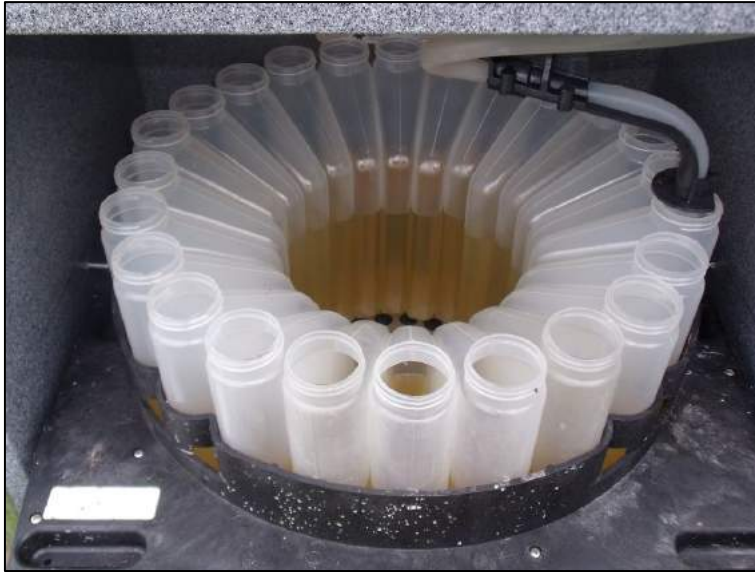
Figuur 86

Drainagewater dat wordt bemonsterd wordt uit de laatste meter verzameldrain onttrokken en naar de ISCO geleid.



Figuur 87

ISCO bedieningspaneel met (geprogrammeerde) bemonsteringsinformatie.



Figuur 88

Bemonstering drainagewater in flessen, gerangschikt in ISCO carousel, geautomatiseerd volgens geprogrammeerd protocol.

12.10 Analyse van grondwaterstanden

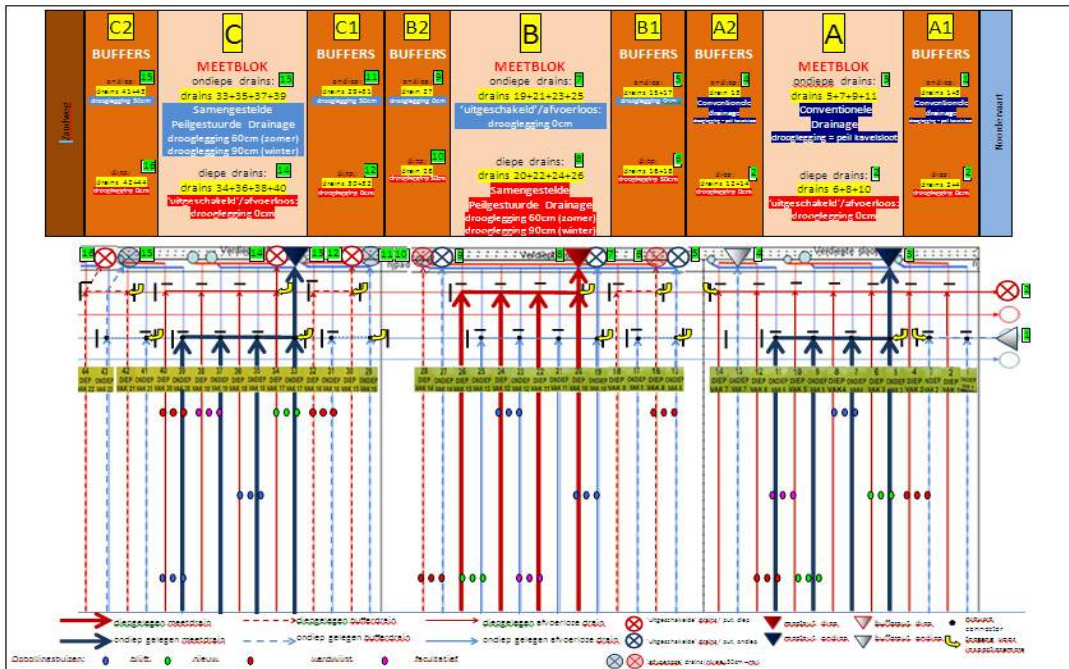
Sinds september 2008 zijn op de proeflocatie Ospel grondwaterstanden geregistreerd. Omdat er incidenteel sprake kan zijn van schijngrondwaterspiegels wordt de grondwaterstand met zowel ondiepe filters, dat wil zeggen tussen 0,5 en 1,5 m beneden het maaiveld, geregistreerd als met diepe filters (2,5-3,5 m -mv).

Vanaf 25 september 2008 zijn buizen geplaatst voor registratie van ondiepe grondwaterstanden; vanaf 13 oktober 2008 wordt er op elf locaties gemeten. Tijdens de winter van 2008-2009 staan de ondiepe grondwaterstanden wegens het aanhoudende droge weer erg diep.

Gedurende het jaar 2009 was het bijzonder droog, grondwaterstanden stonden zeer diep, geen drainafvoer (ondanks beregenen) zodat geen data verzameld kon worden.

In augustus 2010 begon het eindelijk weer eens te regenen, maar pas in het najaar van 2010 werden de grondwaterstanden weer hoog genoeg om in ondiepe buizen geregistreerd te kunnen worden.

In september worden nieuwe locaties gekozen voor grondwaterstandsbuizen, gekoppeld aan de drie nieuwe meetblokken, zie Figuur 89. In deze (27) buizen worden geavanceerde 'divers' gebruikt om permanent de grondwaterstanden te kunnen meten.



Figuur 89

Layout van drainageproefveld Ospel, na ombouwen in drie meetblokken A (conventionele drainage), B (regelbare drainage, 'diep'), en C (regelbare drainage, 'ondiep').

Diepe grondwaterstanden worden geregistreerd met negen zogenoemde 'Odyssey' dataloggers (Figuur 90); ondiepe met 27 (meer geavanceerde) 'Divers' (Figuur 91). Gedurende het winterseizoen werd het veldwerk in Ospel conform een strak protocol uitgevoerd, door Alterra en laboratorium 'Intertek'; zie bijlage 3.



Figuur 90

'Odyssey' voor het meten van diepe (3,5 m -mv) grondwaterstanden (11 stuks) tijdens de beginperiode van de metingen, voordat de ombouw naar drie meetblokken plaatsvindt (plaatsing op 13 oktober 2008).



Figuur 91

'Diver' voor het meten van freatische (1,25 m -mv) grondwaterstanden (27 stuks), geïnstalleerd na ombouwen in drie meetblokken.

12.11 Introductie van beregening op de proeflocatie

Op 5 augustus 2009 is in opdracht van waterschap Peel en Maasvallei (i.c. Dhr. H. Houben) en ten laste van het project, naast proefperceel 'Ospel' een nieuwe beregeningsput aangebracht door Sijben bronboringen VOF te Neer (Figuur 92). Gegevens: toepassing PVC 160 mm. mantelbuis, diepte put 40 à 45 meter.



Figuur 92

Aanbrengen van een nieuwe beregeningsput bij proefflocatie Ospel.

Voor beregening zijn de volgende gegevens van belang: afmetingen proefperceel Ospel: 252 m (breedte) × 140 m (drainlengte); totaal = 35280m² ~ 3,5ha; de beregeningspomp geeft circa 45 m³ per uur; het perceel moet redelijk opgedroogd zijn om een haspel over het perceel te kunnen uitrollen; een beregeningspomp à 45

m³/u levert 1,28 mm/u; voor 1 mm 'neerslag' heb je 35 m³ water nodig (beregeningsduur ca. 45 min); voor 25 mm 'neerslag' 882 m³ water (ruim 19 uur); voor 35 mm neerslag heb je 1235 m³ water nodig (ruim 27 uur).

12.12 Resultaten van de veldproeven te Ospel

12.12.1 Bemesting en overschot

Door PPO zijn mestgiften en gewasopbrengsten geregistreerd (Van der Schoot et al., 2010; Van der Schoot en De Buck, 2011). Uitgangspunt hierbij was dat het een praktijkproef betreft, waarbij de agrariër zelf keuzes maakt voor het bouwplan en de mestgiften. De mestgiften wijken daarom af van de giften die men op basis van gebruiksnormen zou verwachten. Bedacht moet worden dat de gebruiksnormen binnen het bouwplan voor het gehele bedrijf ruimte bieden om af te wijken van 'norm'-bemestingen. Tabel 20 vermeldt de stikstofmestgiften voor de jaren 2008 t/m 2011.

Tabel 20

Mestgiften in de periode 2008 t/m 2011.

Datum	gewas	mestsoort	N-mineraal	N-organisch	N-totaal	N-werkzaam
16-5-2008	waspeen	runderdrijfmest	67	42	109	68
3-4-2009	schorseneer	runderdrijfmest	98	151	249	174
12-4-2009		NPK-kunstmest	34		34	34
23-9-2009		KAS-kunstmest	81		81	81
12-4-2010	aardappel	Runderdrijfmest	68	72	140	98
12-5-2010		KAS-kunstmest	54		54	54
31-5-2010		KAS-kunstmest	54		54	54
30-3-2011	snijmaïs	runderdrijfmest	200	150	347	257
18-4-2011		NP startgift	17		17	21

In 2011 is een ruime bemesting met runderdrijfmest toegepast (257 kg/ha werkzame N). Als deze bemesting gemiddeld over het gehele bedrijf zou zijn gegeven, zouden de mestnormen zijn overschreden. Het onderzoek naar de effecten van regelbare drainage betreft echter het perceel en niet het gehele bedrijf. Het is dus niet aan de orde om te beoordelen of de mestgift wel of niet boven de norm ligt.

Het zogenoemde 'bodemoverschot' wordt berekend door de N-opname door het gewas af te trekken van de netto-bodembelasting. De bodembelasting wordt berekend door bij de runderdrijfmestgiften de ammoniakvervluchtiging van de mestgift af te trekken en de depositie bij de mestgift op te tellen. De ammoniakvervluchtiging is geschat als 20% van het minerale deel van de runderdrijfmest; zie Tabel 21

Tabel 21

Het milieukundig overschot (kg/ha stikstof) van het perceel in de jaren 2008 – 2011.

Jaar	Gewas	Ingaande termen		Uitgaande termen			Bodem-overschot
		N-gift	N-depositie	NH ₃ -N vervluchtiging	N-opname proefoogst	N-opname 'praktijk'	
2008	Waspeen	109	25	13	159±11 ^a	143 ^e	-22
2009	Schorseneer	364	25	20	258±25 ^b	232	137
2010	Aardappel	248	25	14	239±23 ^c	215	44
2011	Snijmais	364	25	40	232 ^d	185 ^f	164
gemiddeld							81

^a Waargenomen minimum=133 kg N/ha; maximum = 171 kg N/ha. Standaardafwijking 11 kg N/ha.

^b Waargenomen minimum=219 kg N/ha; maximum = 289 kg N/ha. Standaardafwijking 25 kg N/ha.

^c Waargenomen minimum=204 kg N/ha; maximum = 285 kg N/ha. Standaardafwijking 23 kg N/ha.

^d Betreft het gemiddelde van blokken A, B en C van de proefoogst, waarbij niet is gecorrigeerd voor rijpaden en kopakkers. De N-opnames van de blokken A, B en C betroffen respectievelijk 235, 222 en 239 kg N/ha.

^e Voor waspeen, schorseneer en aardappel is verondersteld dat het verlies door rijpaden, kopakkers en randeffecten 10% bedraagt.

^f Voor snijmais is verondersteld dat het verlies door rijpaden, kopakkers en randeffecten 20% bedraagt.

De N-opname is door PPO gemeten in proefoogsten (Van der Schoot et al., 2010; Van der Schoot en De Buck, 2011). In deze cijfers zijn de verliezen door rijpaden, kopakkers en randeffecten niet meegenomen. De N-opname volgens de praktijk op de percelen zijn geschat door een verliespercentage in rekening te brengen. Omdat snijmais een veel hoger gewas is dan waspeen, schorseneer en aardappel zijn de randeffecten van dit gewas hoger ingeschat.

Het geschatte bodemoverschot bedraagt gemiddeld 81 kg ha⁻¹ stikstof voor het totaal van de blokken A, B en C. In dit cijfer is geen rekening gehouden met een eventuele nalevering van stikstof als gevolg van de ruime bemesting in de periode vóór 2008. Hoe groot deze nalevering is, is moeilijk te schatten. Daarnaast is de variabiliteit in bodemopbouw groot en komen er lokaal moerige/venige plekken voor.

12.12.2 Waterbalans van de percelen

De waterbalans is opgesteld voor de periode oktober 2011 t/m maart 2012. Op 30 oktober werd vanwege het uitblijven van regen in het droge najaar van 2011 na de oogst van de snijmais gestart met berekening. Het einde van de meetperiode valt samen met het moment dat de drains nauwelijks meer water afvoerden.

De componenten van de waterbalans bestaan uit de neerslag + berekening als aanvoer van water en verdamping, drainafvoeren, rechtstreekse afvoer van grondwater naar de kavelsloot en wegzijging naar het diepe grondwater als afvoertermen.

Neerslag, berekening en drain- en slootafvoeren zijn gemeten. De verdamping is berekend. Verder zijn grondwaterstanden gemeten van ondiepe en diepe peilbuizen die respectievelijk boven en onder de storende leemlaag zijn geplaatst. De afvoeren van de onderzoeksblokken A, B en C zijn afzonderlijk gemeten.

Verdamping

De verdamping is volgens twee methoden berekend: de referentieverdamping volgens Makkink en de actuele verdamping aan de hand van een simulatie met het SWAP-model aan de hand van de methode van Penman-Monteith. De meteogegevens zijn ontleend aan het KNMI-station te Eil. Tabel 22 geeft de berekende verdamping aan voor de twee methoden. In 2012 waren alleen gegevens volgens de methode Makkink beschikbaar, en waren de basisgegevens voor het berekenen van de verdamping met het SWAP-model nog niet bekend.

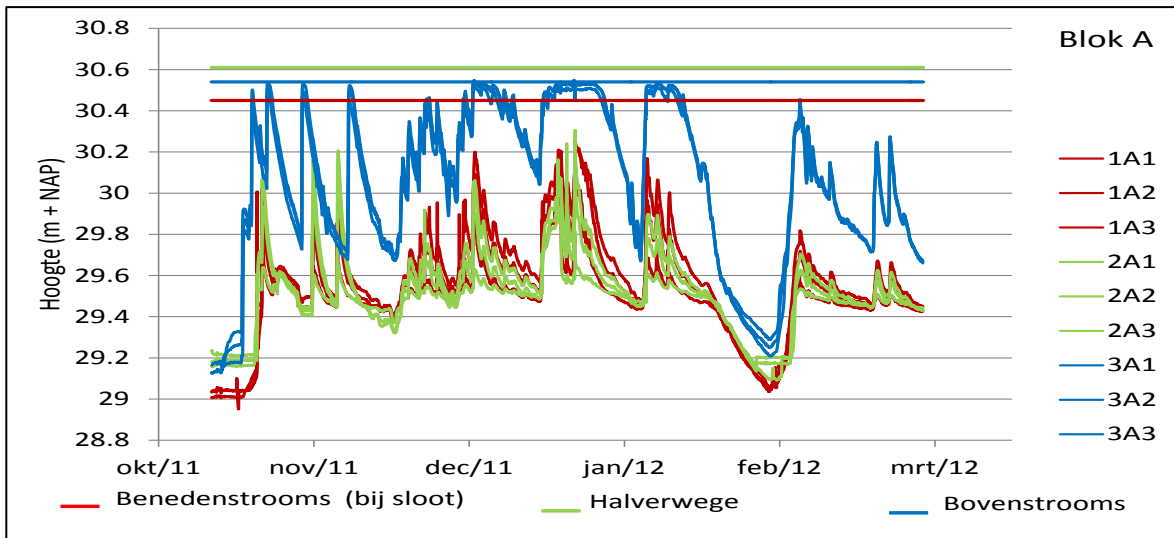
Tabel 22*Verdamping in mm/etmaal.*

	referentieverdamping volgens Makkink (mm/d)	actuele verdamping berekend met SWAP (mm/d)
voorseizoen 1 jan - 14 april	106	52
groeiseizoen tot 14 oktober	472	608
naseizoen 30 okt tot 31 dec	27	25
1 januari - 11 maart 2012	34	-

12.12.2.1 Grondwaterstanden

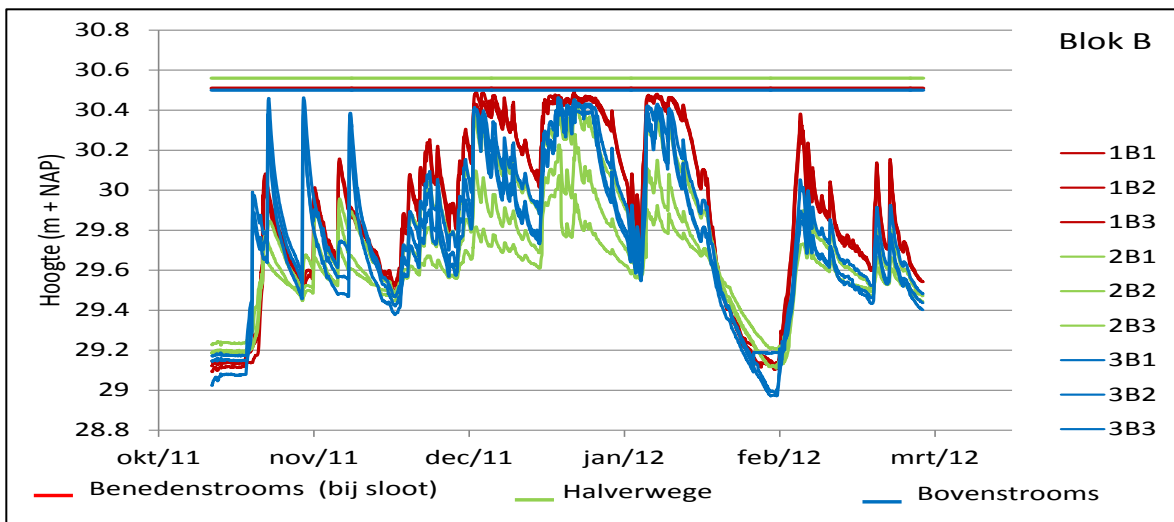
Het grondwaterstandsverloop vertoont binnen hetzelfde drainageblok (A, B en C) duidelijke variatie. Deze variatie is in Figuur 93 weergegeven voor drainageblok A, in Figuur 94 voor blok B en in Figuur 95 voor blok C. Per blok zijn op drie afstanden vanaf de kavelsloot drie ondiepe peilbuizen geplaatst. Deze groepen van drie peilbuizen zijn op ca. 1 meter van elkaar geplaatst. De eerste groep van drie peilbuizen staat dichtbij de kavelsloot, de tweede groep staat midden op veld, halverwege de drainbuizen en de derde groep staat het verste van de kavelsloot af, bij de bovenstroomse einden van de drainbuizen.

In de figuren is te zien dat het grondwaterstandsverloop in alle 27 peilbuizen duidelijk reageert op perioden van neerslag en droge perioden. Verder is te zien dat het verschil binnen een groep van drie peilbuizen klein is, met uitzondering van de groep die in blok B midden op het veld staat (Figuur 94). Over kleine afstanden kunnen zich hier grote verschillen in grondwaterstanden voordoen. In blok A zijn de grondwaterstanden in de peilbuizen die het verst van de kavelsloot staan aanmerkelijk hoger dan de andere groepen (Figuur 93). In blok C zijn de onderlinge verschillen binnen een groep en tussen de groepen veel kleiner (Figuur 94). De verschillen zijn alleen te verklaren door heterogeniteit van de bodem en het plaatselijk slecht functioneren van de drains. In blok B kan de variatie in diepte van de leemlaag ook invloed hebben op de verschillen tussen de grondwaterstanden.



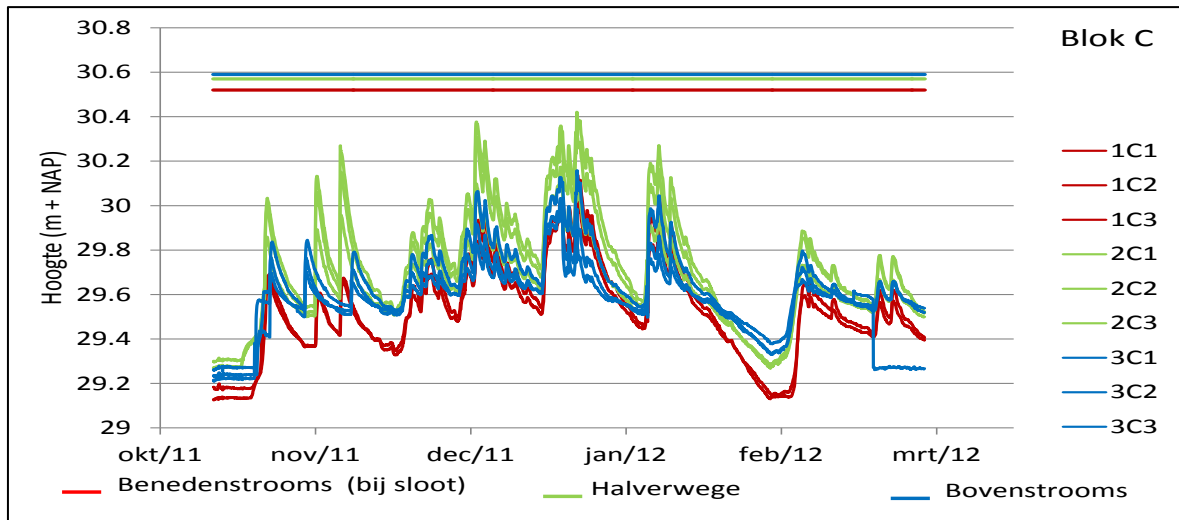
Figuur 93

Grondwaterstandsverloop binnen drainageblok A. Het eerste cijfers duidt op de positie t.o.v. de kavel-sloot, waarbij 1 dichtbij de sloot is, 2 halverwege de drains en 3 het verst van de kavelsloot verwijderd. Het tweede cijfer in de legenda-aanduiding betreft de herhaling.



Figuur 94

Grondwaterstandsverloop binnen drainageblok B. Het eerste cijfers duidt op de positie t.o.v. de kavelsloot, waarbij 1 dichtbij de sloot is, 2 halverwege de drains en 3 het verst van de kavelsloot verwijderd. Het tweede cijfer in de legenda-aanduiding betreft de herhaling.



Figuur 95

Grondwaterstandsverloop binnen drainageblok A. Het eerste cijfers duidt op de positie t.o.v. de kavelsloot, waarbij 1 dichtbij de sloot is, 2 halverwege de drains en 3 het verst van de kavelsloot verwijderd. Het tweede cijfer in de legenda-aanduiding betreft de herhaling.

12.12.2.2 Waterbalans

Om geen rekening te hoeven houden met veranderende berging van water in de bodem is een berekening uitgevoerd over een meetperiode waarvan aan het begin en het eind de ondiepe grondwaterstanden gelijk zijn. De geselecteerde periode loopt van 4 november 2011 t/m 7 maart 2012. Het bergingsverschil was over deze periode verwaarloosbaar. De verdamping volgens Makkink bedroeg gedurende deze periode 51 mm. De in- en uitgaande termen van de waterbalans staan in Tabel 23 voor de periode 4 november 2011 t/m 7 maart 2012, uitgedrukt in mm en in procenten. In de sloot, waarin de drains uitkomen, is ook de afvoer gemeten. Deze slootafvoer was 1450 m³; hoger dan wat door de drains werd afgevoerd. Dit water is verondersteld rechtstreeks door de bodem naar de sloot gestroomd te zijn. Voor de waterbalans betekent dit een afvoerpost van 41 mm water. Het verschil tussen gemeten of berekende in- en uitvoer is opgenomen als wegzijging naar het diepe grondwater met een grootte van 150 mm. De lengte van de periode bedraagt 125 dagen. De (gemiddelde) wegzijging q_z wordt daarmee berekend op $150/125 = 1,2$ mm/dag.

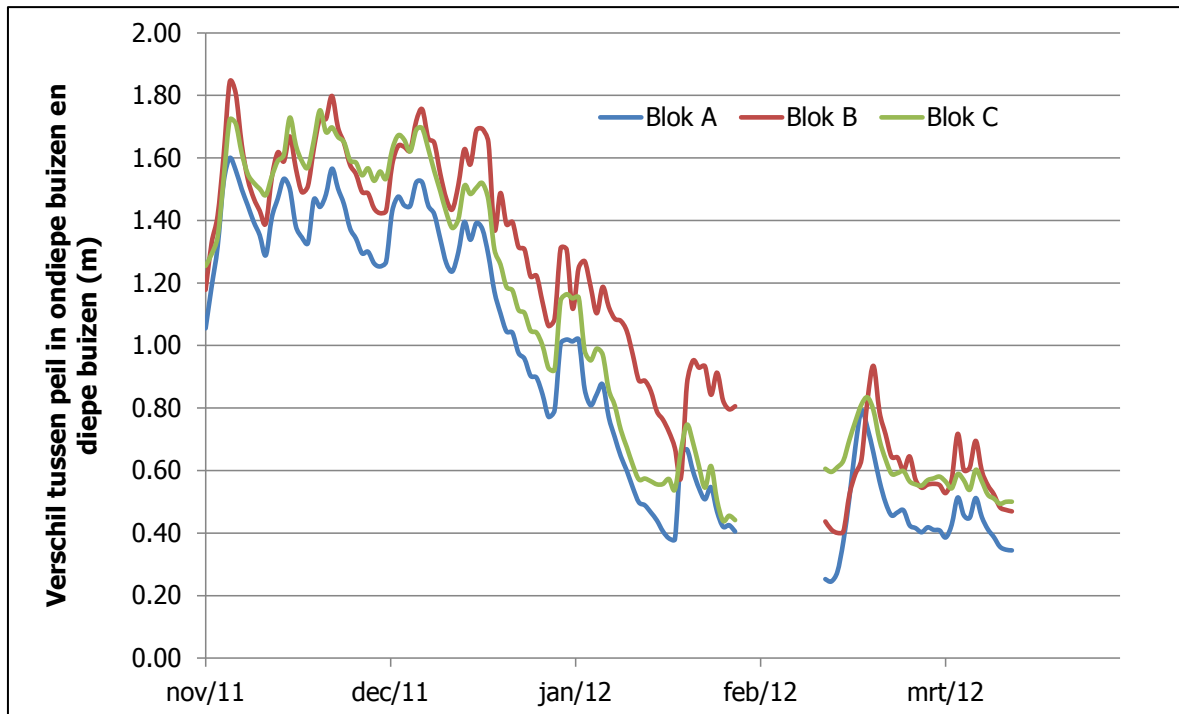
Tabel 23

Waterbalans van de bodem in de periode 4/11/2011 t/m 7/03/2012 (in mm en %).

Aanvoer	mm	%			
Neerslag	258	77			
Berekening	75	23			
Totaal	333	100			
Afvoer	mm	%			
Verdamping	51	15			
Directe afvoer naar sloot via de bodem	41	12			
			Afvoer	mm ⁴⁹	%
			Blok A	114	42
			Blok B	39	15
			Blok C	120	43
			subtotaal	273	100
Wegzijing naar het diepe grondwater	150	45			
Totaal	333	100			

Per blok is een berekening gemaakt van de weerstand c en de verticale doorlatendheid k_v van de leemlaag. De gemiddelde dikte D van de leemlaag is uit de bodemkartering afgeleid en bedraagt ca. 100 - 150 cm. De dikte is variabel; daarom wordt de berekening uitgevoerd voor een bovengrenswaarde en een ondergrenswaarde. De weerstand van de leemlaag c wordt berekend uit het stijghoogteverschil Δh tussen de ondiepe en de diepe grondwaterstand volgens $c = \Delta h / q_z$. Het stijghoogteverschil is per blok weergegeven in Figuur 96.

⁴⁹ De gesommeerde, cumulatieve afvoer in mm via buisdrainage is 273 mm, 3x zo hoog als de 91 mm die ter linkerzijde is vermeld; dit verschil ontstaat bij ongeoorloofd 'optellen' van neerslaghoeveelheden in mm; deze 'optelsom' moet echter in m³ worden gedaan (waarbij de oppervlakte van Blok A, B en C in ogenschouw wordt genomen) en niet in mm.



Figuur 96

Verskil in stijghoogte (m) in de ondiepe buizen t.o.v. de diepe buizen in de winter van 2011/2012.

In Figuur 96 is te zien dat het verschil gedurende de eerste maanden 1,4 - 1,6 meter bedroeg, en tegen het einde van de meetperiode 0,4 - 0,6 meter. Per blok is een gemiddelde berekend voor de gehele winterperiode, en is een gemiddelde wegzijging berekend; zie Tabel 24. Vervolgens is de verticale doorlatendheid k_v berekend volgens $k_v = D / c$. In staan de uitkomsten van deze berekeningen voor de drie blokken A, B en C.

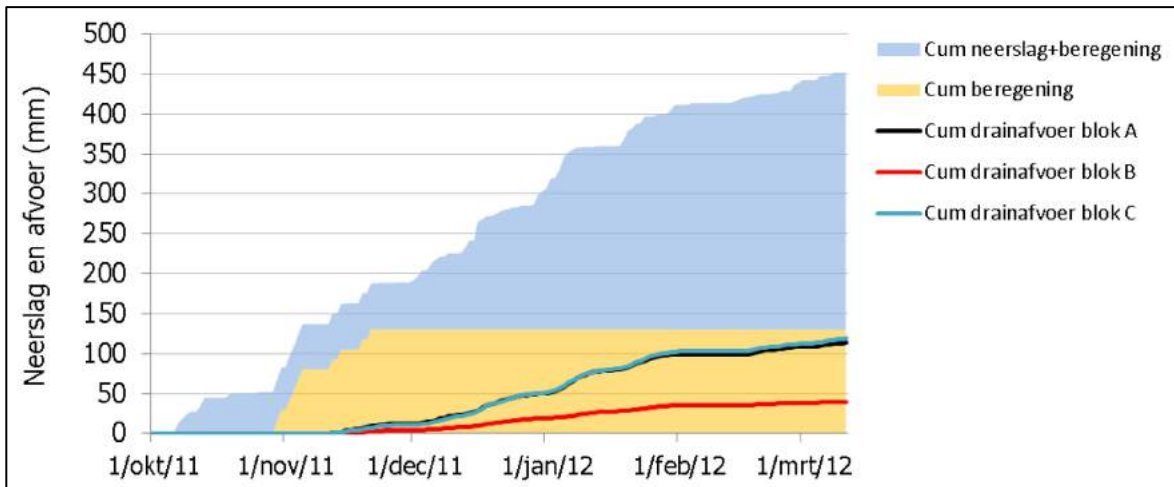
Tabel 24

Wegzijing, weerstand van de leemlaag en de verticale doorlatendheid voor de blokken A, B en C.

	Blok A	Blok B	Blok C
Gemiddelde grondwaterstand ondiepe buizen (m t.o.v. NAP)	29,73	29,82	29,65
Gemiddelde grondwaterstand diepe buizen (m t.o.v. NAP)	28,95	28,81	28,72
Δh (mm)	780	1010	920
q_z (mm/dag)	1,2	1,2	1,2
c (dagen)	650	840	770
Dikte leemlaag (mm)	1000-1500	1000-1500	1000-1500
k_v (mm/dag)	1,5 - 2,3	1,2 - 1,8	1,3 - 1,9

Het verloop van de cumulatieve neerslag en de cumulatieve drainafvoer is weergegeven in Figuur 97. Het neerslagoverschot is niet weergegeven, maar in de winter is de verdamping klein t.o.v. de neerslag. Uit deze figuur blijkt duidelijk dat de drainafvoer slechts een gering deel van de neerslag en het neerslagoverschot

bedraagt. Daarnaast is duidelijk te zien dat de drainafvoer uit blok B aanzienlijk kleiner is dan de drainafvoer uit de blokken A en C.

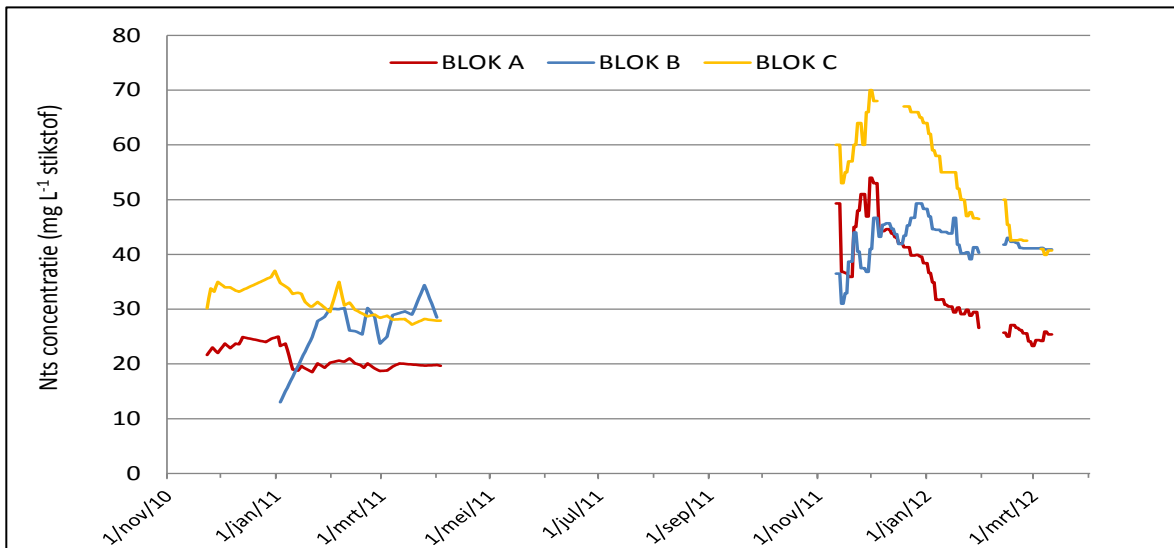


Figuur 97
 Cumulatieve neerslag en drainafvoer vanaf 1 okt 2011 in de veldproef te Ospel.

12.12.3 N-uitspoeling

12.12.3.1 N-concentraties in drainagewater

In twee herfst- en winterseizoenen zijn concentraties gemeten (Figuur 98). In het eerste uitspoelingsseizoen bedroeg de Nts-concentratie in het drainagewater uit blok A, B en C respectievelijk 20-25, 15-30 en 30-35 mg/L. In het tweede uitspoelingsseizoen zijn de concentraties aanzienlijk hoger: 25-50, 35-50 en 40-70 mg/L voor resp. blok A, B en C.



Figuur 98
 Gemeten N_{ts}-concentraties in het herfst- en winterseizoen van 2010/2011 en in het herfst- en winterseizoen van 2011/2012

De veel hogere concentraties in het tweede uitspoelingsseizoen volgen op de ruime bemesting in het voorjaar van 2011 en de teelt van snijmaïs. De concentraties in blokken A en C vertonen eenzelfde patroon, alleen ligt de concentratie in het eerste uitspoelingsseizoen ca. 10 mg/L hoger en in het tweede uitspoelingsseizoen 15-25 mg/L hoger. Het concentratieverloop in het drainagewater van blok B vertoont een afwijkend patroon.

12.12.3.2 Stikstofvrachten

Gedurende de twee opeenvolgende herfst- en winterseizoenen zijn de N-concentraties in het drainagewater gemeten. Op basis hiervan is de stikstofvracht in het drainagewater berekend; per blok en voor het gemiddelde van de blokken; zie Tabel 25.

Tabel 25

Drainagewaterafvoer en stikstofvrachten in de twee uitspoelingsseizoenen.

	Blok A	Blok B	Blok C	Gemiddeld
23/11/2010 - 3/4/2011				
Drainagewaterafvoer (mm)	131	17 ^a	102	84
N-vracht drains (kg ha ⁻¹)	28	5	33	22
11/11/2011 - 11/03/2012				
Drainagewaterafvoer (mm)	114	40	119	91
N-vracht drains (kg ha ⁻¹)	40	17	68	42

^a Betreft de periode 17/1/2011 - 1/4/2011

Aan de hand van de gemeten concentraties in het drainagewater en de berekende en gemeten afvoeren is een schatting gemaakt van de hoeveelheid stikstof die via rechtstreekse afstroming in het oppervlaktewater terecht is gekomen en de hoeveelheid nitraat die via wegzijging naar het diepe grondwater is verdwenen (Tabel 26). Verondersteld is dat de concentratie van het water dat direct naar de sloot stroomt en de concentratie van het water dat via wegzijging verdwijnt gelijk is aan de gemiddelde gemeten waarden in het drainagewater i.e. 35,6 mg/L in blok A, 42,3 mg/L in Blok B en 55,0 mg/L in Blok C. De cijfers voor de N-vracht met drainafvoer in Tabel 26 liggen iets lager dan die in Tabel 25, omdat het begin en het einde van de periode iets anders is gekozen en de beschouwde periode daarmee iets korter is.

Tabel 26

Stikstofvrachten, waargenomen gedurende de periode 4/11/2011 t/m 7/03/2012 in kg/ha per afvoersysteem A, B, en C.

Type afvoer	Blok A	Blok B	Blok C	gemiddeld
Afvoer naar sloot via drainbuis	38	16	62	39
Directe afvoer naar sloot via de bodem	17	8	28	18
Wegzijging naar het diepe grondwater	64	26	103	64
Totaal	121	50	193	121

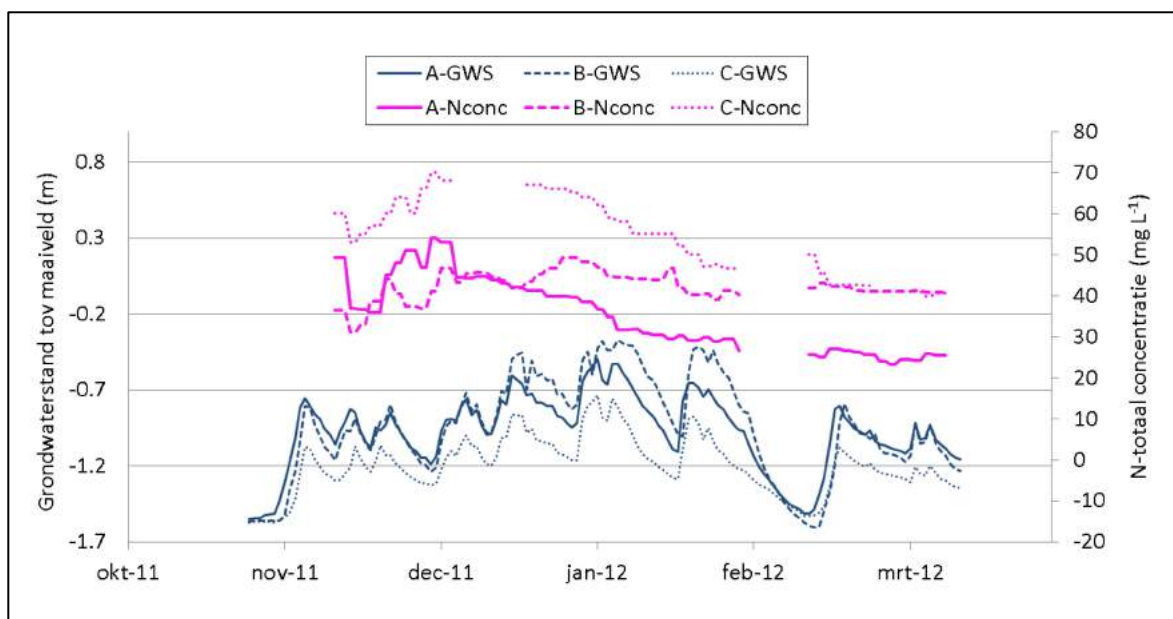
De drainafvoer bedraagt slechts 40% van het netto neerslagoverschot; de stikstofafvoer via de drainbuis omvat 32% van de totale N-afvoer. Als we veronderstellen dat we deze factoren ook kunnen toepassen op de

uitspoelingsperiode van 2010/2011 wordt voor deze periode een verlies berekend van 55-70 kg per ha. Dit verlies komt daarmee hoger uit dan het berekende bodemoverschot in 2010 (44 kg/ha) en is alleen te verklaren uit nalevering van het bodemoverschot in 2009 en voorgaande jaren.

12.12.3.3 Effect van de grondwaterstand

De gemiddelde grondwaterstanden en de N-totaal concentraties, geregistreerd op de blokken A, B en C zijn uitgezet in Figuur 99. Hierbij zijn de gemiddelde grondwaterstanden berekend uit de drie maal drie groepen per blok. Enkele punten vallen op:

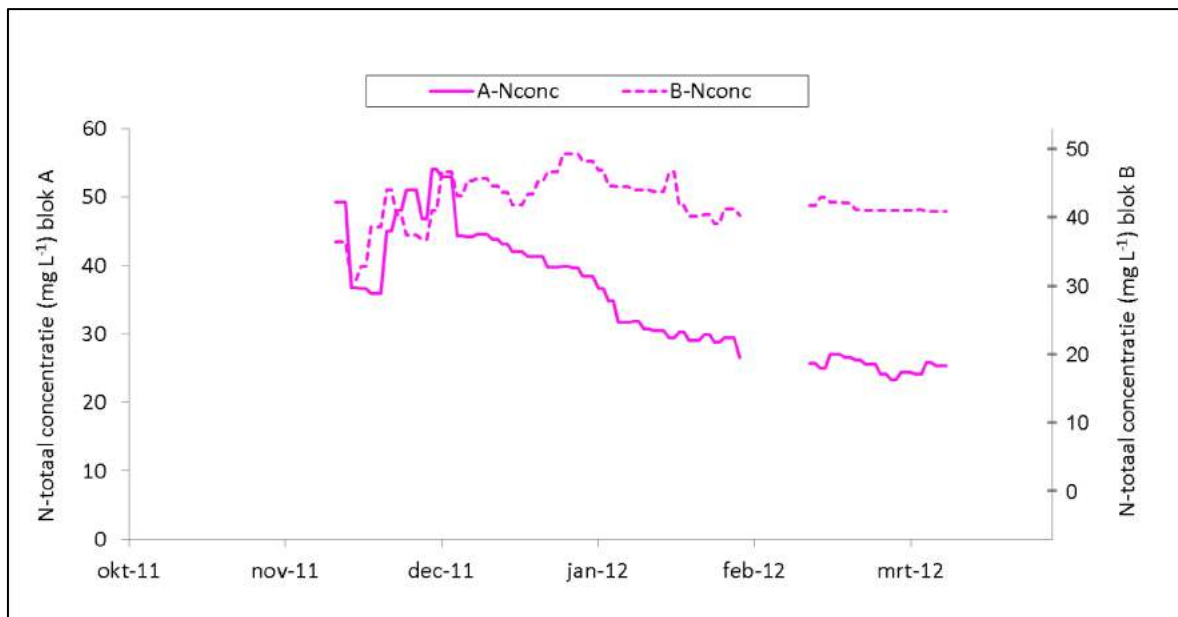
- het grondwaterstandsverloop in de verschillende poercelen vertoont in grote lijnen dezelfde dynamiek. In de periode half december 2011 tot februari 2012 is de grondwaterstand in blok B ondieper dan in blok A. De grondwaterstand in blok C is over de gehele periode dieper dan in blok A.
- de N-totaal concentraties in het drainagewater zijn erg hoog. Het overgrote deel van N-totaal is in de vorm van nitraat. Omgerekend naar nitraat is de concentratie in de range van 110-300 mg/L nitraat.
- De N-concentratie in het drainagewater uit blokken A en C daalt met de tijd, terwijl de N-concentratie in het drainagewater van blok B ongeveer gelijk blijft.
- In het drainagewater van blok C is de N-concentratie bij de start van het uitspoelseizoen 10 - 15 mg/L hoger dan in het drainagewater van blok B. Aan het eind van het uitspoelseizoen zijn de concentraties van Blok B en C vergelijkbaar.



Figuur 99

Grondwaterstanden ('GWS') en N-concentraties ('Nconc') in drainagewater in de winter van 2011/2012.

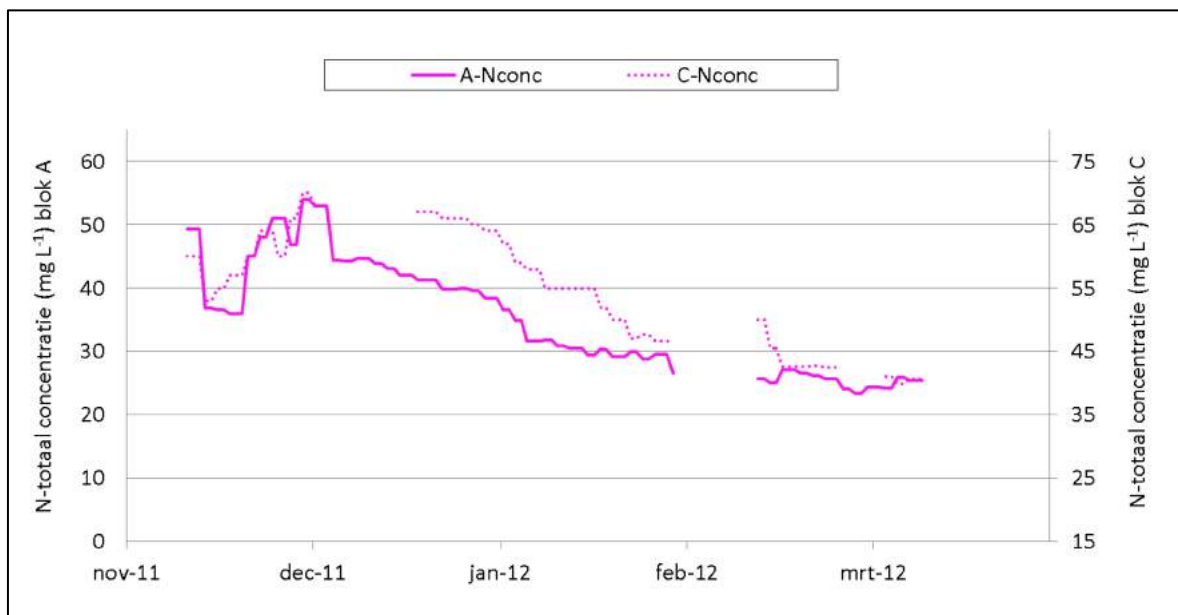
Om effecten van de behandelingen te evalueren onderzoeken we trends in de N-concentratie van het drainagewater. De concentraties in het drainagewater van de blokken hebben aan het begin van het uitspoelseizoen verschillende waarden. Door de concentraties op verschillende assen uit te zetten, met een verschillend beginpunt maar dezelfde schaalverdeling kunnen we het verschil in trends na de start van het uitspoelseizoen visualiseren.



Figuur 100

N-concentraties in drainagewater van blok A en blok B in de winter van 2011/2012.

In Figuur 100 is te zien dat de N-concentratie van het drainagewater van blok B met het voortschrijden van het winterseizoen ongeveer gelijk blijft, terwijl die van blok A daalt. In Figuur 101 is te zien dat de N-concentratie in het drainagewater van blok A en C aan het begin van de meetreeks vergelijkbaar zijn, vervolgens na een stijging allebei dalen, maar dat de concentratie bij blok A sneller daalt dan bij C. Begin maart 2012 liggen de concentraties weer op hetzelfde 'geschaalde' niveau.

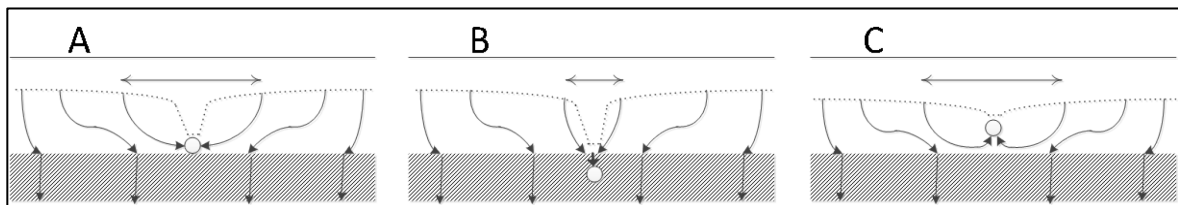


Figuur 101

N-concentraties in drainagewater van blok A (N-concentraties in linker schaal) en blok C (N-concentraties in rechter schaal) in de winter van 2011/2012.

Verklaringen voor bovenstaande observaties:

- De afname van de N-totaalconcentratie in het drainagewater van blok A is mogelijk het gevolg van denitrificatie. Denitrificatie is een tijdsafhankelijk proces. Naarmate de tijd voortschrijdt is de nitraatreductie groter. Nitraatreductie treedt op onder (bijna) verzadigde omstandigheden.
- Uit het voorgaande blijkt dat de drains in blok B slecht hebben gefunctioneerd. Deze diepe drains zijn mogelijk op enige diepte in de leemlaag gelegd. Het stroomlijnenpatroon en de reistijdverdeling van het drainagewater in blok B zal daardoor verschillen met het patroon en de verdeling in de blokken A en C. Figuur 102 geeft een schematisch overzicht van het stromingspatroon van het netto neerslagoverschot in de verzadigde zone naar de drains in blok A, B en C.
- Als gevolg van het slecht functioneren van de drains in blok B was er in dit blok weinig drainafvoer. Het 'vanggebied' van de drainafvoer is klein en bevindt zich grotendeels boven de drain. Het drainagewater uit blok B is daarom naar verwachting jonger dan dat uit de omringende blokken A en C. Het effect van een iets hogere grondwaterstand in blok B dat tot een hogere denitrificatie zou kunnen leiden wordt weer gecompenseerd door de kortere reistijden van het drainagewater dan in blok A.



Figuur 102

Schematische weergave van stromingspatronen in de nabijheid van buisdrains', in de drainageblokken A, B en C.

- De tragere afname van de N-concentratie in het drainagewater van blok C vergeleken met blok A is waarschijnlijk het gevolg van diepere grondwaterstanden. Bij diepere grondwaterstanden is de denitrificatiesnelheid kleiner door een betere aeratie.
- Begin maart is de uiteindelijke, 'geschaalde'⁵⁰ reductie van de N-concentratie in het drainagewater van blok C ongeveer gelijk aan die van blok A. De procentuele reductie is kleiner, omdat de beginconcentratie van blok C groter was dan die van A. Dit hangt weer samen met de verklaring van lagere reductiesnelheid in blok C door diepere grondwaterstanden.

12.13 Discussie

12.13.1 Bemesting en overschotten

Op het onderzochte perceel zijn in het verleden en ook tijdens het experiment met regelbare drainage ruime mestgiften toegepast. Vanuit het oogpunt van het evalueren van effecten die aanvullend zijn op aangescherpte mestnormen zou de locatie hiermee minder geschikt zijn voor onderzoek. Bedacht moet echter worden dat het experiment met regelbare drainage is uitgevoerd onder praktijkomstandigheden en niet onder proefveldomstandigheden. De ruime bemesting leidt tot hoge N-concentraties in het drainagewater. Voor het zichtbaar maken van verschillen in uitspoeling tussen de blokken met verschillende drainagesystemen is het gunstig dat een ruime bemesting is toegepast. Eventuele verschillen vallen nu minder snel weg in de 'ruis' die

⁵⁰ 'geschaald' wil in dit geval zeggen dat de startwaarden van de nitraatconcentraties in grafische voorstellingen van het verloop van de concentraties door gebruik te maken van afzonderlijke, verticale concentratieassen 'over elkaar heen zijn gelegd'.

door bodemvariabiliteit ontstaat. Ook vormen de hoge N-concentraties in het drainagewater een plausibele representatie van de landbouwpraktijk op de percelen.

In de berekening van het bodemoverschot is de stikstofafvoer met geoogste producten een belangrijke post. Tijdens het experiment zijn door PPO op de percelen proefoogsten uitgevoerd. Deze proefoogsten hadden tot doel om de verschillen in gewasopbrengst tussen de percelen te onderzoeken en het effect van de verschillende behandelingen op de opbrengst. De opnamecijfers zijn gecorrigeerd voor het oppervlak aan rijpaden en kopakkers. Omdat snijmais een hoog gewas is zijn voor dit gewas de randeffecten groter ingeschat. Deze correcties zijn schattingen die waarschijnlijk beter onderbouwd kunnen worden, waardoor de betrouwbaarheid van het 'bodemoverschot' beter wordt. Het verdient aanbeveling om in dergelijke proeven ook perceelsdekkende gegevens van de gewasopbrengsten te verzamelen.

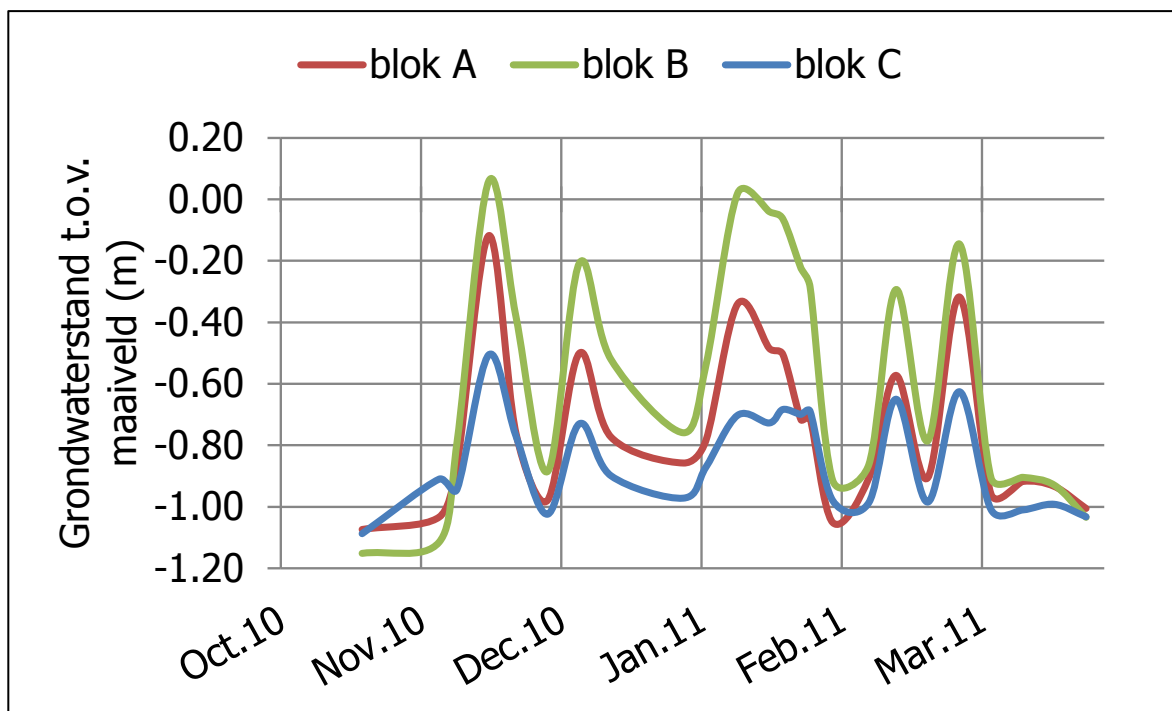
12.13.2 Bodem en drains van de proeflocatie

De bodem in de percelen vertoont een bepaalde variabiliteit. Vanuit het oogpunt van het evalueren van effecten van verschillende drainagesystemen kan deze variabiliteit storend werken. Bedacht moet worden dat de proef is uitgevoerd onder praktijkomstandigheden en dat variabiliteit een natuurlijk gegeven is. Trends in bodemeigenschappen kunnen leiden tot systematische fouten. Idealiter worden de effecten van trends via de proefopzet vermeden door meer blokken met herhalingen te onderscheiden. Daar was in deze proef geen ruimte voor.

In de uitgangssituatie is bij de bodemkartering vastgesteld dat het leemgehalte van de bodem een afnemende gradiënt heeft van blok A naar blok C. De bodem bij blok A wordt gekenmerkt als sterk lemig fijn zand en de bodem bij blok C is leemhoudend tot leemarm. Deze verschillen in leemgehalten zijn een verklaring voor:

- Het feit dat in blok C eenzelfde verdeling tussen drainafvoer en wegzijging geldt als in blok A, terwijl de grondwaterstanden in blok C dieper zijn. Dit is alleen te verklaren door een lagere drainageweerstand welke het gevolg is van een grotere verzadigde doorlatendheid door het lagere leemgehalte.
- De lagere gemiddelde N-concentraties in het drainagewater van blok A vergeleken de concentraties in het drainagewater van blok C. In de proefoogsten door PPO zijn wel (geringe) verschillen geconstateerd tussen de blokken bij de N-opname, maar deze verschillen kunnen niet het verschil in N-concentraties in drainagewater verklaren. Het verschil wordt vooral verklaard door de verschillen in bodemeigenschappen en het verschil in grondwaterstand. Het hogere leemgehalte in de bodem van blok A draagt naast de ondiepere grondwaterstanden waarschijnlijk bij aan een grotere nitraatafbraak door denitrificatie.

De drains in blok A en C hebben in de winter van 2011/2012 vergelijkbare afvoeren, maar in de winter van 2010/2011 was sprake van verschillen. De drains in blok A voerden 29 mm meer water af. Het beeld van de lagere grondwaterstanden in blok C vergeleken met de grondwaterstanden in blok A is consistent met het beeld van de winter 2011 / 2012. In beide winters was de grondwaterstand in blok C gemiddeld 20 cm dieper dan in blok A. Mogelijk hebben tussentijdse controle- en onderhoudswerkzaamheden geleid tot een iets andere weerstand voor toestroming naar en afvoer via de drainbuizen.



Figuur 103

Op wekelijkse handmetingen gebaseerd verloop van de gemiddelde grondwaterstand in blok A, B en C in de winter van 2010/2011.

De grondwaterstandsmetingen in de ondiepe meetbuizen hebben tijdens de winter van 2011/2012 een veel hogere tijdresolutie dan tijdens de voorgaande winter waarin handmetingen zijn uitgevoerd; zie Figuur 103. Toch is het beeld van de verschillen tussen de grondwaterstanden tussen de blokken A en C voor de beide winters consistent.

De gepresenteerde waterbalansen hebben betrekking op winterperiodes en niet op balansen voor een heel jaar. Omdat de drains vooral in de winter actief zijn is besloten om alleen tijdens winterperiodes grondwaterstanden te registreren. Het meten van grondwaterstanden was in Ospel tijdens de zomerperiode sowieso onmogelijk omdat de grondwaterstanden sterk daalden en zich al snel bevonden beneden het niveau van de filters van de diepe grondwaterstandsbuizen.

Informatie over diepe grondwaterstanden zou nuttig kunnen zijn voor het opleggen van randvoorwaarden aan een rekenmodel en/of voor de ijking ervan. Met een rekenmodel is een schatting te maken van de verdamping in de zomerperiode en het effect van de regelbare drainage op de vochtbeschikbaarheid. Verder kan een rekenmodel de interpretatie van observaties, gedaan tijdens het veldonderzoek ondersteunen. Rekenmodellen kunnen worden gebruikt om de in de winterperiode gemeten afvoeren te vertalen naar een schatting van de jaartotalen.

De afvoer uit de drains in blok B was veel kleiner dan die uit de drains in blok A en C. Dit verschijnsel wordt toegeschreven aan de diepere ligging van de drains. Bij de installatie zijn ze hoogstwaarschijnlijk geheel of gedeeltelijk in de slechtdoorlatende leemlaag terecht gekomen. De afvoer uit de drains in blok B was veel kleiner dan van de drains in blok A en C. Dit verschijnsel wordt toegeschreven aan de diepere ligging van de drains. Bij de installatie zijn ze (gedeeltelijk) in de leemlaag terechtgekomen. Het beoogde effect van onderling vergelijkbare afvoeren en grondwaterstanden in (met name) de blokken B en C, waarnaar de belangstelling met

name uitging om de mogelijke invloed van de draindiepte te kunnen waarnemen, kon hierdoor helaas niet worden geobserveerd, laat staan geanalyseerd. Ook kunnen de gemeten N-concentraties moeilijk worden geïnterpreteerd.

12.13.3 Keuze van proeflocatie

De proeflocatie is gekozen op basis van een vooronderzoek.

- In de fosfaatpilot Limburg zijn percelen en type percelen in een bureaustudie onderzocht op de kans op fosfaatverzadiging.
- Uit contacten met agrariërs was bekend dat het gekozen perceel bekend stond als drainagebehoefstig. Deze verwachting werd ondersteund door de constatering dat in de winter regelmatig plassen op het veld staan.

Na afronding van het onderzoek zou men kunnen concluderen dat het perceel niet ideaal was voor onderzoek naar de effecten van regelbare drainage, omdat een aanzienlijk deel van het netto neerslagoverschot niet wordt afgevoerd via de drains maar wegzijgt naar de ondergrond. Uit de resultaten van het veldonderzoek kan niet worden opgemaakt dat het perceel drainagebehoefstig is. Het optreden van plassen op het maaiveld zou ook een gevolg kunnen zijn van structuurbederf van de slempgevoelige grond.

Een complicerende factor in het onderzoek is dat de drainageweerstand plaatsafhankelijk is. De drains in blok A vertonen in grote lijnen dezelfde afvoer als de drains in blok C, terwijl de grondwaterstand tijdens de afvoerperiode in blok C gemiddeld 20 cm lager staat dan in blok A.

Ondanks deze bedenkingen lijken de resultaten van het veldonderzoek steun te geven aan het veronderstelde verband tussen grondwaterstand en nitraatreductie. Het betreft echter een kwalitatieve aanduiding.

Zoals eerder is gesteld is het onderzoek uitgevoerd onder praktijkomstandigheden en niet onder (gecontroleerde) proefveldomstandigheden. Variabiliteit van de bodem, gradiënten in de relatie tussen freatisch grondwater en diep grondwater en invloeden van nabijgelegen oppervlaktewater zijn natuurlijke factoren die eerder regel zijn dan uitzondering.

12.13.4 Mogelijkheid voor opschaling

De proef met regelbare drainage heeft zodanig uitgewerkt dat in het blok met peilsturing (C) de grondwaterstanden dieper waren dan in het blok met conventionele drainage (A). Als gevolg hiervan was de reductie van N-concentraties in het blok met peilsturing kleiner dan in het blok met conventionele drainage. Als echter door een ander ontwerp/uitvoering het mogelijk is om in het uitspoelseizoen de grondwaterstand te verhogen, kan peilsturing bijdragen aan de reductie van stikstof in het bovenste grondwater en in het drainagewater en kan het een gunstig milieueffect sorteren. Het onderzoek heeft een kwalitatieve aanduiding opgeleverd en nog geen kwantitatieve onderbouwing. Voor opschaling is een dergelijke kwantitatieve onderbouwing wel nodig.

De bodem van het perceel te Ospel heeft specifieke kenmerken. De leemlaag ligt op geringe diepte waardoor de respons van het N-overschot van een groeiseizoen op de concentratie in het drainagewater erg kort is. Het effect van de reductie van stikstof moet zich daardoor ook binnen enkele maanden voltrekken: het eerstvolgende uitspoelseizoen. Een dergelijke profielopbouw komt veel voor. In veel voorkomende profielen, zoals een diep zandprofiel kan dit anders uitpakken. De responstijd kan daarin een jaar of langer dan een jaar

bedragen (volledig winter en zomerseizoen) en het effect van de reductie van stikstof kan daarmee anders zijn dan in dit onderzoek geconstateerd.

12.13.5 Effect van regelbare drainage

Een onderzoeksvraag die met het onderzoek werd beoogd te beantwoorden was of regelbare drainage bijdraagt aan het verminderen van de stikstof- en fosfaatusspoeling naar het oppervlaktewater. Door regelbare drainage kunnen de wintergrondwaterstanden worden afgetopt, waardoor minder fosfaat uitspoelt. Door de drains dieper te leggen wordt de transporttijd groter, waardoor meer denitrificatie kan optreden waardoor de N-afvoer naar het oppervlaktewater vermindert. Deze verwachtingen waren mede gewekt naar aanleiding van de modelverkenning van Van Bakel et al. (2008). In deze modelverkenning zijn met behulp van de modellen SWAP (Van Dam et al., 2008) en ANIMO (Groenendijk et al., 2005) voor vijftien plots van het STONE-model in Noord-Brabant en Noord-Limburg scenario's doorgerekend met verschillende opties voor drainage. Verwacht werd dat:

- Door het aanleggen buisdrainage nemen de piekafvoeren af en worden corresponderende grondwaterstanden aanzienlijk verlaagd. Hierdoor neemt de N-belasting toe en neemt de P-belasting af.
- Door peilsturing met hoge streefpeilen in combinatie met intensivering van de drainage wordt de gemiddelde grondwaterstand wat hoger dan in de ongedraineerde uitgangssituatie maar de GHG blijft ongeveer gelijk. De N-belasting zou door de diepere ligging van de drains lager kunnen worden dan in een situatie met conventionele drainage. De P-belasting is lager doordat ondiepe grondwaterstanden die corresponderen met piekafvoeren worden vermeden.

Deze verwachtingen konden in het veldonderzoek maar ten dele worden getoetst, omdat:

- In het veldonderzoek zijn drie blokken aangelegd die alle drie van buisdrains zijn voorzien. Het is daarmee niet mogelijk om een vergelijking te maken met de ongedraineerde situatie.
- De leemlaag bleek dermate ondiep voor te komen dat in de proef met diepe drains (blok B) de buizen in de leemlaag terecht zijn gekomen.
- Doordat de maaiveldhelling en de stijghoogtegradiënt van het diepe grondwater overheersten over het verschil in aangelegd drainagepeil tussen blokken A en C bleek uiteindelijk het blok met regelbare drainage lagere grondwaterstanden te hebben dan het blok met conventionele drainage.
- Het leemgehalte van de bodem verschilt tussen de blokken, wat resulteert in verschillende eigenschappen van de grond die de drainerende werking beïnvloeden.

Na de start van de proef bleken de fosfaatconcentraties laag te zijn. Vaak werden in het drainagewater concentraties gemeten onder de detectielimiet. Het beeld van de lage fosfaatconcentraties is consistent met de verwachting dat door het aanleggen van buisdrains de fosfaatconcentraties zouden gaan dalen. Het experiment biedt niet de mogelijkheid om de hypothese te toetsen of de concentraties zijn gedaald door het aanleggen van buisdrainage, of dat de concentraties van nature laag zijn, omdat een 'referentie' waarin niet is gedraineerd ontbreekt. Het P-oxalaatgehalte in de bovenste 30 cm van de bodem varieert van 400 tot 500 mg kg⁻¹ en de fosfaatverzadigingsgraad in deze laag varieert van 38 - 50%. Op grond hiervan wordt verwacht dat water dat vanuit deze laag direct afstroomt naar het oppervlaktewater hogere P-concentraties heeft. Overigens zou het moeilijk zijn in een dergelijke referentie metingen uit te voeren en de metingen te vergelijken met metingen aan drainagewater. In het onderzoek naar de effectiviteit van bufferstroken (Noij et al, 2012) zijn in de sloot meetinstallaties aangebracht die het mogelijk maken om direct naar de sloot afgevoerd water te registreren en te bemonsteren. De uitbreiding van de proefopzet met een dergelijke 'referentie' en dergelijke meetapparatuur zou het onderzoeksbudget hebben verveelvoudigd.

De verschillen in praktijkomstandigheden van de aangelegde drainagesystemen zijn niet meegenomen in het verkennende modelonderzoek. Op basis van de geselecteerde STONE-plots zou dat ook niet kunnen. Bedacht moet worden dat STONE een model is voor landelijke beleidsvragen, waar soms ook op regionale schaal

vragen mee zijn te beantwoorden. Het STONE-model is geen model waarmee op perceelschaal voorspellingen gedaan kunnen worden, omdat de bodem, de ondergrond, het grondgebruik, de bemesting en de hydrologie zijn geschematiseerd voor de toepassing op landelijke schaal. Als voorbeeld kan genoemd worden dat in geen van de 15 STONE-plots in het verkennende modelonderzoek een leemlaag voorkwam op 1-1,5 meter diep, terwijl deze leemlaag in de drainageproef een overheersende invloed heeft gehad op de resultaten. De resultaten van het verkennende modelonderzoek met verschillende opties voor drainage moeten in dat licht worden gezien.

Daarnaast leeft een andere vraag of het modelconcept in SWAP en ANIMO voor de afvoer naar oppervlaktewater van stoffen die zich sterk aan de bodem binden in de bouwvoor/wortelzone geschikt is voor de toepassing op perceelschaal. Omdat SWAP en ANIMO in principe 1-dimensionale, verticale modellen zijn waarin de relatie met het oppervlaktewater op conceptuele wijze is beschreven, is de berekening van het transport van fosfaat en bestrijdingsmiddelen naar het oppervlaktewater erg gevoelig voor de aannamenvoor de diepte waarop lateraal transport plaatsvindt. Onderzoek naar de validiteit van het genoemde modelconcept, en zo mogelijk verbetering, is nodig voor de situaties waarin geen voldragen 2-dimensionale water- en nutriëntenmodel kan worden ingezet. Het inzetten van een dergelijk 2-dimensionaal model moet niet worden onderschat voor wat betreft data-behoefte, rekenkracht en vereiste kennis- en ervaring. Het modelonderzoek naar de effectiviteit van bufferstroken (Noij et al., 2012) is één van de eerste onderzoeken waarin met een dergelijk instrumentarium enige ervaring is opgedaan. Deze ontwikkeling en deze discussie over de toepasbaarheid van 1-dimensionale modellen op perceelschaal staan echter los van het hierboven aangegeven punt van het verschil in toepassingsschaal tussen STONE en het perceelsonderzoek.

Op basis van de resultaten van het veldonderzoek is het niet mogelijk om mogelijke effecten van regelbare, samengestelde drainage op te schalen naar grotere gebieden. Een groot deel van de resultaten is bruikbaar om een uitspoelingsmodel te voeden. Het aantal meetjaren is echter gering. Mogelijk zou met een dergelijk model 1-dimensionaal of 2-dimensionaal model wel een opschaling naar grotere gebieden uitgevoerd kunnen worden.

12.14 Conclusies

In het veldonderzoek naar de milieueffecten van drainagesystemen te Ospel is de hypothese dat samengestelde regelbare drainage tot een vermindering van de N- en P-belasting zou leiden niet bevestigd, noch gefalsificeerd:

- Voor fosfaat kon dit niet worden aangetoond, omdat een ongedraineerd 'referentie'-perceel waarin (onder zeer natte omstandigheden) sprake kan zijn van 'grondwaterstromingsroutes' door ondiep gelegen fosfaatverzadigde bodemsegmenten, op de proeflocatie niet beschikbaar was.
- Voor stikstof kon dit niet worden aangetoond omdat de diepe drains in blok B zich geheel of gedeeltelijk in de leemlaag bevinden waardoor de afvoer via de drains wordt gestremd en ook een afwijkend patroon van toestroming en reistijdverdeling ontstaat. De regelbare drains in blok C bevinden zich in een deel van het perceel waarin de bodem leemarm is, waardoor de drainageweerstand van de drains kleiner is, zodat bij een geringere opbolling toch ongeveer dezelfde afvoer optreedt als in het blok met conventionele drainage. Het beoogde doel van gemiddeld hogere grondwaterstanden is hierdoor niet bereikt waardoor de N-concentraties ook niet in die mate reduceerden als werd verwacht op basis van verkennende model berekeningen.
- Voor zowel stikstof als voor fosfaat geldt dat de eventuele effecten moeilijk meetbaar zijn omdat de ruis door natuurlijke variatie groter is dan de verschillen tussen de behandelingen.

Uit het verschil in N-concentratie van drainagewater uit blok A en blok C kan geconcludeerd worden dat de reductie door denitrificatie groter is bij hogere grondwaterstanden. Als het door een ander ontwerp,

toegespitst op de lokale omstandigheden van Ospel mogelijk is om in het uitspoelseizoen de grondwaterstand te verhogen, kan peilsturing bijdragen aan de reductie van stikstof in het bovenste grondwater en in het drainagewater, en kan dit een gunstig milieueffect sorteren.

Op basis van de resultaten van het veldonderzoek is het niet mogelijk om mogelijke effecten van regelbare, samengestelde drainage op te schalen naar grotere gebieden. Voor een dergelijk opschaling zou een rekenmodel nuttig kunnen zijn.

Het concept van regelbare, samengestelde drainage vraagt om maatwerk. Het belang van de aanwezigheid van de leemlaag voor de opzet en de resultaatverwachting was vooraf onvoldoende duidelijk. Daarnaast was het belang van de verschillen in bodemopbouw en -samenstelling, en de stijghoogtegradiënt van het diepere grondwater onvoldoende duidelijk. Bij de vertaling van op landelijke en regionale modellen gebaseerde verwachtingen van het milieurendement van waterbeheersmaatregelen naar een lokale situatie, verdient het aanbeveling om specifieke omstandigheden in het ontwerp van de regelbare, samengestelde drainage te verwerken.

Na beëindiging van de proeven is de proeflocatie op 26 en 27 maart 2012 ontmanteld. Er resteren twee regelbare drainagesystemen, elk bestaande uit 22 drains, één 'diep' (i.c. 1,3 m -mv) en één 'ondiep' (i.c. 0,8 m -mv.) systeem, beide voorzien van een regelput aan de zuidzijde van het perceel. De drainagesloot is gedempt en alle daar aanwezige putten, alsmede alle meetapparatuur, zijn verwijderd.

12.15 Plausibiliteitstoets modelleren regelbare drainage

12.15.1 Inleiding

De proef Regelbare drainage Ospel (Stuyt et al., 2009) had tot doel om in de praktijk na te gaan of de claims t.a.v. de gunstige milieueffecten in Alterra rapport 1647 (Van Bakel et al., 2008) ook kunnen worden gemeten. Bij de afronding van dit onderzoek kwam de logische vervolgvraag of de metingen adequaat met de door Van Bakel et al. gebruikte modellen kunnen worden gesimuleerd.

De claims in Alterra rapport 1647 zijn gebaseerd op verkennende modelberekeningen. De proef in Ospel was in eerste instantie bedoeld voor de onderbouwing van de verwachting dat regelbare drainage kan bijdragen aan een vermindering van de nutriëntenbelasting van oppervlaktewater, maar leent zich er ook voor om de voorspelkracht van de modellen aan te tonen en daarmee vertrouwen te scheppen in de uitkomsten van de modelberekeningen van Van Bakel et al. (2008).

Het doel van de plausibiliteitstoets is het bevestigen of falsificeren van de plausibiliteit van de modellen waarmee de effecten van regelbare drainage zijn berekend door Van Bakel et al. (2008). Met andere woorden: zijn de gebruikte modellen in staat de metingen van de veldproef te reproduceren? A priori wordt verwacht dat de plausibiliteitstoets zal aantonen dat het model in staat is de afvoer van water en stikstof goed weer te geven. Door de lage gemeten concentraties fosfor in het drainwater in Ospel wordt verwacht dat het bevestigen of falsificeren van de plausibiliteit voor fosfaat niet mogelijk is.

De kans is aanwezig dat de modellen niet in staat zijn de metingen voldoende adequaat te reproduceren. In dat geval kunnen er drie oorzaken zijn: onvolkomenheden in de waarnemingen, onvolkomenheden in de modelconcepten of een combinatie hiervan.

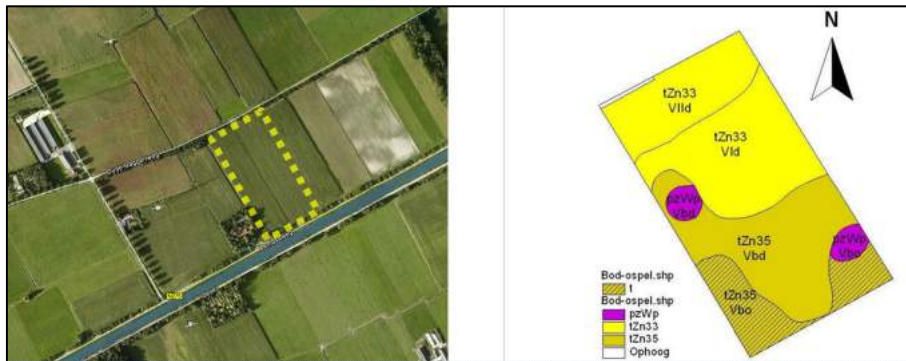
Als de metingen van de drainageproef in Ospel niet adequaat door de modellen blijken te kunnen worden gesimuleerd, zal worden geanalyseerd waardoor metingen en rekenresultaten onvoldoende overeenkomen en worden de mogelijkheden geschetst hoe deze tekortkomingen opgelost kunnen worden.

Uit het plausibiliteitsonderzoek kan lering worden getrokken welke factoren het meest bepalend zijn voor de uitkomsten en met deze kennis kan worden ingeschat of deze factoren extrapolatie naar andere gebieden door het berekenen van effecten van regelbare drainage met deze modellen wel of niet mogelijk maken.

12.16 Materiaal en methode

12.16.1 Beschrijving van het perceel

Op een perceel in Ospel waar zeer regelmatig water op het maaiveld zichtbaar is, is in 2008 een systeem met samengestelde regelbare drainage aangelegd; zie Figuur 104. Vanaf 2009 zijn de grondwaterstanden en de afvoeren van de drains en van de kavelsloot gemeten. De drains liggen om en om op een diepte van 75 en 105 cm-m.v. op 6 m afstand. In het najaar van 2009 is dit systeem omgebouwd tot drie behandelblokken met andere drainageconfiguraties waarvan blok A (zuidelijk deel van perceel) is ingesteld volgens het systeem 'conventionele drainage' en blok C (noordelijk deel van perceel) is ingesteld als configuratie 'regelbare, ondiepe drains'.

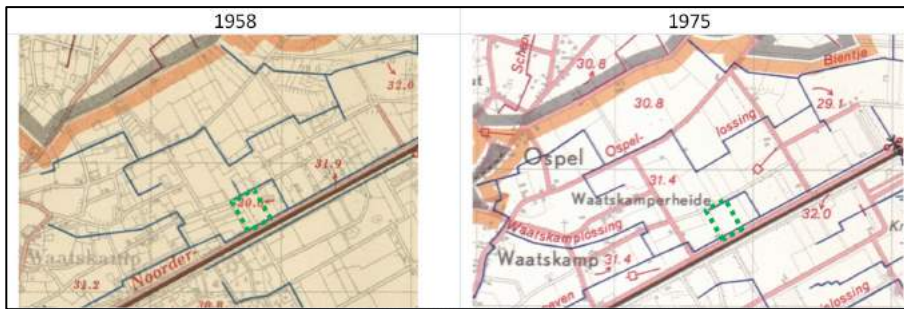


Figuur 104

Luchtfoto afgeleid uit Google Earth (links) en bodemkaart van het perceel met de proef.

Het perceel is geëgaliseerd. Onder de 25 cm dikke bouwvoor komt regelmatig op 25 à 40 cm diepte een verwerkte laag voor. De bodem bestaat uit dekzand met lössleem (Brabantleem) in de ondergrond. Lössleem is uiterst fijnzandig materiaal met een leemgehalte van 50 - 70%. De inspoelingshorizont (podzol - Bhe horizont) was voor de egalisatie waarschijnlijk overal aanwezig. Door ploegen en egaliseren is de podzol door de bovengrond gemengd of 'weg geëgaliseerd'.

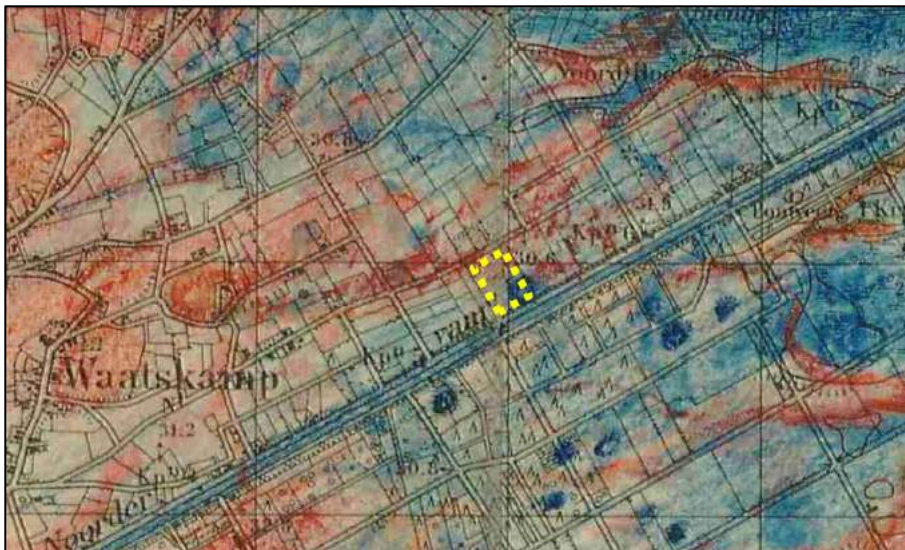
Op de Waterstaatskaart van 1958 is te zien dat op het perceel waarschijnlijk enkele greppels voorkwamen. Door schaalvergroting en herverkaveling zijn in het gebied veel greppels gedempt en kavelscheidingen geruimd. Op de Waterstaatskaart van 1975 komen de greppels niet meer voor; zie Figuur 105. Waarschijnlijk was het gebied vroeger natter dan in de laatste veertig jaar.



Figuur 105

Waterstaatskaarten uit 1958 (links) en 1975 (rechts) van het gebied rondom het perceel met een indicatie van waterlopen en perceelscheidingen.

Op de kaart van Von Freytag-Drabbe die gebaseerd is op door de Royal Air Force gemaakte luchtfoto's uit de Tweede wereldoorlog is te zien dat het zuidoostelijke deel van het perceel (blok A) een natte plek voorkomt; zie Figuur 106. Deze natte plek is op de bodemkaart te zien als eenheid pzWp (moerige podzolgrond met zanddek).



Figuur 106

Fragment van Von Freytag-Drabbe kaart met indicatie van droge en natte plekken.

De diepte waarop de leemlaag wordt aangetroffen verloopt van 1,2 meter in het zuiden naar 1,4 meter in het noordelijk deel van het perceel. De (diepe) drains doorsnijden hierdoor regelmatig de leemlaag. Ook de grondwaterstand is in het noordelijk deel dieper (GT VII) dan het zuidelijk deel (Gt V). In het hele perceel treedt wegzijging op waarbij door de aanwezigheid van de leemlaag schijngrondwaterspiegels kunnen ontstaan.

Het ontwerp van de proef is beschreven in Tabel 27

Globale kenschets van de drie blokken van de drainageproef in Ospel. In blok A werd beoogd de ontwatering te laten plaatsvinden door drainbuizen waarvan geen peil werd ingesteld, in blok B zou de drainage moeten plaats vinden door de dieper gelegde buizen met een zomerpeil van 60 cm en een winterpeil van 90 cm – m.v., en in

blok C zou de drainage moeten plaatsvinden door de ondiep aangelegde buizen met hetzelfde peilregime als in blok B.

Tabel 27

Globale kenschets van de drie blokken van de drainageproef in Ospel.

Blok	Drainage	Zomer- en winterpeil	Bovengrond	Diepte leem	Gt
Noord (C)	Ondiepe SRD	60/90	zwak lemig	1.4 m-mv	VII
Midden (B)	Diepe SRD	60/90	zwak/sterk lemig		VI
Zuid (A)	Ondiepe CD	sloot	sterk lemig, met moerige plek	1.2 m-mv	V

Omdat de diepe drains (blok B) in de leemlaag zijn gelegd, hetgeen wordt bevestigd door de kleine drainafvoeren in dit blok, zijn voor de plausibiliteitstoets alleen de blokken A en C gebruikt.

In de winter van 2010/2011 en de winter van 2011/2012 zijn afvoeren gemeten uit drainbuizen en uit de kavelsloot waarin de verzamel drains uitmondden. Op negen plaatsen per blok zijn grondwaterstanden geregistreerd met automatische drukopnemers. Verder zijn stijghoogten gemeten in buizen met een filter onder de leemlaag.

Voor de modellering van de stikstofuitspoeling kon gebruik worden gemaakt van de gerapporteerde mestgiften en gewasopnamen en van de gemeten concentraties stikstof in het drainwater.

12.16.2 Modelling

De meest recente versies van de modellen SWAP en ANIMO zijn toegepast voor de blokken A en C van de veldproef in Ospel. Het modelonderzoek is in twee stappen uitgevoerd: 1) de modellering van de waterhuishouding van deze blokken, en 2) de modellering van de nutriëntenuitspoeling in deze blokken. De proef in Ospel was niet gericht op het modelleren van de water- en nutriëntenhuishouding, waardoor de specifiek hiervoor benodigde dataverzameling en procesonderzoek ontbreken.

De waterhuishouding van de blokken A en C is gesimuleerd met SWAP 3.2.26. Als uitgangspunt is analoog aan het verkennende onderzoek van Van Bakel (2008) een STONE-plot gekozen in de directe omgeving van het proefperceel die overeenkomt met de kenmerken van het perceel voor wat betreft bodem en grondwatertrap. Vervolgens is de schematisering aangepast aan de lokale omstandigheden om een beeld te krijgen van de voorspelkracht van de modellen voor de omstandigheden waarvoor is gemeten.

De nutriëntenkringlopen voor de blokken A en C zijn gesimuleerd met ANIMO versie 4.1; zie 12.17.2. ANIMO biedt verschillende opties voor procesbeschrijvingen. Voor dit onderzoek is aangesloten bij de versie die binnen STONE voor nationale beleidsondersteuning wordt gebruikt. De schematisering van de gekozen STONE-plot heeft als uitgangspunt gefungeerd waarna de data zijn gespecificeerd voor het proefperceel voor zover informatie beschikbaar was. Als laatste stap is het watergetal handmatig gekalibreerd.

12.16.3 Schematisering van landgebruik

Het landgebruik ten tijde van de proef is geregistreerd, maar voor nutriëntenuitspoeling naar het oppervlaktewater is ook de voorgeschiedenis van belang. Historische overschotten die in de organische stof van de bodem is opgeslagen kunnen door mineralisatie nog lang nawerken. Het landgebruik is in twee perioden geschematiseerd:

1. Periode 1971 – 2007 voor een grove initialisatie van organische stof, fosfaatvoorraden en ook nitraatvoorraden in de bodem en het ondiepe grondwater. Voor deze periode is aangenomen dat afwisselend snijmaïs en akkerbouwgewassen werden geteeld. Verondersteld is dat snijmaïs vanaf 2006 werd opgevolgd door een vanggewas.
2. Periode 2008 – 2011 voor de simulatie van de nutriëntenhuishouding in de bodem en de uitspoeling naar de drains. Voor deze periode zijn de gerapporteerde cijfers ten aanzien van gewas, mestgebruik en gewasopname gebruikt (Tabel 28).

Tabel 28

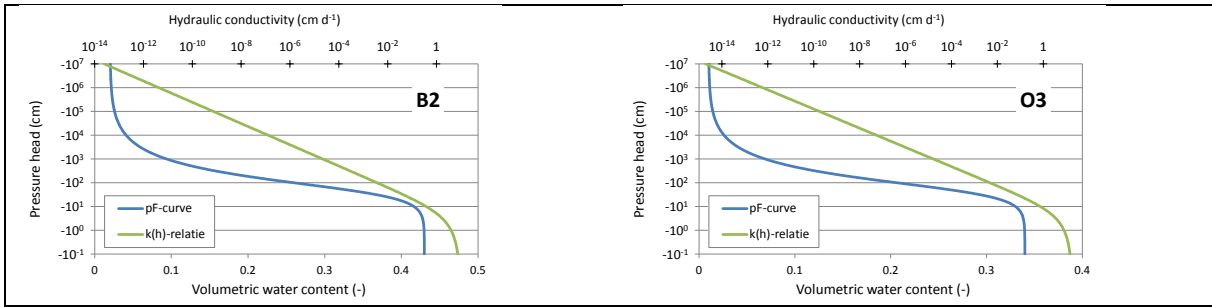
Gewassen en mestgiften (kg/ha) in de periode 2008 t/m 2011.

Datum	Gewas	Mestsoort	N-mineraal	N-organisch	N-totaal	N-werkzaam
16-5-2008	waspeen	runderdrijfmest	67	42	109	68
3-4-2009	schorseneer	runderdrijfmest	98	151	249	174
12-4-2009		NPK-kunstmest	34		34	34
23-9-2009		KAS-kunstmest	81		81	81
12-4-2010	aardappel	Runderdrijfmest	68	72	140	98
12-5-2010		KAS-kunstmest	54		54	54
31-5-2010		KAS-kunstmest	54		54	54
30-3-2011	snijmaïs	runderdrijfmest	200	150	347	257
18-4-2011		NP-startgift	17		17	21

Voor de hydrologische modellering zijn de parameters voor deze gewassen ontleend aan STONE. Voor de modellering van de nutriëntenhuishouding zijn de gerapporteerde cijfers gebruikt en daar waar nadere keuzes moesten worden gemaakt, zijn deze gebaseerd op de aanpak in het STONE-model. Het gaat dan vooral over het tijdverloop van de gewasopname en het verlies aan gewasresten.

12.16.4 Schematisering en eigenschappen van de bodem

De bodemfysische parameters (Figuur 107) zijn ontleend aan de standaard STONE-schematisering. Op basis van de profielbeschrijving is er voor gekozen om voor de bovengrond tot 50 cm de pF-curve en de k(h)-relatie van Bouwsteen B2 te kiezen; voor de laag hieronder tot aan de leemlaag de relaties van Bouwsteen O3.



Figuur 107

Bodemfysische relaties van de bovengrond en de ondergrond tot aan de leemlaag in het SWAP-model.

De diepte van de leemlaag begint in blok A op een diepte van 1,2 m-mv en in blok C op een diepte van 1,4 m-mv (Tabel 29). Voor de dikte is voor beide blokken 80 cm aangehouden, omdat dit voor beide profielen in zowel SWAP als ANIMO vergelijkbare laagindelingen oplevert. Deze dikte is waarschijnlijk te klein, maar in het hydrologisch model is de ratio tussen dikte en verzadigde doorlatendheid (weerstand) bepalend voor het gedrag. De doorlatendheid van de leemlaag is niet direct af te leiden uit de beschrijving, en is vastgesteld door middel van modelkalibratie.

Tabel 29

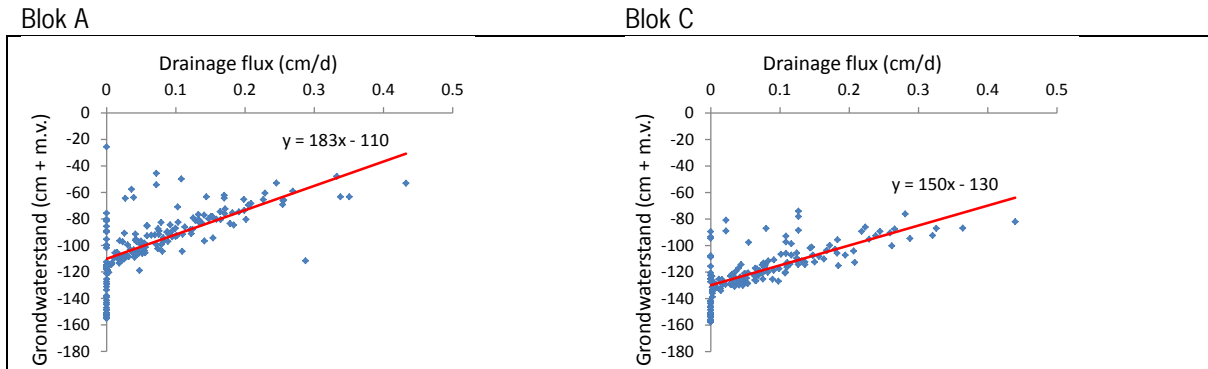
Schematisering van de bodem in lagen met bijbehorende dikten en verzadigde doorlatendheden.

Laag	Blok A		Blok C	
	Dikte (cm)	K_{sat} (cm/d)	Dikte (cm)	K_{sat} (cm/d)
1	5	9,65	5	9,65
2	10	9,65	10	9,65
3	5	9,65	5	9,65
4	5	9,65	5	9,65
5	10	9,65	10	9,65
6	15	9,65	15	9,65
7	10	18,3	10	18,3
8	15	18,3	15	18,3
9	45	18,3	65	18,3
10	80	0,12	80	0,20
11	300	43,55	280	43,55

12.16.5 Grondwaterstand-afvoerrelaties

Per blok is op negen plaatsen de grondwaterstand geregistreerd. Van deze meetreeksen is per dag het gemiddelde voor een blok bepaald met rekenkundig middelen. Vervolgens zijn deze grondwaterstanden gebruikt voor het vaststellen van een grondwaterstand-afvoerrelatie (figuur 5). Deze relaties resulteren in relatief grote drainageweerstanden van 183 dagen (blok A) en 150 dagen (blok C). Als snijpunt op de verticale as werd een diepte van 110 cm - m.v. gevonden voor blok A en 130 cm - m.v. voor blok C. Vooral voor blok C is deze uitkomst verrassend, omdat beoogd was een peilregime in te stellen van 60 cm - m.v. in de zomer en 90 cm - m.v. in de winter. Uit de metingen blijkt dat in blok C water wordt afgevoerd bij diepere

grondwaterstanden. De variatie in het maaiveld zou dit verschijnsel maar ten dele kunnen verklaren omdat deze maximaal 20 cm bedraagt. Het is duidelijk dat het bedoelde effect van ondiepe regelbare drainage in blok C niet is gemeten. Desondanks zijn de metingen bruikbaar voor de plausibiliteitstoets van de rekenmodellen.



Figuur 108

De relaties tussen de gemeten grondwaterstanden en drainafvoeren van de drainageproef te Ospel en de in het SWAP-model gebruikte geïnterpoleerde drainage-relaties (rode lijn).

Bij de vergelijking van de relaties voor blok A en blok C valt het op dat de drainageweerstand in blok A hoger is dan in blok C. Dit is consistent met de geringere diepte van de leemlaag in blok A, waardoor de dikte van de verzadigde bodemlaag waardoor water wordt afgevoerd kleiner is. Als we aannemen dat van de drainbuizen alleen de dieper aangelegde buizen water hebben afgevoerd (zie Figuur 108) bedraagt de effectieve drainafstand 12 m. De gevonden drainageweerstand correspondeert dan met doorlatendheden van 20 à 30 cm/d van de watervoerende laag. Deze waarde is plausibel voor een leemhoudende ondergrond. De relatief hoge waarde voor de drainageweerstand is toe te schrijven aan de ondiepe ligging van de leemlaag waardoor de dikte van de watervoerende laag ten tijde van drainage klein is.

Onder de leemlaag bevindt zich in het model een watervoerende laag met een dikte van resp. 3 en 2,8 m in blok A en blok C. De onderrand van het model wordt gevormd door een weerstand biedende laag met een weerstand van 200 d voor blok A en 100 d voor blok C. Voor de onderrandvoorwaarde is gekozen voor een zgn. Cauchy-relatie waarin de kwel- of wegzijgingsflux wordt berekend als het quotiënt van het verschil van grondwaterstand en diepe stijghoogte en de totale verticale weerstand tussen de grondwaterstand en de onderrand. Bij de gekozen parameters bedraagt de totale verticale weerstand 870 d voor blok A en 500 d voor blok C. De stijghoogte onder de modelonderrand is constant in de tijd verondersteld.

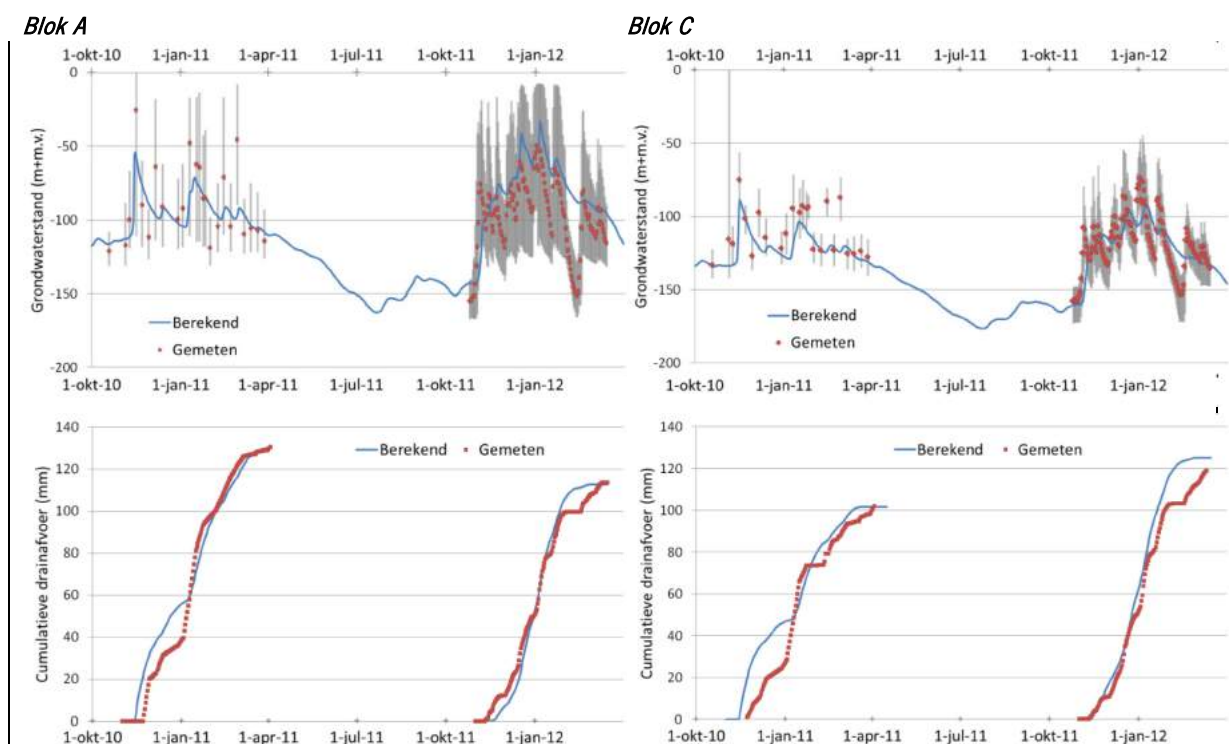
Onder de leemlaag zijn stijghoogten geregistreerd. Uit de beschrijving is voornamelijk niet duidelijk op welke diepten de één meter lange filters zich bevonden. De diepte van de modelonderrand stemt niet overeen met de waarnemingsdiepte zodat er zich extra lagen met stromingsweerstand bevinden tussen de waarnemingspunten en de onderrand. Deze extra weerstand moet in het model worden meegenomen.

12.17 Resultaten

12.17.1 Grondwaterstand en drainafvoer

Het hydrologische model is gekalibreerd door de berekende grondwaterstanden en de cumulatieve afvoeren te vergelijken met de metingen. Ook het tijdstip waarop in 2010 en 2011 de drains weer water begonnen af te voeren is in de beoordeling meegenomen. Hiervoor is geen formele optimalisatieprocedure gevolgd, maar is gefit aan de hand van visuele inspectie. De variatie van de grondwaterstanden binnen een blok is aanzienlijk en de gemiddelde waarde van deze waarnemingen is daarmee geen 'hard' getal.

In de kalibratie zijn enkele parameters aangepast: 1) de verticale doorlatendheid van de leemlaag en daarmee de ondiepe verticale weerstand, 2) de stijghoogte aan de onderrand van het model en 3) de weerstand aan de onderrand van het model. Het resultaat van de kalibratie voor blok A en blok C is weergegeven in Figuur 109.



Figuur 109

De gemeten (gemiddelden en bandbreedte min-max) en berekende grondwaterstanden en de gemeten en berekende drainafvoeren (dagwaarden en cumulatief) voor blok A en blok C.

De berekende grondwaterstanden vallen binnen de bandbreedte die in de figuren met grijze lijnen is aangegeven, met uitzondering van de vorstperiode in februari 2012. De gemeten grondwaterstanden dalen in deze periode en stijgen daarna snel na het invallen van de dooi. Het effect van de besneeuwde en bevroren grond op de grondwaterstanden wordt niet adequaat gesimuleerd, maar de rekenresultaten voor de andere perioden zijn goed. In de metingen is te zien dat in enkele peilbuizen het grondwater medio november 2010 tot aan het maaiveld reikte, maar het gemiddelde voor het hele blok reikte niet tot aan het maaiveld. Voor deze periode laat het SWAP-model een piek zien, die ook niet tot aan het maaiveld reikt. Bedacht moet worden dat

het SWAP-model is opgesteld om het gemiddelde van het gehele blok te representeren. Het tijdstip waarop in november 2011 de grondwaterstand begint te stijgen wordt correct berekend.

De pieken in gemeten afvoeren worden in de tweede winter adequaat gesimuleerd (figuur 109), alhoewel de gemeten extreme dagwaarden niet helemaal door het model worden benaderd. In de eerste winter worden de extreme dagwaarden wel goed benaderd, maar lijkt er soms sprake te zijn van een tijdverschuiving. Ook de cumulatieve drainafvoer wordt goed gesimuleerd: in het eerste winterhalfjaar gaat het in het begin even minder goed, in het tweede winterhalfjaar gebeurt dat aan het einde, in beide gevallen wordt de totale gemeten afvoer echter bijzonder goed benaderd.

De relatief grote, uit de meetresultaten afgeleide drainageweerstanden leiden tot een geringe drainafvoer. Het resterende neerslagoverschot (verwachtte orde grootte 100 tot 150 mm/jr) moet door de leemlaag wegzijgen naar de ondergrond.

De cumulatieve afvoer verloopt voor beide blokken in beide winterperioden gelijk, en ook de totale drainafvoer verschilt nauwelijks: de peilsturing via ondiepe samengestelde drainage die beoogd werd in blok C heeft geen effect gehad ten opzichte van de conventionele drainage in blok A.

De dynamiek van de grondwaterstanden is in blok A groter dan voor blok C, omdat de watervoerende laag tussen grondwaterstand en leemlaag in blok A kleiner is dan in blok C. Ook zijn de grondwaterstanden in blok C iets dieper dan in blok A, waardoor de bufferende werking van de onverzadigde zone in blok C iets groter zal zijn.

Een vergelijking van de berekende waterbalans (Tabel 30) met de aan de hand van de metingen opgestelde waterbalans (Stuyt et al., 2012) laat zien dat de bijna 30 mm kleinere in het model opgelegde neerslag doorwerkt naar een iets kleinere verdamping en vooral de wegzijging en bergingsverandering. De laatste is niet meegenomen bij de via metingen opgestelde balans. De drainafvoeren komen redelijk overeen.

Tabel 30

De berekende waterbalans voor de periode 4/11/2011 – 7/03/2012.

	Blok A	Blok C
Neerslag (mm)	239	239
Beregening (mm)	75	75
Verdamping (mm)	47	47
Drainafvoer (mm)	113	125
Wegzijging (mm)	121	133
Bergingsverschil (mm)	34	9
Grondwaterstand op 4/11/2011 (cm+m.v.)	-135	-157
Grondwaterstand op 7/03/2012 (cm+m.v.)	-94	-132

12.17.2 Stikstofuitspoeling en -balans

De nutriëntenkringlopen voor de blokken A en C zijn gesimuleerd met ANIMO versie 4.1 (Groenendijk et al., 2013). ANIMO biedt verschillende opties voor procesbeschrijvingen, maar voor dit onderzoek is geheel aangesloten bij de versie die binnen STONE (Groenendijk et al., 2013) voor beleidsondersteuning wordt gebruikt.

De data en de schematisering van de geselecteerde STONE-plot zijn voor de volgende aspecten aangepast aan de lokale situatie:

1. De mestgiften zoals tijdens de proef geregistreerd en de gewasopname conform de resultaten van de studie naar gewasopbrengsten van PPO (Van der Schoot et al., 2010; Van der Schoot en de Buck, 2010).
2. De laagindeling en de geohydrologische configuratie, waarbij is verondersteld dat alle drainafvoer plaatsvindt boven de leemlaag.

De kalibratie is in een aantal stappen uitgevoerd:

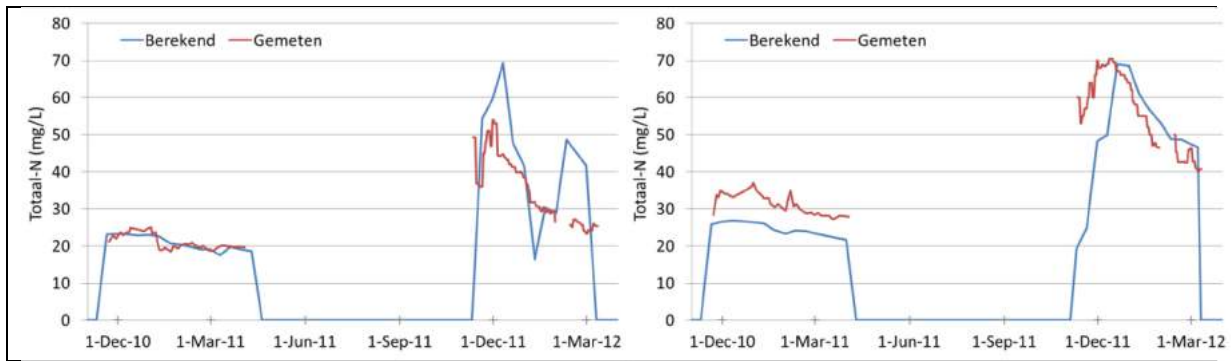
1. Uit de eerste rekenresultaten bleek dat de voorraad nitraat in de bodem en het ondiepe grondwater aan het begin van 2008 te hoog zou uitkomen. Daarom zijn de stikstof-overschotten in de periode 2001 – 2007 verlaagd door de gewasopname in deze periode met 10% hoger in te schatten.
2. Vervolgens bleken de vrachten stikstof in 2010 – 2012 nog steeds 10 – 30% hoger uit te vallen dan de metingen. Een relatief kleine onzekerheid in het bodemoverschot kan leiden tot een grote onzekerheid in de stikstof-uitspoeling. In paragraaf 12.13 wordt bediscussieerd dat er een verschil bestaat tussen de uitkomsten van de door PPO uitgevoerde proefoogsten en de opname die in de praktijk voorkomt na verrekening van rijpaden en andere verliezen door de stikstofopname door het gewas af te trekken van de netto-bodembelasting. De resultaten van de proefoogsten laten zien dat er een aanzienlijke variatie kan bestaan en na de inspectie van de rekenresultaten is er voor gekozen om de resultaten van PPO onverkort over te nemen, zonder een correctie voor rijpaden en randeffecten (Tabel 31).

Tabel 31

Balanstermen (kg/ha) van het perceel in de jaren 2008 – 2011.

Jaar	Gewas	Ingaande termen		Uitgaande termen	
		N-gift	N-depositie	NH ₃ -N vervluchtiging	N-opname proefoogst
2008	Waspeen	109	25	13	159±11 ^a
2009	Schorseneer	364	25	20	258±25 ^b
2010	Aardappel	248	25	14	239±23 ^c
2011	Snijmais	364	25	40	232 ^d

3. Als laatste stap is het kritisch watergehalte waarboven denitrificatie begint op te treden (waterfactor) aangepast. De nitraatuitspoeling is gevoelig voor deze factor en bij het gereed maken van een STONE-versie wordt deze factor altijd als laatste gekalibreerd op de nitraatwaarnemingen in het LMM. In STONE2.4 is voor het gemiddelde van alle zandgronden een waarde van 0,8 ingesteld. Na een aantal testberekeningen voor blok A bleek dat een waarde voor de waterfactor van 0,6 voor dit blok goede resultaten oplevert. Vervolgens zijn zonder verdere aanpassing de genoemde veranderingen ook op blok C toegepast. Ook voor blok C blijkt ANIMO de concentratie stikstof in het drainwater adequaat te kunnen beschrijven. Het resultaat van de berekeningen is weergegeven in Figuur 110.



Figuur 110

Vergelijking van met ANIMO berekende totaal-stikstof concentratie met gemeten totaal-stikstof concentraties uit buisdrains voor blok A (links) en blok C (rechts).

De berekende concentratie stikstof in het drainwater van blok A komt in de winter van 2010/2011 uitstekend overeen met de metingen en ligt in de winter van 2011/2012 iets hoger dan de metingen. De berekende concentratie vertoont iets meer dynamiek dan de metingen, maar de algemene neerwaartse trend wordt correct berekend.

Het resultaat voor blok C dat zonder verdere specifieke aanpassing voor dit blok werd berekend laat zien dat de trends en de vorm van de curven correct worden berekend. In de winter van 2010/2011 worden iets lagere stikstofconcentraties berekend dan gemeten, maar in de winter van 2011/2012 is het gemiddelde niveau correct. Wel treedt in deze winter een vertraging op in het berekende nitraatverloop ten opzichte van gemeten verloop.

Uit de metingen blijkt dat in de winter van 2011/2012 in beide blokken de concentraties in het drainwater hoger waren dan in de voorgaande winter. Dit hangt samen met het hogere stikstofoverschot na de teelt van snijmaïs in 2011 waarop een riante bemesting is toegepast. Ook blijkt uit de metingen dat de concentraties in het drainwater van blok C hoger zijn dan de concentraties van blok A. Dit wordt toegeschreven aan het feit dat blok C diepere grondwaterstanden had. Het model is in staat om zowel het verschil in concentraties van beide winters als het verschil in concentraties van beide blokken adequaat te simuleren.

De totale waterafvoer en stikstofvracht per seizoen is vergeleken met de gerapporteerde waarden (Tabel 32). Alleen in de tweede winter bedraagt het verschil tussen de berekende en gemeten stikstofvrachten 7 kg/ha. In alle andere gevallen is het verschil kleiner.

Geconcludeerd wordt dat zowel het verloop van de concentraties stikstof in het drainagewater als de stikstofvrachten door ANIMO adequaat worden gesimuleerd.

Tabel 32

Vergelijking van de met SWAP berekende drainafvoer en de met ANIMO berekende totaal-stikstof vrachten met gerapporteerde gemeten afvoeren en vrachten.

	Berekend		Gemeten	
	Blok A	Blok C	Blok A	Blok C
	<i>23/11/2010 – 03/04/2012</i>		<i>23/11/2010 – 03/04/2012</i>	
Drainagewaterafvoer (mm)	130	102	130	102
Totaal-stikstof vracht (kg/ha)	28	25	27	33
	<i>11/11/2011 – 11/03/2012</i>		<i>11/11/2011 – 11/03/2012</i>	
Drainagewaterafvoer (mm)	113	125	114	119
Totaal-stikstof vracht (kg/ha)	42	71	40	67

12.18 Discussie

De waterfactor 0,6 ligt lager dan de waarde die in STONE2.4 is vastgesteld als gemiddelde waarde voor alle zandgronden gemiddeld (Groenendijk et al., 2013). Het proefperceel bevat leemhoudende gronden waardoor de denitrificatiesnelheid hoger zal zijn dan in leemarme zandgronden. Dit wordt in het model tot uitdrukking gebracht door een lagere waarde voor de waterfactor. De waarde bevindt zich nog binnen de bandbreedte die voor deze parameter wordt verwacht (0,6 – 0,8). De voor Ospel vastgestelde waarde bevindt zich aan de onderkant van de range, terwijl de landelijk gemiddelde waarde zich aan de bovenkant van de range bevindt. De opgelegde gewasopname kent een bepaalde onzekerheid evenals de ammoniakvervluchtiging. De range van de gemeten opname door aardappel in 2010 bedraagt 204 – 285 kg ha⁻¹ en het gemiddelde betrof 239 kg ha⁻¹. Deze onzekerheid is groot ten opzichte van de stikstofvracht die door de drains uitspoelt. De ammoniak-vervluchtiging is geschat als 20% van het minerale deel van de runderdrijfmest en komt daarmee uit op 14 kg ha⁻¹ in 2010 en 40 kg ha⁻¹ in 2011. Een kleiner of groter percentage vervluchtiging heeft weinig invloed op de stikstofbalans van de bodem, maar kan wel gevolgen hebben voor de stikstofuitspoeling. Door deze onzekerheden is het logisch dat een kalibratie-stap nodig is om de stikstofuitspoeling correct te berekenen. De kalibratie is alleen gebaseerd op de uitspoeling in blok A. De gesimuleerde uitspoeling van blok C kan als een validatie worden beschouwd. Gezien de onzekerheden die een rol spelen bij de modellering is het resultaat bevredigend.

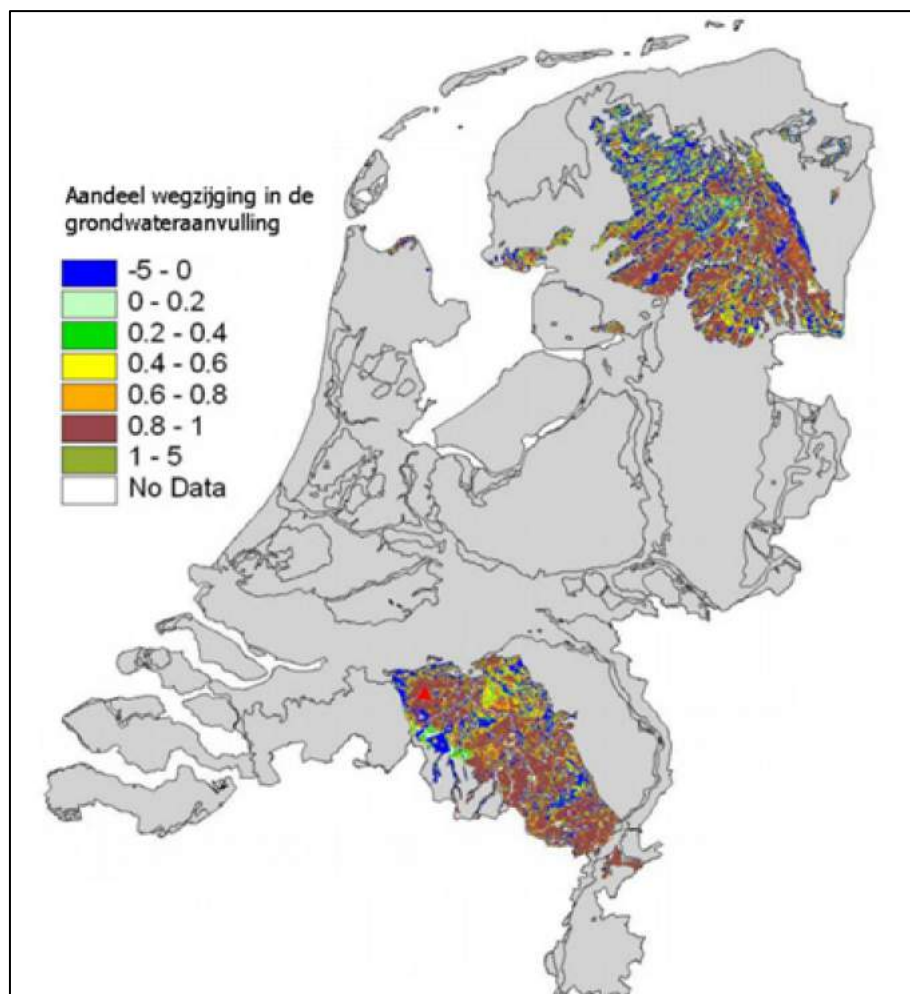
De gemeten fosfaatconcentraties in het drainwater waren bijzonder laag (0,002 – 0,009 mg l⁻¹). Bij de analyse van de resultaten van het veldonderzoek is fosfaat daarom niet uitvoerig behandeld (Stuyt et al., 2012). In het modelonderzoek is geen kwantitatieve vergelijking gemaakt van gemeten en berekende fosfaatvrachten, maar is een kwalitatieve beoordeling uitgevoerd. Hieruit bleek dat de concentraties totaal fosfor in de bodem op de diepte van de drains hoger werden berekend dan de gemeten concentraties in het drainwater. De berekende concentraties vertoonden weinig variatie en waren ongeveer gelijk aan de concentraties aan het begin van de initialisatieperiode. Door het veronderstellen van een voorraad fosfor in de ondergrond onder de bouwvoor die correspondeert met een fosforconcentratie van 0.005 mg l⁻¹ kunnen concentraties worden gesimuleerd in dezelfde orde van grootte als de gemeten concentraties.

De lage gemeten concentraties fosfor bevestigen het belang van een correcte beschrijving van het laterale fluxprofiel. Dit is vooral van belang voor stoffen met een steil concentratiefront. Voor het onderzoek van Van Bakel et al. (2008) is het SWAP-model uitgebreid met de optie om laterale waterafvoer uit de verticale bodemkolom niet vanaf de grondwaterstand, maar vanaf de drain te laten plaatsvinden. Uit de kwalitatieve beoordeling van de modelresultaten voor fosfor blijkt dat wanneer laterale waterafvoer vanaf de grondwaterstand zou plaats vinden, dit tot aanzienlijk hogere concentraties fosfor zou hebben geleid.

Het doel van het onderzoek was om na te gaan of de door Van Bakel et al. (2008) gebruikte modellen in staat zijn om de waterafvoer en stikstofvrucht correct te simuleren. Een correcte simulatie geeft vertrouwen in de modellen waarmee de effecten zijn berekend maar vormt geen bewijs van de effectiviteit van regelbare drainage. Uit de resultaten van dit onderzoek blijkt dat de modellen, na aanpassing aan de specifieke veldomstandigheden en de niet-formele kalibratie van een beperkt aantal parameters, goed in staat zijn de waarnemingen na te bootsen. In deze studie is niet verkend of de door Van Bakel et al. (2008) veronderstelde geohydrologische configuratie en daarop gebaseerde modelschematisering adequaat is.

Uit de analyse blijkt dat de regeling van peilen van de drainsystemen niet heeft gefunctioneerd volgens het regime zoals dat was beoogd. De aanleg en het beheer van een regelbaar drainagesysteem blijkt complex te zijn, en in Ospel bleek de aanwezigheid van de lössleemlaag complicerend te werken. Binnen het perceel was de variatie in grondwaterstanden groter dan het beoogde verschil in peil tussen de drainagesystemen. Blok A is van nature duidelijker natter dan blok C. Daarnaast komen in blok A meer moerige gronden voor dan in blok C. De gevonden verschillen in de grondwaterstanden en stikstofvruchten zijn toe te schrijven aan deze verschillen en zijn niet het gevolg van gestuurde drainage.

Daarnaast treedt er een aanzienlijke wegzijging op over de lössleemlaag waardoor het systeem in hydrologische zin sowieso moeilijk te sturen is. De lössleemlaag bevindt zich bovendien ondiep (1,2 – 1,4 m) waardoor de buizen bij verdiept aanleggen van een drainagesysteem in de leemlaag terecht komen. Door deze specifieke geohydrologische configuratie is het perceel in Ospel, achteraf gezien, ongeschikt voor het aantonen van effecten van regelbare drainage. Het verschijnsel van de lössleemlaag heeft ook een rol gespeeld bij het bepalen van de effectiviteit van bufferstroken langs waterlopen in Loon op Zand (Hoogland et al., 2010). De aanwezigheid van een leemlaag is een vrij algemeen verschijnsel in Drenthe, Twente, Achterhoek, Noord-Brabant en Limburg. In het bufferstrokenonderzoek (Noij et al., 2012) is Nederland ingedeeld in een aantal geohydrologische typen. De gronden op de Slenk en het Drents plateau waarin een leemlaag voorkomt worden in dit onderzoek aangeduid als type 'e'. Op grond van rekenresultaten van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium is voor de gronden van het type 'e' in twee deelgebieden een schatting gemaakt van het aandeel van het neerslagoverschot dat door de leemlaag wegzijgt (Figuur 111).



Figuur 111

Aandeel van de wegzijging door een leemlaag in de grondaanvulling afgeleid uit resultaten van het NHI (bron: Hoogland et al., 2010).

Naarmate het aandeel wegzijging door de leemlaag groter is, is de afvoer naar ontwateringsmiddelen in de directe omgeving van percelen kleiner. Bij kleine afvoeren naar ontwateringsmiddelen is de effectiviteit van een nieuw aan te leggen drainagesysteem uit oogpunt van water conservering en uit oogpunt van stikstofuitspoeling ook relatief klein. Het valt niet binnen het bestek van dit onderzoek om naast de in het kader van het bufferstrokenonderzoek (Hoogland et al., 2010) vervaardigde kaart inschattingen te maken voor andere delen van de zandgebieden.

12.19 Conclusies en aanbevelingen

Het modelonderzoek had als doel om na te gaan of de modellen SWAP en ANIMO in staat zijn de waterhuishouding en de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater van het perceel met de proef regelbare drainage in Ospel adequaat te simuleren. Een goed resultaat schept vertrouwen in de modellen en de mogelijkheid om deze in een verkenning van de effecten van regelbare drainage toe te kunnen passen. De resultaten laten zien dat de modellen inderdaad in staat zijn de waterhuishouding en de stikstofvruchten correct te voorspellen. Voor de fosforvruchten en -concentraties kon dit door de lage gemeten concentraties minder duidelijk worden aangetoond en heeft alleen een kwalitatieve beoordeling plaatsgevonden waarin ook de berekende concentraties laag bleken, maar hoger waren dan de (bijzonder lage) meetwaarden.

Voor de simulaties van de grondwaterstanden, de waterafvoer en de nutriëntenvrachten zijn enkele parameters en variabelen van een STONE-plot gespecificeerd aan de hand van de lokale data en omstandigheden van het onderzoeksperceel. De vraag of de modellen gebruikt kunnen worden voor extrapolatie van de door Van Bakel et al. (2008) berekende effecten van regelbare drainage wordt, als het gaat om de gebruikte rekencodes, met 'ja' beantwoord.

Om de geschiktheid voor regelbare drainage te verkennen en de effecten van regelbare drainage te evalueren moet de aanwezigheid van ondiepe scheidende lagen worden meegenomen. De bodemkundige en geohydrologische schematisering is cruciaal. Het effect van leemlagen in de bovengrond lijkt in de studie van Van Bakel et al. (2008) onvoldoende te zijn uitgewerkt om het effect van regelbare drainage van deze gronden te kunnen beoordelen.

Het modelleren van de veldproef heeft geleid tot nieuwe inzichten in de werking van het lokale systeem en in de oorzaken van het achterwege blijven van effecten van regelbare drainage in deze proef. Modelleren helpt om de gemeten signalen van het gedrag van het systeem beter te kunnen analyseren en interpreteren. In experimenten om het effect van regelbare drainage aan te tonen kan een combinatie van meten en modelleren ook helpen om in een vroeg stadium de meetresultaten beter te begrijpen en het experiment zo nodig bij te sturen.

De specifieke bodemkundige en geohydrologische situatie in Ospel heeft er mede toe geleid dat het regelbare drainagesysteem niet heeft gewerkt zoals is beoogd. Dit blijkt onder andere uit de grote variatie aan gemeten grondwaterstanden binnen een blok. Regelbare drainage lijkt een gevoelig systeem te zijn dat zeer nauwkeurig moet worden aangelegd en dat zeer zorgvuldig moet worden beheerd om optimaal te kunnen functioneren. Aanbevolen wordt om het berekende effect van regelbare drainage zoals gepresenteerd door Van Bakel et al. (2008) te valideren in een modelstudie voor één of meer veldproeven waarin duidelijke effecten zijn gemeten.

12.20 Referenties

- Groenendijk, P., R.F.A. Hendriks en L.V. Renaud, 2013. Prediction of nutrient leaching to groundwater and surface waters and greenhouse gas emissions from soil. Process descriptions of the ANIMO4.1 model. Wageningen, Alterra, Report in prep.
- Groenendijk, P., L.V. Renaud, E.M.P.M. van Boekel, C. van der Salm en O.F. Schoumans, 2013. Voorbereiding STONE2.4 op berekeningen voor de Evaluatie Meststoffenwet 2012. Wageningen, Alterra, rapport in druk.
- Hoogland T., H.T.L. Massop en R. Visschers, 2010. Representativiteit van de locatie Loon op Zand in het bufferstrokenonderzoek. Wageningen, Alterra, Rapport 2037.
- Noij, I.G.A.M., M. Heinen en P. Groenendijk, 2012. Effectiveness of non-fertilized buffer strips in the Netherlands : final report of a combined field, model and cost-effectiveness study. Wageningen, Alterra, Rapport 2290.
- Stuyt, L.C.P.M., P.J.T. van Bakel, W. van Dijk, W.J.M. de Groot, J. van Kleef, I.G.A.M. Noij, J.R. van der Schoot, A. van den Toorn en R. Visschers, 2009. Samengestelde, regelbare drainage in Nederland. Voortgangsrapport 1 – december 2009. Wageningen, Alterra, Intern rapport.
http://www.kennisakker.nl/files/Kennisdocument/Alterra_5235044_Regelbare_Drainage_2009.PDF
- Stuyt, L.C.P.M., F.J.E. van der Bolt, W.B. Snellen, P. Groenendijk, P.N.M. schipper en J. Harmsen, 2012. Meer water met regelbare drainage? Werking, praktijkervaringen, kansen en risico's. Amersfoort, Stichting toegepast onderzoek waterbeheer, STOWA-rapport 2012-33.
- Van Bakel, P.J.T., E.M.P.M. van Boekel en I.G.A.M. Noij, 2008. Modelonderzoek naar effecten van conventionele en samengestelde, regelbare drainage op de hydrologie en nutriëntenbelasting. Wageningen, Alterra, Rapport 1647.

- Van Dam, J.C., P. Groenendijk, R.F.A. Hendriks en J.G. Kroes, 2008. Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP. *Vadose Zone J.*, 7: 640 – 653.
- Van der Schoot, J.R., W. van Dijk en A. de Buck, 2010. Drainage tegen verdroging, diepe drainage te Ospel. Variabiliteit gewasopbrengsten en nutriëntenafvoer 2008 t/m 2010. Lelystad, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. Sector Akkerbouw, Groene ruimte en Vollegrondsgroenten. PPO nr. 3250059400.
- Van der Schoot, J.R. en A. de Buck, 2010. Drainage tegen verdroging, diepe drainage te Ospel. Variabiliteit gewasopbrengsten en nutriëntenafvoer 2008 t/m 2010. Lelystad, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. Sector Akkerbouw, Groene ruimte en Vollegrondsgroenten. PPO nr. 3250059400
- Wösten, J.H.M., G.;j. Veerman en J. Stolte. 1994. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 1994. Wageningen, SC-DLO, Technisch Document 18.
- Bakel, P.J.T. van, E.M.P.M. van Boekel en G.J. Noij, 2008. Modelonderzoek naar effecten van conventionele en samengestelde, regelbare drainage op de hydrologie en nutriëntenhuishouding. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1647.
- Groenendijk, P., L.V. Renaud en J. Roelsma, 2005. Prediction of Nitrogen and Phosphorus leaching to groundwater and surface waters; Process descriptions of the Animo4.0 model. Wageningen, Alterra, Alterra-Report 983.
- Noij, I.G.A.M., M. Heinen en P. Groenendijk, 2012. Effectiveness of non-fertilized buffer strips in the Netherlands. Final report of a combined field, model and cost-effectiveness study. Wageningen, Alterra, Alterra report 2290.
- Schoot, J.R. van der, W. van Dijk en A. de Buck, 2010. Drainage tegen verdroging, diepe drainage te Ospel. Variabiliteit gewasopbrengsten en nutriëntenafvoer 2008 t/m 2010. Lelystad, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. Sector Akkerbouw, Groene ruimte en Vollegrondsgroenten. PPO nr. 3250059400.
- Schoot, J.R. van der en A. de Buck, 2010. Drainage tegen verdroging, diepe drainage te Ospel. Variabiliteit gewasopbrengsten en nutriëntenafvoer 2008 t/m 2010. Lelystad, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. Sector Akkerbouw, Groene ruimte en Vollegrondsgroenten. PPO nr. 3250059400
- Van Dam, J.C., P. Groenendijk, R.F.A. Hendriks en J.G. Kroes, 2008. Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP. *Vadose Zone J.*, Vol.7, No.2, p. 640 – 653.

13 Waterconservering en infiltratie via regelbare drainage (2010-2012)

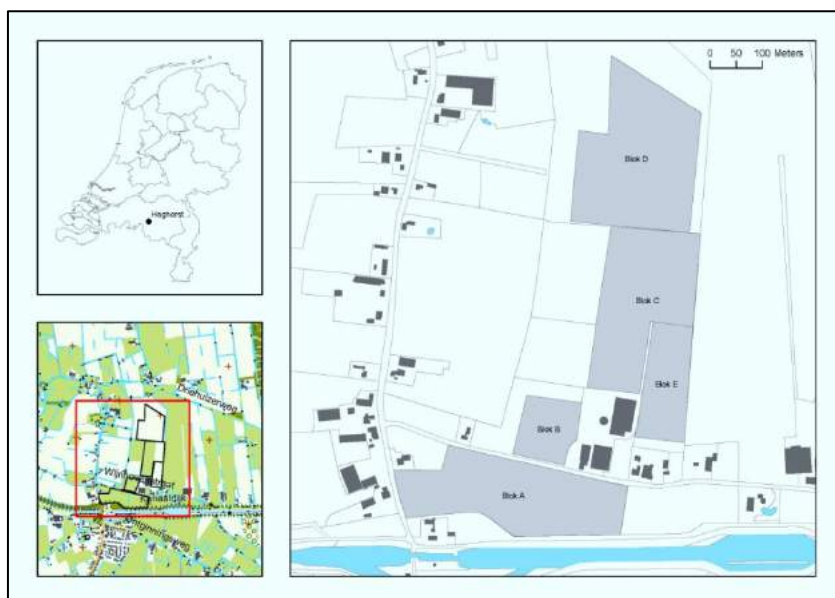
Samenvatting: L.C.P.M. Stuyt

Auteur(s)⁵¹: A.J. de Buck, L.C.P.M. Stuyt en J.R. van der Schoot

Jaar van publicatie: 2012

Titel publicatie: Waterconservering en infiltratie via samengestelde drainage. Praktijkproef 2010 en 2011

Gepubliceerd als/in: In voorbereiding; Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR; Business Unit Akkerbouw, Groene ruimte en Vollegrondsgroenten



Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR
Business Unit Akkerbouw, Groene ruimte en Vollegrondsgroenten

Adres : Edelhertweg 1, 8219 PH Lelystad
: Postbus 430, 8200 AK Lelystad
Tel. : 0320 291 111
Fax : 0320 230 479
E-mail : janrinze.vanderschoot@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

⁵¹ In paragraaf 13.9 (pagina 252) doet A. van der Schoot (Provincie Zeeland) verslag van een infiltratieproef, via buisdrainage, op een kleiperceel te Schoondijke (Zeeuws Vlaanderen)

13.1 Samenvatting

De afgelopen decennia is op grote schaal buisdrainage aangelegd voor de ontwatering van landbouwpercelen. Dit heeft geleid tot een drastische vermindering van de wateroverlast, maar ook tot meer watertekorten in droge perioden. De laatste jaren krijgt (samengestelde) regelbare drainage steeds meer belangstelling van agrarisch ondernemers en waterschappen. Met dit systeem kan de ondernemer zelf de ontwateringsbasis op zijn percelen instellen en zo het neerslagoverschot in de winter niet geheel afvoeren, maar deels gebruiken voor hogere grondwaterstanden in de zomer. Dit conserveren van water is ook in het belang van de waterschappen.

Het vasthouden van water door regelbare drainage werkt echter niet in alle gevallen. Het systeem zou een grote meerwaarde krijgen wanneer het gebruikt kan worden voor de infiltratie van water. Hiervoor kan water worden ingebracht in de regelputten of controleputten die met de drainbuizen verbonden zijn. Op deze manier wordt ondergronds geïrrigeerd - *subirrigation* - waarmee verdampingsverliezen door bovengrondse irrigatie of beregening wordt voorkomen. Belangrijke vragen zijn of de infiltratie zodanig plaatsvindt dat het leidt tot een regelmatige verdeling binnen het perceel, en in hoeverre het geïnfiltreerde water de wortelzone bereikt. Infiltratie via samengestelde drainage is onderzocht op het melkveebedrijf van Dhr. Vermeer te Haghorst. Op het bedrijf van 30 ha is in april 2010 een systeem van samengestelde regelbare drainage met mogelijkheid tot infiltratie aangelegd. Voor de infiltratie is een passieve waterinlaat, gebaseerd op hevelwerking, aangelegd vanaf het naburige Wilhelminakanaal.

De praktijkproef is uitgevoerd in 2010 en 2011, waarvan alleen het laatste jaar een voor analyse geschikte dataset heeft opgeleverd. Het infiltratiebeheer was in handen van dhr. Vermeer. De bedoeling is in de winter een zo hoog mogelijk peil te hanteren zonder dat onaanvaardbare structuurschade optreedt, en gedurende het groeiseizoen water via het drainagesysteem te infiltreren. Vanuit de projectgroep heeft advies en begeleiding plaatsgevonden en zijn metingen uitgevoerd, onder meer naar waterpeilen in de controleputten in het drainagesysteem en grondwaterstanden. De teelthandelingen, gewasgroei en uiteindelijke opbrengst van de gewassen (overwegend snijmais en gras, in 2010 bovendien korrelmais en aardappelen) zijn gemonitord. Er zijn ook neerslaggegevens verzameld.

Het voorjaar en het begin van de zomer 2011 zijn tamelijk droog verlopen. Na een intensieve bui, medio juli, is gedurende de rest van de zomer meer neerslag gevallen. De maïs heeft het hele seizoen goed gegroeid, stond egaal over het hele perceel en had een goede opbrengst. Vanwege dreigend vochttekort is medio juni een deel van het perceel beregend. Het in het voorjaar ingezaaide gras is in de eerste helft van mei twee maal beregend met 22 mm. Het beheer bestond uit standweiden en twee keer maaien. Midden in de zomer groeide het gras matig en werd het onder natte omstandigheden geel.

De complexiteit van het aangelegde systeem maakt de interpretatie van metingen en het vertalen van de conclusies uit de proef naar algemeen geldende conclusies over ondergrondse infiltratie erg lastig. De resultaten van de praktijkproef geven een eerste indicatie van de werking van het drainagesysteem en onvolkomenheden daarin. Uit de metingen is niet vast komen te staan dat het ingelaten water uit het kanaal leidt tot hogere grondwaterstanden in droge perioden. De start van de infiltratie in het voorjaar van 2011 resulteert niet in een stijging van waterstanden in de putten en stijging van het grondwater. Het is echter mogelijk dat het waterpeil zonder infiltratie, vanwege het droge voorjaar nog verder was weggezakt. Dit wordt ondersteund door de waarneming dat de stijghoogtes in de putten en de grondwaterstanden afnemen zodra de infiltratie wordt stopgezet. Infiltratie heeft niet kunnen voorkomen dat aanvullende beregening noodzakelijk was.

Het infiltratiewater kan vanwege het ontwerp van het drainagesysteem niet of nauwelijks verdeeld worden over de verschillende blokken. Op grond van de continu gemeten waterstanden in de putten lijkt het ingelaten water

niet altijd op alle punten door te stromen zoals bedoeld. Het infiltratiewater bereikt daardoor niet altijd het meest benedenstrooms gelegen deel van het bedrijf.

13.2 Achtergrond

De afgelopen decennia is op grote schaal buisdrainage aangelegd voor de ontwatering van landbouwpercelen. De ontwatering is daardoor weliswaar sterk verbeterd, maar dit heeft ook gezorgd voor een daling van de grondwaterstand. Dit leidt voor de landbouw weer tot watertekorten in droge perioden en lokaal tot verdroging van aangrenzende natuurgebieden. Waar dit mogelijk is en wordt toegestaan kunnen gewassen middels beregening van water te voorzien, waardoor de verdroging van natuurgebieden verder toeneemt. Voor de water- en terreinbeheerders is het beter vasthouden van water (waterconservering) in landbouwpercelen daarom een belangrijk onderwerp. Ook voor de landbouw kan dit voordelen opleveren omdat er minder hoeft te worden beregend of, indien dat niet mogelijk is, er minder risico's zijn voor opbrengstverlies.

Waterconservering is o.a. mogelijk via (samengestelde) regelbare drainage. Bij dit systeem wordt een hoger peil gehanteerd dan bij conventionele drainage waardoor er meer water in het perceel wordt vastgehouden. Op verschillende plaatsen in Zuid-Nederland wordt inmiddels onderzoek uitgevoerd naar mogelijke voordelen van deze manier van draineren.

In droge periodes biedt het systeem ook goede mogelijkheden voor infiltratie. In vergelijking met bovengrondse beregening wordt in theorie efficiënter omgegaan met water omdat er geen rechtstreekse verdampingsverliezen plaatsvinden. Daarnaast bespaart het de gebruiker arbeid omdat waterinlaat op een beperkt aantal plaatsen plaatsvindt en hij/zij niet meer een beregeningsinstallatie hoeft te verplaatsen over het bedrijf. Infiltratie is mogelijk door water in te laten in een systeem van samengestelde drainage. In de verzamelput, waarin de afvoersituatie het peil van de aangesloten drains wordt ingesteld, wordt dan water ingelaten door bijvoorbeeld opgepompt slootwater of grondwater. Belangrijke vragen zijn of de infiltratie zodanig plaatsvindt dat het leidt tot een regelmatige verdeling binnen het perceel en in hoeverre het geïnfiltreerde water de wortelzone bereikt.

Doel en afbakening

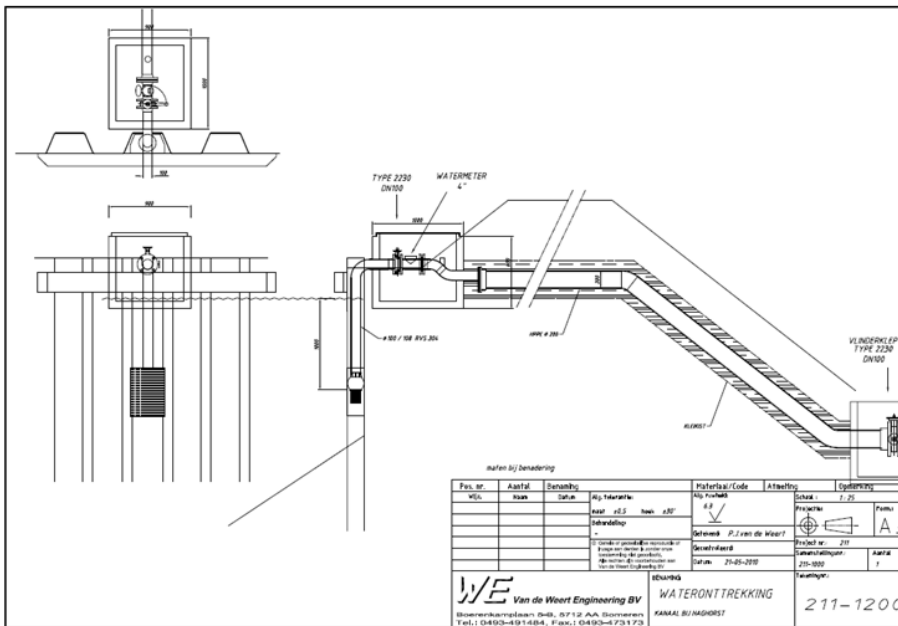
Het onderzoek kent de volgende doelen:

- Welke peilen kunnen worden gehanteerd zonder dat sprake is van landbouwkundige nadelen?
- Nagaan in hoeverre infiltratie via het systeem van samengestelde drainage werkt voor de watervoorziening van landbouwgewassen. Belangrijke vragen hierbij zijn:
 - Is het mogelijk om op deze manier het waterpeil in de percelen te verhogen en hoe verdeelt het water zich binnen het perceel?
 - Leidt dit hogere peil tot meer water in de wortelzone en hoe is de verdeling binnen het perceel?
 - Welk beheer is toegepast; op grond van welke informatie zijn welke beslissingen genomen?
- Kan met dit systeem water worden vastgehouden?
- Welke voordeel biedt het systeem bedrijfstechnisch, in vergelijking met bovengrondse beregening?
- De focus ligt bij de mogelijkheden van *infiltratie* van water in landbouwpercelen via het systeem van samengestelde drainage (de effecten van samengestelde regelbare drainage in het algemeen worden al onderzocht in andere lopende projecten).
- Het onderzoek beperkt zich tot het monitoren van de *waterkwantiteit*, er worden geen metingen verricht met betrekking tot waterkwaliteit.
- Het onderzoek vindt plaats in een praktijksituatie; de nadruk ligt op 'het demonstreren dat het systeem werkt'; de opzet en de beperkte middelen laten een volledige wetenschappelijke verantwoording van het experiment niet toe.

13.3 Beschrijving van het drainage/infiltratiesysteem

Gebruiksdoel van het systeem

Infiltratie via het samengestelde drainagesysteem is onderzocht op het bedrijf van Vermeer, Wijnhovenstraat 5 te Haghorst. Dit bedrijf is onlangs verkaveld waardoor er een aaneengesloten perceel van 25 ha achter het bedrijf is ontstaan en 5 ha aan de overzijde van de weg. De ondernemer heeft april 2010 beide percelen laten draineren met het systeem van samengestelde regelbare drainage met de mogelijkheid tot infiltratie, ofwel subirrigatie, in droge perioden. De ondernemer, dhr. Van Iersel en de dhr. Rutten (Drainagebedrijf Rutten) hebben een drainagesysteem ontworpen en aangelegd waarbij de mogelijkheden voor infiltratie zijn betrokken. Wageningen UR (Alterra en PPO) zijn in deze fase niet betrokken geweest. Voor infiltratie is een waterinlaat vanaf het naburige Wilhelminakanaal gerealiseerd; zie Figuur 112.



Figuur 112
Ontwerp inlaatwerk (hevel) voor de infiltratieproef 'Vermeer' te Haghorst.

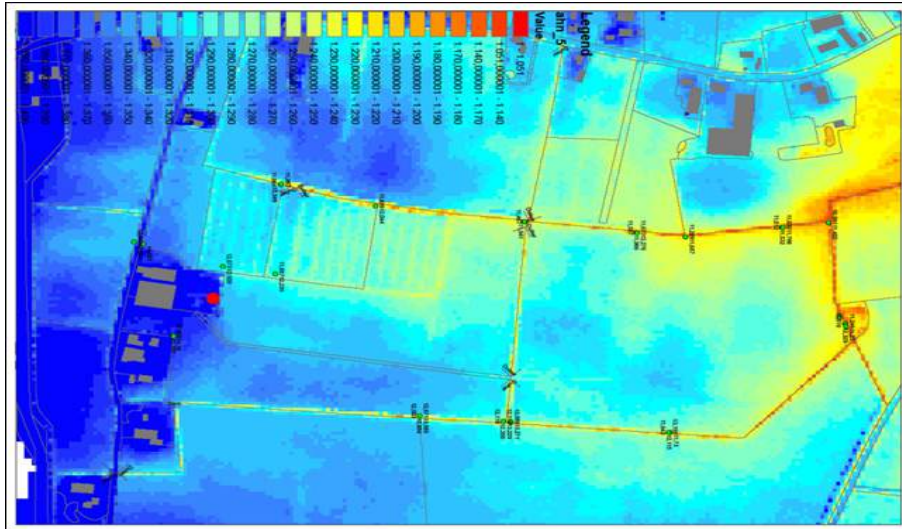
Deze overlaat is een 'passief' systeem, dit betekent dat door hevelwerking, zonder tussenkomst van een pomp, water van het hogergelegen waterpeil in het kanaal stroomt naar de lageregelegen ontwateringsbasis van de percelen direct grenzend aan het kanaal. Hierdoor wordt wateraanvoeraanvoer voor infiltratie vanuit oppervlaktewater en grondwater (uit de grondwaterput) overbodig. De overlaat is half juli geïnstalleerd; daarmee is de infiltratie veel later gestart dan wenselijk is (in het voorjaar na de gewasbewerkingen omstreeks eind april - begin mei). Dit had vooral te maken met het afgeven van een vergunning door Rijkswaterstaat. Het perceel aan de overzijde van het bedrijf, grenzend aan het kanaal, heeft een onderbemaling vanwege kwel vanuit het kanaal, deze is komen te vervallen. Het kwelwater kan mede worden benut voor de subirrigatie via drainbuizen.

In deze praktijkproef is het infiltratiebeheer in handen van dhr. Vermeer. De bedoeling is in de winter een zo hoog mogelijk peil te hanteren zonder dat onaanvaardbare structuurschade optreedt, en gedurende het groeiseizoen water te infiltreren via het drainagesysteem. Vanuit de projectgroep heeft advies en begeleiding

plaatsgevonden en zijn metingen uitgevoerd, onder meer naar waterpeilen in de controleputten in het drainagesysteem en grondwaterstanden.

Configuratie en ontwerp van het drainage/infiltratiesysteem

Het systeem is opgebouwd uit zeventien gedraineerde percelen, hier 'Blokken' genoemd. De hoogteligging van het maaiveld van deze percelen is weergegeven in Figuur 113.



Figuur 113

Maaiveldhoogteligging van de percelen van Dhr. Vermeer (bron: waterschap de Dommel).

Het aangelegde drainage-infiltratiesysteem bestaat uit twee gedeelten: een westelijk gelegen deel waar infiltratie van oppervlaktewater onmogelijk is en een oostelijk gelegen deel waar wel geïnfiltreerd kan worden (zie Figuur 114). In vijf blokken is infiltratie mogelijk; deze blokken beslaan circa 65% van de perceelsoppervlakte van het bedrijf. Infiltratie is onmogelijk via de westelijke gelegen drainagesystemen (Figuur 116).

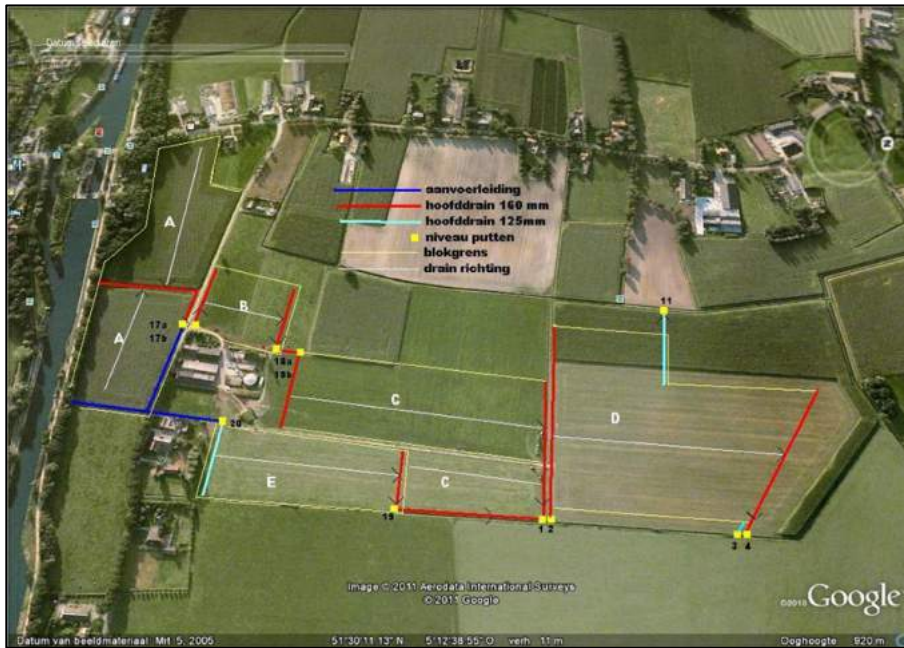
Een aantal kenmerken van de te infiltreren blokken zijn te vinden in Tabel 33. Alle verzameldrains ('collector drains') zijn geperforeerd; er zijn twee diameters toegepast. De instelmogelijkheden zijn steeds aangegeven in cm-maaiveld (-mv) t.o.v. het 10% laagst gelegen gedeelte van het perceel. Dat wil zeggen: die maaiveldhoogte waarvoor geldt dat slechts 10% van het bewuste perceel lager ligt (en dus 90% hoger).

Het beheer is erop gericht om de gemiddelde grondwaterstand in de blokken op 40 cm -mv te houden door de uitstroomopening in de put op 45 cm -mv in te stellen. In het voor- en najaar worden de putten op 60 cm -mv ingesteld om activiteiten als grondbewerking, bemesten, zaaien en oogsten te vergemakkelijken. Na deze bewerkingen wordt aan het begin van het groeiseizoen met infiltratie gestart om de gemiddelde grondwaterstand in de percelen weer op circa -40 cm te krijgen.

Tabel 33

Kenmerkende eigenschappen van de drainageblokken van het drainage-infiltratiesysteem 'Vermeer'.

#	Blok	meten		drainage	Infiltratie	drain Ø (mm)	filter	drain-diepte (cm)	drain-afstand (m)	afschot (helling) (%)	verzamel-drain Ø (mm)	put bovenstrooms		put benedenstrooms	
		grondwaterstand	verzamel-drain									#	NAP	#	NAP
1	A			*	*	60	PP450	85-95	6	5	160	17a	12,70	-	-
2	B		18a	*	*	60	PP450	85-95	6	10	160	17b	12,84	18a	12,08
3	C	*	1, 18b	*	*	60	PP450	85-95	6	5	160	18b	11,69	1	12,12
4	D	*	2, 4	*	*	60	PP450	85-95	6	4	160	2	11,70	4	11,73
5	E	*	20, 19	*	*	60	PP450	85-95	7	7	125, 160	20	kanaal	19	12,00
6	F			*	*	60	PP450	85-95	6	5	125	-	-	3	12,12
7	G			*	*	60	PP450	85-95	5	5	125	-	-	5	11,56
8	H			*	*	60	PP450	85-95	6	5	125	-	-	6	11,82
9	I			*	*	60	PP450	85-95	6	5	125	-	-	7	11,40
10	J	*		*	*	60	PP450	85-95	6	5	125	-	-	8	11,77
11	K			*	*	60	PP450	85-95	6	5	125	-	-	9	11,53
12	L			*	*	60	PP450	85-95	6	5	125	-	-	10	11,69
13	M			*	*	60	PP450	85-95	6	5	125	-	-	12	11,97
14	N			*	*	60	PP450	85-95	6	5	125	-	-	14	11,76
15	O			*	*	60	PP450	85-95	6	5	125	-	-	13	11,94
16	P			*	*	60	PP450	85-95	6	5	125	-	-	15	12,04
17	Q			*	*	60	PP450	85-95	6	5	125	-	-	16	12,35



Figuur 114

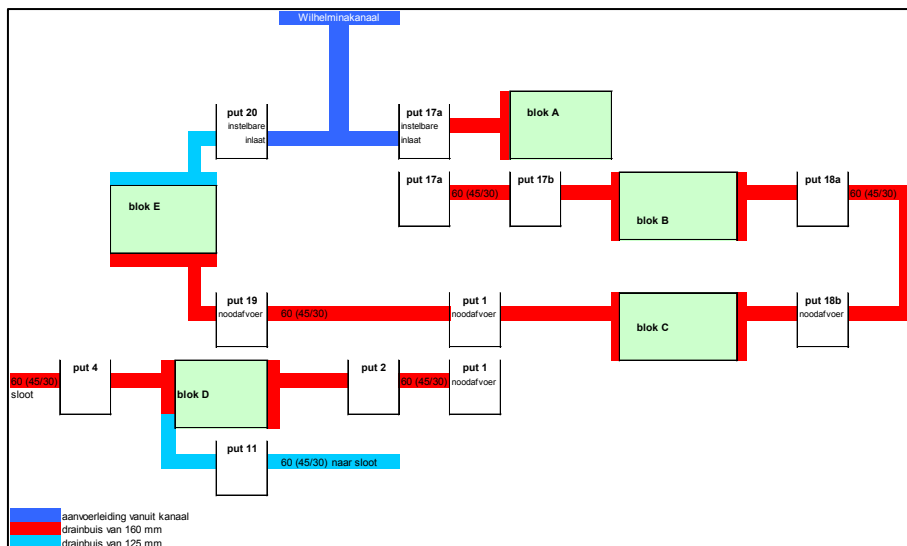
Overzicht van het bedrijf van Vermeer te Haghorst (N-Br.) met de te infiltreren drainageblokken A t/m E en niveauputten. De pijlen geven het verhang c.q. de stroomrichting aan in bij infiltratie. Via de aanvoerleiding (blauw) is inlaat uit het Wilhelminakanaal (links) mogelijk.



Figuur 115

Westelijk gelegen drainagesystemen zonder mogelijkheid tot infiltratie op percelen van Vermeer.

Globaal stroomt bij infiltratie het water van links (zuid; het Wilhelminakanaal) naar rechts (noord) van het bedrijf. Vanuit het Wilhelminakanaal kan met een overlaat water in het samengestelde drainage systeem worden ingelaten via de putten 20 en/of 17a; zie . Beide putten zijn voorzien van een afsluiter die, al naargelang de momentane waterbehoefte, gedeeltelijk geopend of gesloten kunnen worden. Figuur 116 toont het stroomschema door de diverse blokken en regelputten van het infiltratie / drainagesysteem bij infiltratie



Figuur 116

Stroomschema bij infiltratie door het infiltratie/drainagesysteem bij Vermeer door de blokken A t/m E en de diverse regelputten.

Infiltratie via put 20: de 'oostelijke' route

Via put 20 stroomt het water door blok E naar put 19. De grondwaterstand in blok E wordt in put 19 'benedenstrooms' ingesteld, met als instelmogelijkheden 60, 45 of 30 cm m -mv. Het aangevoerde water stroomt vervolgens via een gesloten buisleiding langs de oostelijke begrenzing van het perceel naar put 1. De grondwaterstand in blok C wordt in put 1 'benedenstrooms' ingesteld, met als instelmogelijkheden 60, 45 of 30 cm m -mv. Het infiltratiewater dat blok E heeft gepasseerd kan dus ook 'via de achterdeur' in blok C worden geïnfiltreerd, of via put 2 worden doorgestuurd naar blok D. Omdat blok C vaak natte plekken vertoont, heeft put 1 een noodafvoermogelijkheid naar de nabijgelegen perceelsloot.

Infiltratie via put 17a: de 'westelijke' route

Via put 17a wordt water in blok A ingelaten. Dit blok kent nog een andere belangrijke aanvoerpost, namelijk in de vorm van kwel vanuit het kanaal. In put 17a wordt het peil in blok A geregeld met als instelmogelijkheden 60, 45 of 30 cm m -mv. Het infiltratiewater stroomt tegelijkertijd naar put 17b, en vervolgens via een verzameldrain door blok B. Het niveau in blok B wordt geregeld in put 18a, met als instelmogelijkheden 60, 45 of 30 cm m -mv. Put 18a loost het er binnenkomende water op put 18b. Het in blok B gestroomde, maar nog niet geïnfiltreerde water stroomt via de putten 18a en 18b en een verzameldrain naar blok C. De gemiddelde grondwaterstand in blok C wordt 'benedenstrooms' geregeld in put 1, met als instelmogelijkheden 60, 45 of 30 cm m -mv. In het noordelijke deel van blok C komt het infiltratiewater dat blok C via put 18b is binnengestroomd infiltratiewater tegen dat blok C via put 1 is binnengestroomd.

'Ergens' in blok C zal infiltratiewater, afkomstig van put 18a, infiltratiewater 'tegenkomen' dat afkomstig is van put 1. Afhankelijk van de putinstellingen bevindt zich in blok C een 'waterscheiding'. Put 18b heeft een noodafvoermogelijkheid naar de nabijgelegen perceelsloot. Deze sloot is via een ingegraven buis aangesloten op de perceelsloot die de percelen aan de westzijde begrenst. Overtollig water kan via deze sloot in noordelijke richting worden afgevoerd, waarna het in een sloot van het waterschap belandt. Put 1 loost een deel van het infiltratiewater op put 2, waarna blok D via een verzameldrain van water wordt voorzien. Put 1 heeft een noodafvoermogelijkheid naar de nabijgelegen perceelsloot die de oostelijke perceelsbegrenzing vormt. Drains in blok D komen via verzameldrains uit in twee putten (4 en 11) met als instelmogelijkheden 60, 45 of 30 cm m -mv. Deze putten lozen op nabijgelegen sloten.

Blokken F t/m Q vormen een afzonderlijk systeem en zijn niet ontworpen op infiltratie. Draineur H. Rutten noemt als redenen de relatief lage maaiveldligging en kostenoverwegingen. De instelmogelijkheden zijn veelal 60, 45 of 30 cm m -mv. Blok G en I zijn standaard ingesteld op 50 cm -mv. Draineur H. Rutten stelt dat water vanuit geïnfiltreerde hoger gelegen percelen naar deze blokken kan 'uitzakken'.

13.4 Opzet monitoring

Monitoring waterinlaat en waterverdeling

Om de werking van het systeem te kunnen evalueren is nagegaan hoeveel water in het systeem wordt gebracht, en hoe dit zich op het perceel verdeelt. De inlaat via de hevel vanuit het Wilhelminakanaal is gemeten met een debietmeter. Deze is tenminste bij het begin en aan het einde van het infiltratieseizoen afgelezen. De waterverdeling binnen het perceel is gemonitord met grondwaterpeilbuizen op vier percelen op verschillende afstanden tot de waterinlaat. Hierdoor worden eventuele verschillen in infiltratie zichtbaar tussen dichtbij en verderaf gelegen percelen. Er is geen nul-situatie (zonder infiltratie) of een object met bovengrondse beregening aangelegd.

Op elk bemeten perceel is midden tussen twee drainbuizen een grondwaterstandspeilbuis geplaatst. Zij zijn voorzien van automatische loggers die de grondwaterstand nagenoeg continu registreren. De ondernemer kan de werking van het drainagesysteem controleren door het opnemen van stroming en waterhoogtes in een

aantal putten. Voor de situatie van infiltratie wordt de relatie tussen de hoeveelheid ingelaten water en het waterpeil in de percelen met peilbuizen geanalyseerd. Zowel grasland als maïspancelen worden gemonitord. Voor elke bewerking worden de bovenste delen van de buizen verwijderd en kort daarna weer herplaatst.

Aanvullend is in 2011 een bodemonderzoek (nutriënten) uitgevoerd in een perceel gras, omdat pleksgewijs de groei leek achter te blijven. Dit zou het gevolg kunnen zijn van wateroverlast of een gebrek aan nutriënten of een combinatie van deze twee factoren.

Monitoring bedrijfsvoering en gewas

De ondernemer houdt een logboek bij, waarin zaken rond de vochtvoorziening en gewasmanagement worden opgetekend (zoals optreden van droogte, waterinlaat, maaidata en opbrengsten. Daarin worden tevens zijn ervaringen met het beheer van het systeem vastgelegd. Daarnaast zijn (infrarood) satellietfoto's van de percelen geanalyseerd. Hiermee wordt een beeld gekregen van de variatie van gewasgroei binnen de percelen. Een belangrijke oorzaak van variatie in gewasgroei is namelijk vochttekort. De verwachting is dat het vochttekort wordt beperkt door het toegepaste systeem van infiltratie en het beheer ervan. De gegevens over de gewasgroei en -opbrengst worden gerelateerd aan de bovengenoemde metingen van waterpeilen en -potentialen in de betreffende percelen.

De gewasvariatie wordt in beeld gebracht met satellietbeelden van de lichtreflectie. Gezonde vegetatie absorbeert het meeste van het zichtbare licht voor de fotosynthese en reflecteert een groot deel van het infrarode licht. Een niet groeiende vegetatie of een geringe vegetatie reflecteert meer zichtbaar licht en minder infrarood licht. Met deze gemeten waarden kan de vegetatie-index (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) worden berekend volgens de formule:

$$NDVI = (IR - R) / (IR + R)$$

De gereflecteerde infraroodstraling (IR) neemt bij een grotere hoeveelheid vitaal gewas toe en resulteert dus in een grote waarde van NDVI en op de foto's weergegeven in een donkerder kleur lopend van rood, via geel, groen, blauw naar paars. Het is een momentopname voor de relatieve groei van het gewas. De kwantitatieve relatie tussen NDVI en de productie in kg/ha/dag is onbekend. Het zegt dus niets over de totale eindproductie; alleen kleurverschillen binnen dezelfde opname zijn relevant. Het is dan ook niet zinvol op basis van deze gegevens een uitspraak te doen over opbrengsten. De foto's geven wel informatie over de variatie in productie op het betreffende tijdstip in het perceel.

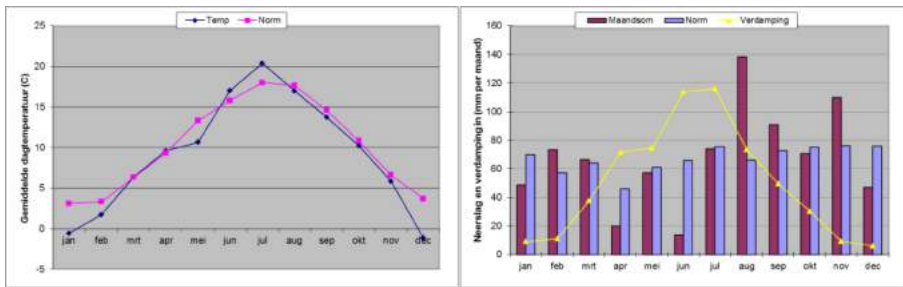
Met foto's verkregen via Basfood (www.mijnakker.nl) kan op perceelsniveau de NDVI in beeld worden gebracht. Een tijdsinterval van twee weken is voldoende om pleksgewijs verschillen in gewasgroei in beeld te brengen; opnames met een korter interval leveren veelal vergelijkbare informatie op. Elke twee weken zou een opname beschikbaar moeten zijn, maar door slechte weersomstandigheden (bewolking) is het niet altijd mogelijk een goede foto te krijgen. Perioden van twee maanden zonder goede beelden komen voor.

Weergegevens

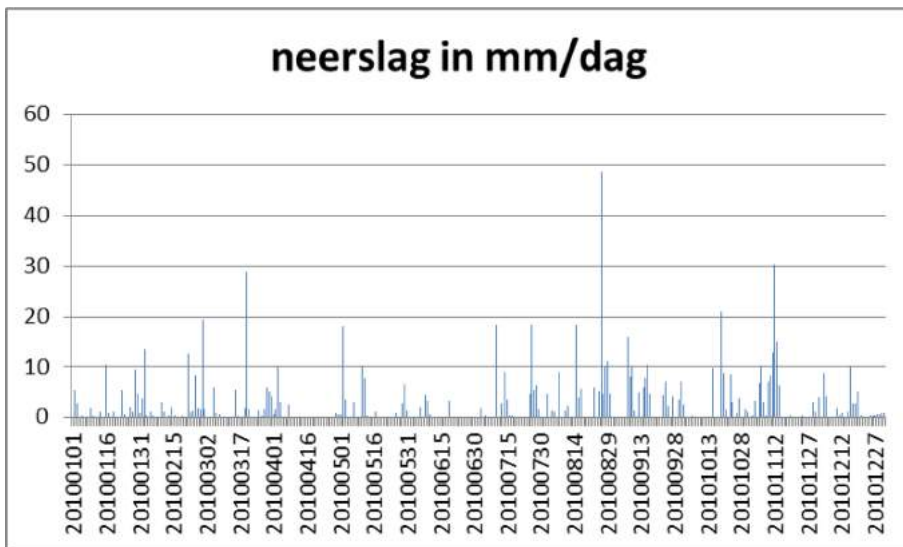
In dit hoofdstuk staan de neerslaggegevens. Deze worden later gebruikt bij het verklaren van teeltmaatregelen (peilbeheer, beregening en infiltratie) en de gemeten put- en grondwaterstanden.

Weergegevens 2010

In Figuur 117 zijn een aantal klimaatgegevens van het dichtstbijzijnde station Gilze-Rijen weergegeven. De gemiddelde dagtemperatuur, de maandsom van de neerslag en de maandsom van de referentiegewasverdamping (Makkink) zijn vermeld. In figuur 4.2 is het neerslagpatroon van het jaar 2010 weergegeven. De maanden april, juni en juli waren warmer dan normaal. Mei was kouder en de begingroei van de net gezaaide maïs ging niet vlot. In het voorjaar en een deel van de zomer viel veel minder neerslag dan normaal. In de maanden mei t/m augustus viel op totaal 7 dagen meer dan 10 mm neerslag (zie Figuur 117).



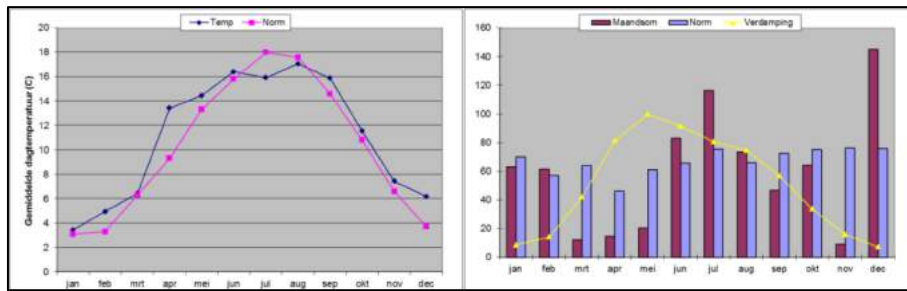
Figuur 117
Temperatuur, neerslaggegevens en verdamping Gilze-Rijen 2010.



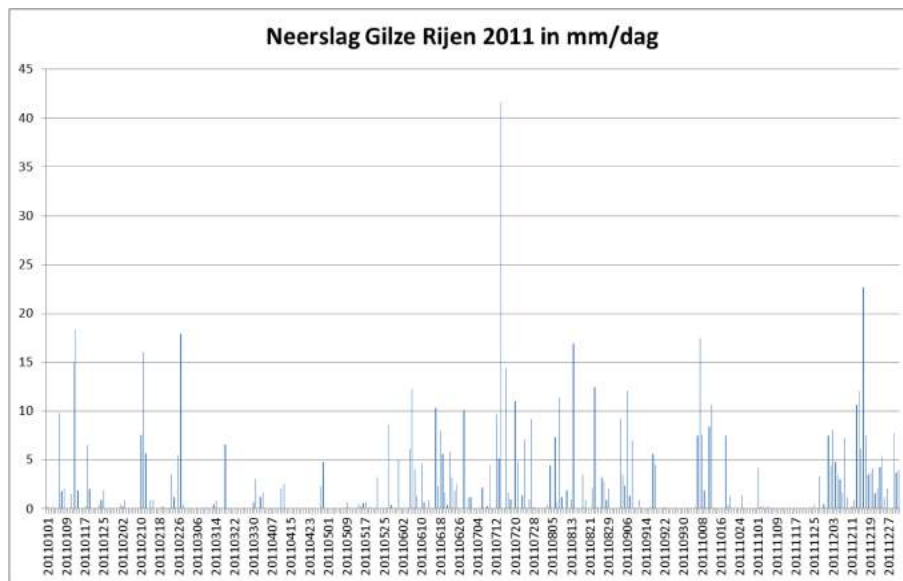
Figuur 118
Details van de neerslag in 2010.

Weergegevens 2011

In Figuur 119 zijn een aantal klimaatgegevens van het dichtstbijzijnde station Gilze-Rijen weergegeven van het jaar 2011. De gemiddelde dagtemperatuur, de maandsom neerslag en de maandsom van de referentiegewasverdamping (Makkink) zijn vermeld. In Figuur 120 is het neerslagpatroon van het jaar 2011 weergegeven. Vooral april 2011, maar ook mei en de nazomer waren warmer dan normaal. Juli was daarentegen veel kouder. In het voorjaar viel veel minder neerslag dan normaal. De maanden juni en vooral juli waren erg nat. De maanden april, juni en juli waren warmer dan normaal. Mei was kouder en de begingroei van de net gezaaide maïs ging niet vlot. In het voorjaar en een deel van de zomer viel veel minder neerslag dan normaal. Vanaf augustus viel gemiddeld een normale hoeveelheid neerslag. In de maanden mei t/m augustus viel op totaal zeven dagen meer dan 10 mm neerslag (Figuur 120).



Figuur 119
Temperatuur, neerslaggegevens en verdamping Gilze-Rijen 2011.



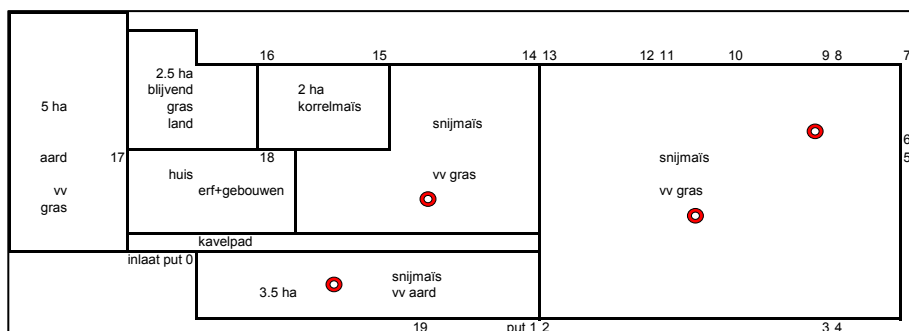
Figuur 120
Details van de neerslag in 2011.

13.5 Teelten en analyse gewasgroei en opbrengst

Agronomie 2010

Teelten

In Figuur 121 staan de in 2010 geteelde gewassen weergegeven. Het perceel voor het huis aan de linkerkant van de schematische tekening was in 2010 verhuurd en zijn er aardappels geteeld. In dit gedeelte wordt verder niet gemeten. Ook in de percelen naast het huis met 2,5 ha blijvend grasland en 2 ha korrelmaïs stonden geen peilbuizen. Op de rest van het bedrijf is snijmaïs geteeld op totaal 21,5 ha. Op een viertal plekken zijn peilbuizen geplaatst en is de grondwaterstand gemeten. In Figuur 121 zijn deze plekken met rode rondjes aangegeven. Op het perceel rechts van het kavelpad (links onderaan op de tekening van de inlaat put 0 tot aan put 1) met in 2010 snijmaïs, zijn in 2009 aardappelen geteeld. De rest van de in 2010 geteelde snijmaïs had grasland als voorvrucht.



Figuur 121

Schematische plattegrond bedrijf met gewassen 2010.

In het najaar waren er problemen met de waterafvoer op het perceel aan de linker kant van de boerderij (het grasland en het perceel maïs erachter tot put 14). De draineur Rutten heeft dit opgelost door een extra waterafvoer te maken en de afvoerhoogten van put 13,14,15 te verlagen. Volgens Vermeer lijkt het erop dat dit goed heeft geholpen.

Teeltuitvoering, gewasontwikkeling en opbrengsten

Door het slechte voorjaarsweer heeft de maïs een moeizame start gehad. Het voorjaar was droog en bij een gewashoogte van ca. 60 cm is de maïs beregend met 35 mm. De mogelijkheid te infiltreren was toen nog niet geïnstalleerd. Ondanks de verstoring van de bodem door de aanleg van de drainage groeide de maïs goed. De opbrengst van de snijmaïs was geschat op 20 ton droge stof per ha. Dit is erg goed te noemen. De opbrengst van de korrelmaïs is geschat op 15 ton, maar omdat vanwege de natte oogstomstandigheden de wagens niet vol konden worden geladen is deze schatting volgens Dhr. Vermeer niet nauwkeurig.

Volgens informatie van Dhr. Vermeer is op het perceel grasland standweiden toegepast (het perceel is het hele seizoen begraasd) en zijn er dus geen opbrengsten bekend. Het perceel met aardappelen had een gewone opbrengst. In vergelijking met de opbrengst op andere percelen met hetzelfde ras was de opbrengst goed te noemen. De opbrengst was om dezelfde reden als de korrelmaïs moeilijk te schatten.

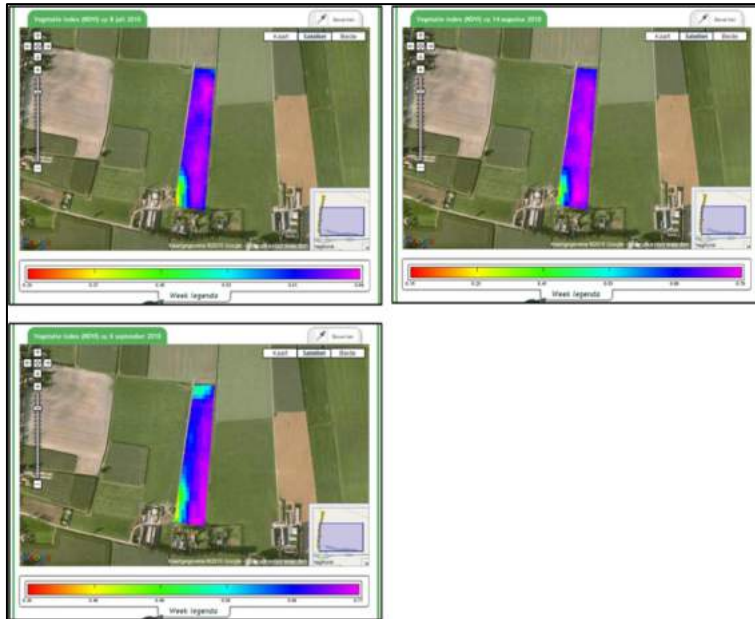
Infraroodopnames

Van de geslaagde satellietbeelden in 2010 van het bedrijf van Vermeer zijn hieronder de foto's van 8 juli, 14 augustus en 6 september weergegeven. Belangrijk om te vermelden is dat de schaal, en dus de kleur, per foto kan verschillen.

Het gewas groeide op 8 juli beduidend minder goed dan in augustus en september. Het perceel snijmaïs rechts van het kavelpad met als voorvrucht aardappel is afgebeeld op de foto's in Figuur 122. Op 8 juli groeide de linker beneden hoek (groen op de foto) duidelijk minder. Ook op de latere foto's is dat nog te zien. Over de lengte van het perceel vertoonde de rechterkant op alle drie de foto's een wat betere groei dan de linkerkant.

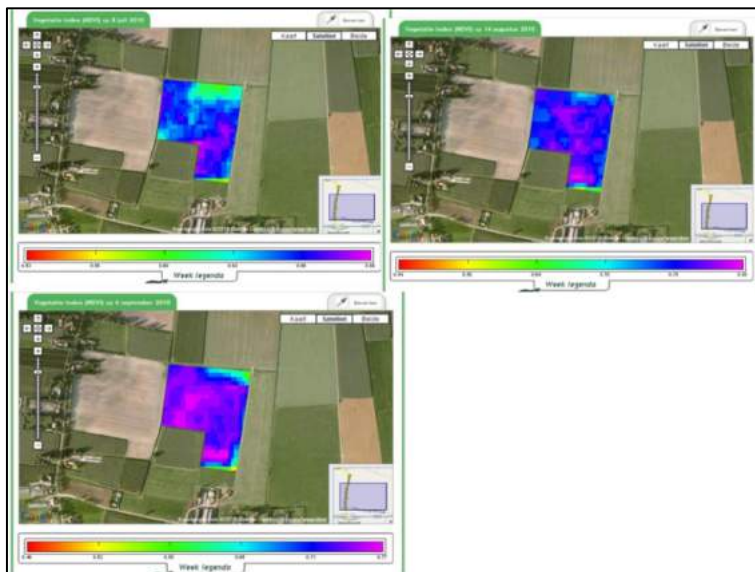
Het perceel snijmaïs met rechts blok C dat op put 1 afwaterde is te zien op de Figuur 123. Op 8 juli is een duidelijk slechter groeiende plek (groen) te zien achterop het perceel. Op de latere foto's is dit ook nog deels zichtbaar. Het perceel is verder behoorlijk regelmatig met vrij kleine groeiverschillen.

De satellietbeelden van het perceel achter op het bedrijf zijn te zien in de Figuur 124. Het perceel zag er op de drie de foto's vrij regelmatig uit, met op 8 juli een wat minder goed groeiend gedeelte midden bovenin. Op de volgende foto's liet deze zelfde plek steeds een iets betere groeiend gewas zien. Links in de figuren zijn de lager gelegen blokken M en K duidelijk zichtbaar met een minder groeiend gewas.



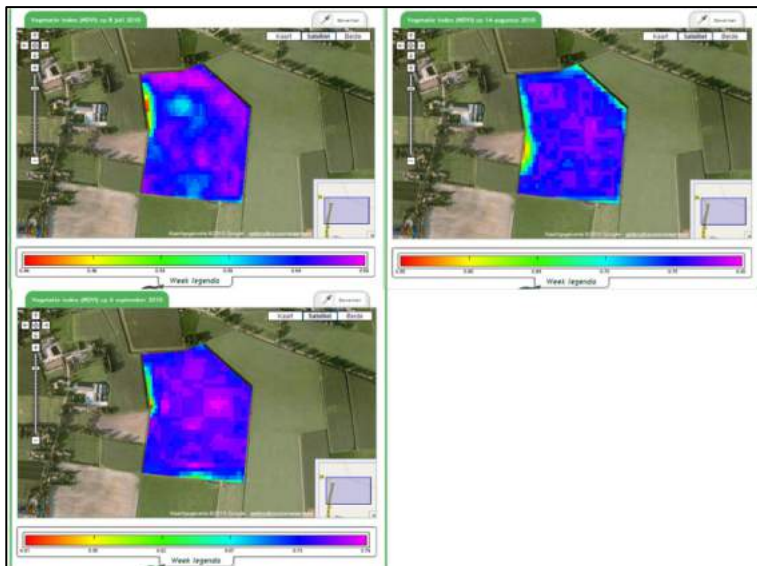
Figuur 122

NDVI als relatieve maat voor gewasgroei in Blok E en deel C (put 1 en 19), 8 juli, 14 augustus en 6 september 2010. De schaal verschilt per opnamedatum.



Figuur 123

NDVI als relatieve maat voor gewasgroei in Blok C (put 1) op 8 juli, 14 augustus en 6 september 2010. De schaal verschilt per opnamedatum.



Figuur 124

NDVI als relatieve maat voor gewasgroei in blok D en kleiner blokken (put 1 en 4) op 8 juli, 14 augustus en 6 september 2010. De schaal verschilt per opnamedatum.

Waarnemingen van de ondernemer

Zoals hiervoor aangegeven waren in 2010 de maanden april, juni en grotendeels juli droog. Infiltratie had kunnen helpen voorkomen dat het grondwater in het voorjaar zou wegzakken. De overlaat vanuit het kanaal is echter pas half juli geïnstalleerd. Dit had vooral te maken met het wachten op de vergunning van Rijkswaterstaat. Gedurende een periode van vier weken, van 19 juli tot 16 augustus, is een hoeveelheid water van 30 m³ per uur ingelaten. De waterstand in de putten ging inderdaad omhoog (meting Vermeer).

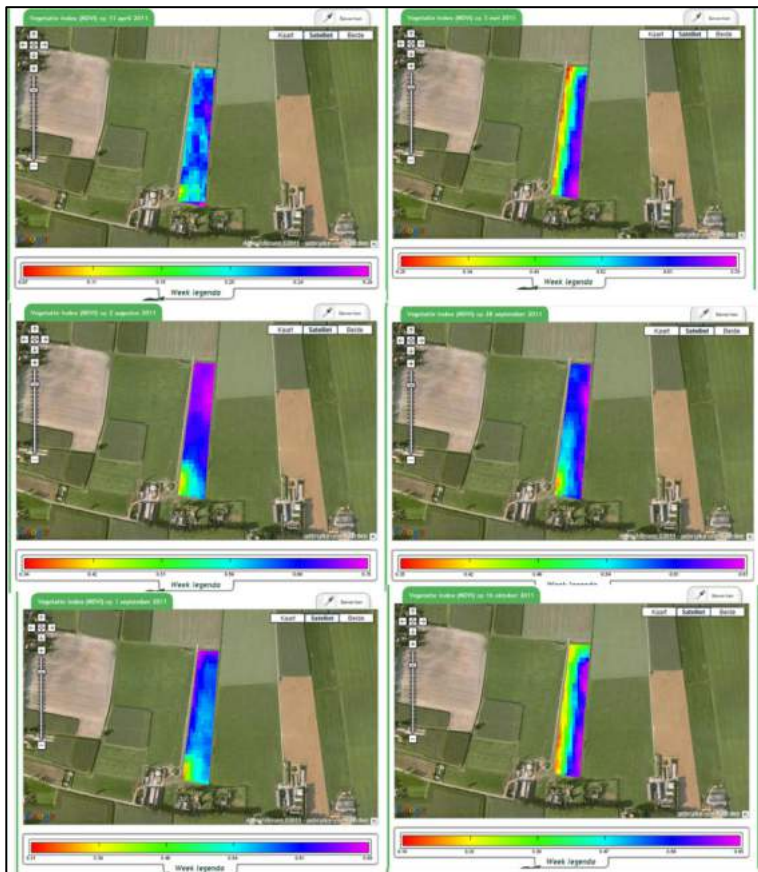
De peilbuizen zijn pas in augustus geïnstalleerd, zodat niet is te achterhalen hoe snel het grondwater in het voorjaar van 2010 is weggezakt. De verwachting is dat het infiltreren vooral een positief effect heeft als het grondwater op peil blijft en niet eerst wegzakt. Nadat het peil is weggezakt is het veel moeilijker het peil weer omhoog te krijgen en stroomt het misschien alleen maar door de drains of zijgt weg.

De ondernemer heeft waargenomen dat de maïs een moeilijk start heeft gehad door het slechte voorjaarsweer. Na de start werd het droog en is er een keer berekend toen de maïs ongeveer 60 cm hoog was. Ondanks de vele grondbewerking (draineren, egaliseren, sloot dempen) is de maïs volgens de ondernemer vervolgens mooi gelijkmatig over het perceel gegroeid. De opbrengst van de maïs volgens de loonwerker heel goed te noemen.

Volgens de ondernemer was de opbrengst van de aardappelen niet meer dan gemiddeld. Het geteelde ras Russet Burbank is een laat ras wat in augustus last van de hoge temperatuur heeft gehad. Volgens de loonwerker was dit perceel wel een van de best opbrengende in de omgeving.

De ondernemer nam waar dat door het infiltreren het waterpeil in de putten omhoog ging. De problemen in het najaar aan de linker kant van de boerderij (het grasland en het perceel maïs erachter tot put 13) zijn door de draineur de heer Harry Rutten opgelost door een extra water afvoer te maken en de afvoer- hoogtens van put 13, 14 en 15 te verlagen.

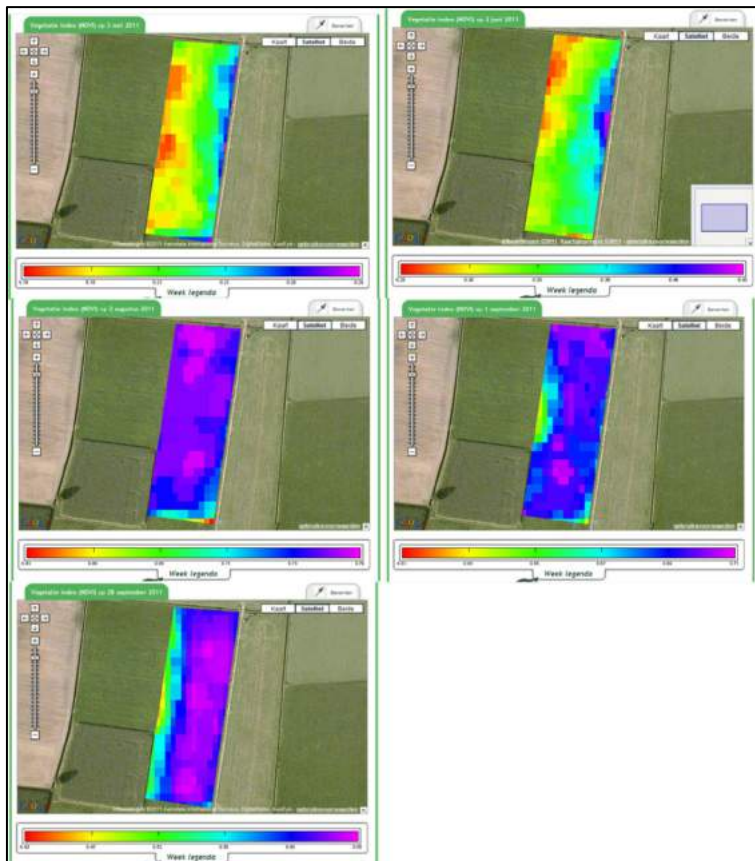
satellietbeelden te halen. De ondernemer zag eind juli een slechtere groei en vergeling van het gras in het grootste deel van het perceel, met uitzondering van het bovenste kwart en de randen langs de sloot. Op de foto van 2 augustus viel alleen het onderste gedeelte op met een duidelijk mindere groei. Op de foto's van 1 september en 28 september was dat ook nog goed zichtbaar. Linksonder in het perceel bevindt zich put 20 met de inlaat van het kanaalwater. Opvallend aan de laatste foto is dat deze sterk lijkt op de foto genomen op 3 mei, met een duidelijk slechtere groei van de linkerhelft van het perceel.



Figuur 126

NDVI als relatieve maat voor gewasgroei in blok E (put 19) en deel blok C (put 1) grasland op 11 april, 3 mei, 2 augustus, 1 september, 28 september en 16 oktober 2011. De schaal verschilt per opnamedatum.

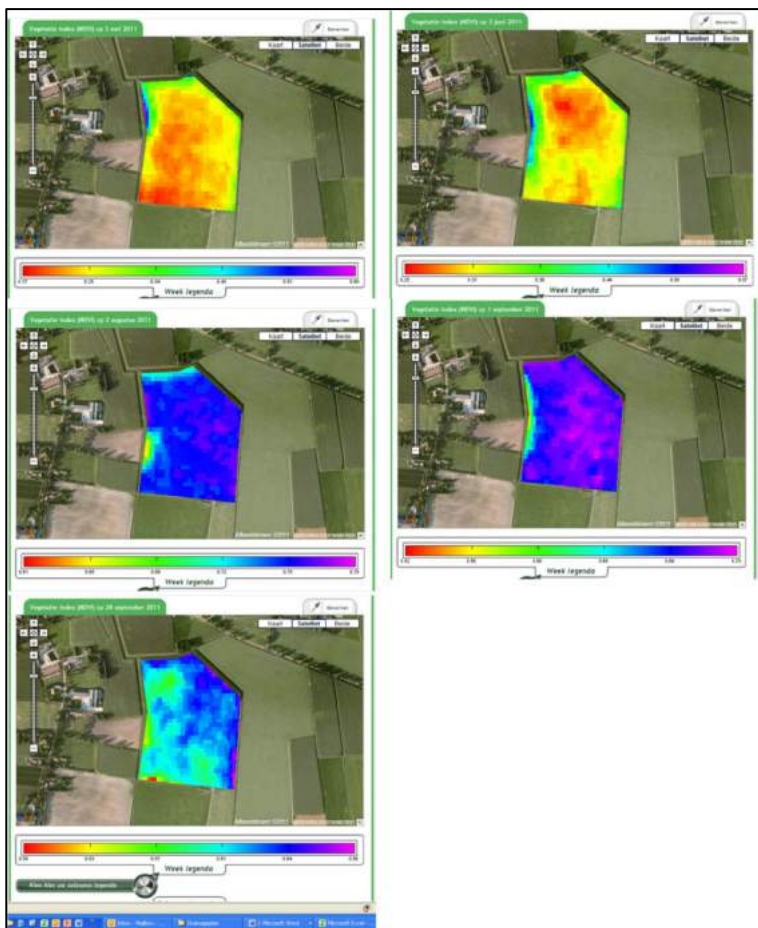
Op de foto's van blok C met snijmais dat afwaterde op put 1 is begin mei en begin juni zichtbaar dat de rechterhelft een sterkere groei vertoonde dan de linkerhelft (Figuur 127). In juni en juli waren helaas geen goede beelden beschikbaar. Begin augustus en begin september met een vrijwel volgroeid gewas zag het perceel er regelmatig uit. Eind september vlak voor de oogst van 2 oktober is te zien dat links in het perceel het gewas een lagere reflectie vertoonde, wat duidt op een eerdere afrijping.



Figuur 127

NDVI als relatieve maat voor gewasgroei in blok C (put 1) snijmaïs gemeten op 3 mei, 2 juni, 2 augustus, 1 september en 28 september 2011. De schaal verschilt per opnamedatum.

Het achterste blok D met ook de kleinere blokken G t/m M, welke geen deel uitmaakten van de infiltratie, is te zien in Figuur 128. De kleurverschillen toonden aan dat de groei begin mei (net na inzaai) en begin juni wat verschillend was in het perceel. De verschillen waren echter vrij klein en niet veel groter dan de verschillen in Blok C. De blauwe en groene vakjes aan de randen van het perceel (mei en juni 2011) en vooral de blokken K en M duiden op betere groei. Dit is niet te verenigen met de door de ondernemer waargenomen egale gewasgroei. Het kan duiden op meer onkruid. Begin juni constateerde de ondernemer dan een gedeelte in het achterste blok (overeenkomend met blok J) minder goed groeide. Dit komt overeen met de rode plek op de onderstaande foto van 2 juni. Op 18 juni is het gewas berekend omdat er vanuit put 1 en via put 2 geen water werd aangevoerd en het gewas op dat moment nog klein genoeg was. Begin augustus en begin september stond het gewas mooi regelmatig, met uitzondering van een klein randje links in het blok, wat overeenkomt met K en M. Vlak voor de oogst (eind september) waren de verschillen in het perceel groter.



Figuur 128

NDVI als relatieve maat voor gewasgroei in blok D (put 11 en put 4) snijmaïs gemeten op 3 mei, 2 juni, 2 augustus, 1 september en 28 september 2011. De schaal verschilt per opnamedatum.

Infiltratie en opmerkingen ondernemer

De infiltratie is gestart op 25 april. De instelling van het debiet was 35 m³ per uur. Op 7 juli is geconstateerd dat de water aanvoer was stil gevallen. Naar schatting van Vermeer heeft dat drie dagen geduurd. Na ontluchting liep de aanvoer weer goed. De wateraanvoer is gestopt op 29 juli. Gezien de meterstanden heeft de wateraanvoer vanuit het kanaal overigens veel minder dan de bedoelde 35 m³, namelijk ca. 22,5 m³. Dit komt ongeveer overeen met 6,3 l/s. Op 9 augustus zijn alle opzetbuizen eraf gehaald, waarmee voor de meeste percelen de drainagehoogte op -60 cm (onder maaiveld) is gezet. Ook zijn de stuwtejes omlaag gezet.

De ondernemer heeft waargenomen dat het water in blok C op 10 juni uit de bodem wegtrok. Daarnaast was de maïs in vak J ca. 40 cm lager dan de rest en lichter van kleur. Op de foto van 2 juni was dit ook te zien.

In de loop van juni werd het de ondernemer duidelijk dat blok D onvoldoende water kreeg vanuit de hoger liggende blokken. De ondernemer heeft dan ook besloten het gehele perceel met blok D en achterliggende blokken op 18 juni te beregenen. Dit was op dat moment nog mogelijk omdat de maïs voldoende laag stond.

Begin juli tijdens het maaien van het gras bleek in blok E water op het land te staan. De ondernemer heeft daarop de wateraanvoer vier dagen stop gezet en het opzetstuk van put 19 verwijderd, zodat het afvoerpeil - 60 cm werd.

Mede door de overvloedige regenval heeft de ondernemer eind juli de watertoevoer stopgezet. De maïs had geen extra water meer nodig, omdat de bloei al was afgelopen. Het grasland (blok E en deel C) had ruim voldoende water gehad met volgens de ondernemer zelfs stikstofuitspoeling tot gevolg. Het gras kleurde zelfs geel. Om een eventueel stikstoftekort en uitspoeling van stikstof te bepalen zijn grondmonsters genomen in de lagen van 0-30 cm en van 30-60 cm onder maaiveld. De gevonden gehalten duiden niet op een stikstofgebrek en ook niet uitspoeling.

De conclusie van de ondernemer is dat subirrigatie van water op moeilijk doorlatende grond niet goed lukt. De grond verzadigd houden en gras laten groeien lukt wel. Alleen na een periode met regen is het land niet berijdbaar gevoelig voor vertrapping. Tevens kan op grasland stikstofuitspoeling plaatsvinden. Bij bouwland is dit veel minder een probleem.

13.6 Analyse van de effecten van waterinlaat op de waterpeilen

Beschrijving van gebeurtenissen en instellingen

In het voorjaar van 2010 is het drainagesysteem aangelegd. De waterinlaat vanuit het Wilhelminakanaal was pas in juli operationeel. De bedoeling van het systeem is dat de infiltratie meteen in het voorjaar wordt opgestart, na de gewasbewerkingen eind april / begin mei. Omdat de infiltratie te laat is gestart en de metingen naar de grondwaterstanden en de stijghoogten in de putten pas in augustus zijn gestart, kunnen uit deze data geen relevante conclusies worden getrokken. Er wordt in dit rapport niet ingegaan op de metingen van 2010. In 2011 is een volledig meetseizoen afgerond; de analyses in dit rapport zijn gemaakt op basis van gegevens uit 2011.

De afgelezen waterstanden van de debietmeter van de waterinlaat zijn:

- beginstand bij installatie juli 2010: 0 m³
- 16 mei 2011: 31 116 m³
- 7 juli 2011: 59 523 m³
- 29 juli 2011: 71 111 m³.

De afgelezen waarde, op 25 april, aan het begin van seizoen 2011 (= einde van het seizoen 2010) is niet meer terug te vinden. In de periode van 16 mei tot 29 juli is gedurende ca. 75 dagen 40000 m³ water aangevoerd. Dat is gemiddeld ca. 22 m³ per uur. Dit is veel minder dan de veronderstelde 35 m³ per uur. Uit de 'tussenstand' van 7 juli valt wel af te leiden dat de aanvoer regelmatig verliep. De voornaamste gebeurtenissen en ingrepen in het drainagesysteem zijn ondergebracht in Tabel 34.

Tabel 34

Data van infiltratie, berekening en peilverandering in 2011.

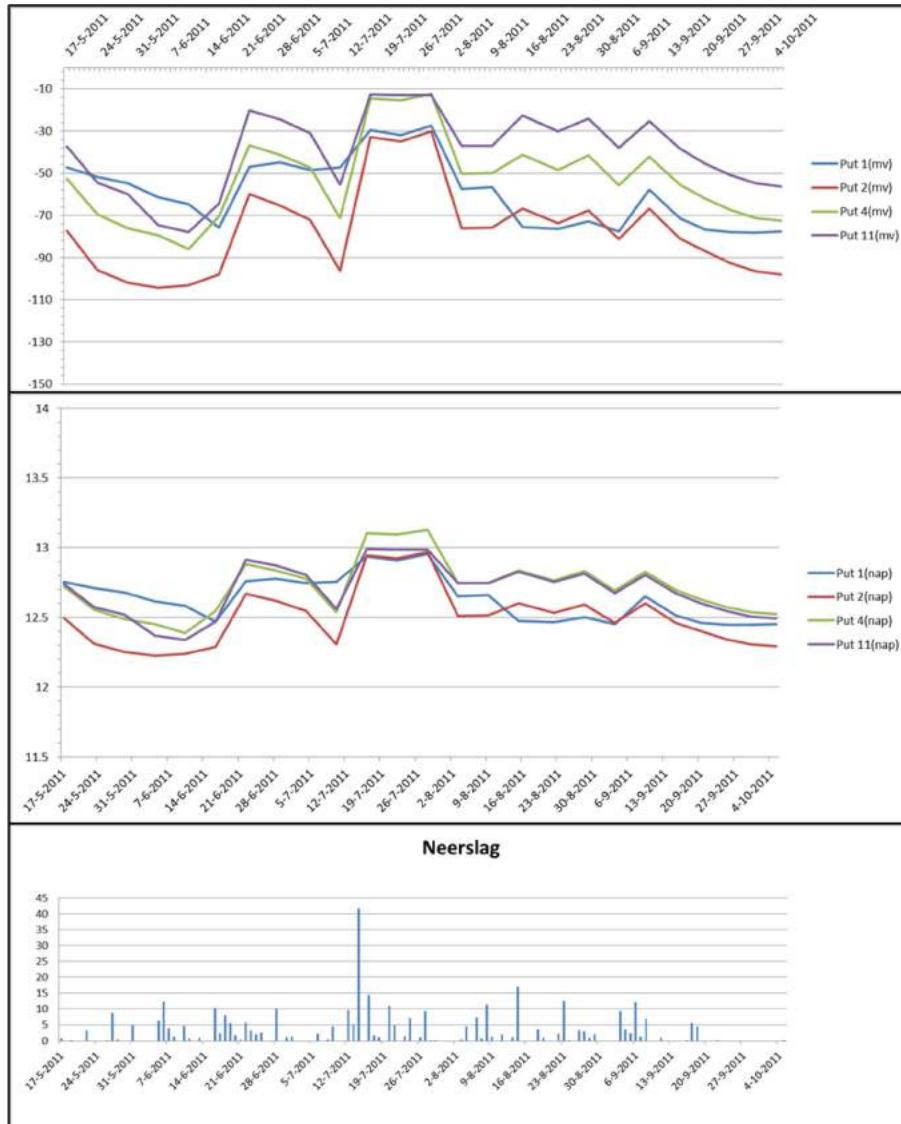
Datum (2011)	Gebeurtenis / ingreep
23 april	Alle buizen in de putten op de stand 30 cm minus maaiveld
25 april	Aanvoer aangezet met ca. 22 m ³ /uur
2 mei	Nieuwe grondwaterstandsbuizen geplaatst
3 mei	Grasland blok E en deel C beregend met 25 mm
14 mei	Grasland blok E en deel C beregend met 25 mm
17 mei	Divers in putten geplaatst
16 juni	Mais blok C beregend met 40mm
18 juni	Mais blok D beregend en achterliggende blokken met 45 mm
2-5 juli	<i>Aanvoer tijdelijk stopgezet (natte weersomstandigheden)</i>
7 juli	Waarneming stroomsnelheid in putten
14 juli	Extremes bui (40mm)
29 juli	Aanvoer definitief stopgezet
9 augustus	Alle buizen uit putten getrokken (drainagebasis van 30 naar 60 cm minus maaiveld)
10 augustus	Waarnemingen stroomsnelheden in putten
25 augustus	Waarnemingen stroomsnelheden in putten
9 september	Waarnemingen stroomsnelheden in putten
6 september	Regen
4 oktober	Start droge periode
5 oktober	Waarnemingen stroomsnelheden in putten

Verloop van stijghoogten in de putten

Op 17 mei 2011 zijn de divers (=waterdrukmeters ter bepaling van de stijghoogte) in de putten geplaatst, en worden waterstanden continu bemeten. Het verloop van de stijghoogtes is geanalyseerd voor twee groepen controleputten in het te infiltreren drainagesysteem. De eerste groep zijn de putten in het meest noordelijk gelegen deel van het bedrijf (blok D), met divers in de putten 1, 2, 4 en 11. De tweede groep putten bevindt zich tussen de putten met de verstelbare inlaat -waar het infiltratiewater 'linksom' en 'rechtsom' het systeem in kan stromen- en put 1 waar 'linksom' en 'rechtsom' samenkomen. Van de tweede groep zijn de stijghoogten in de putten 1, 18a, 18b, 19 en 20 bepaald.

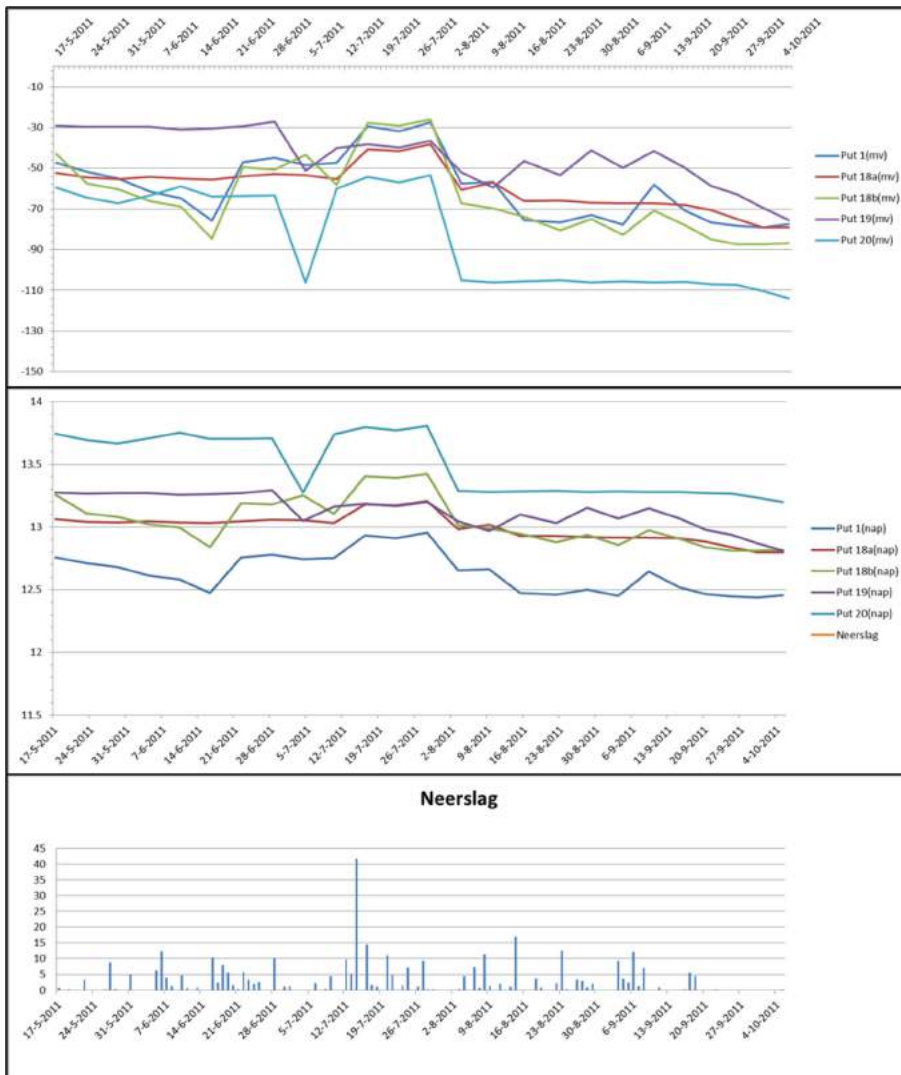
In Figuur 129 zijn de waterpeilen in de putten 1, 2, 4 en 11 ten opzichte van de maaiveldhoogte en ten opzichte van NAP grafisch weergegeven. Daaronder zijn de neerslaggegevens van het meest nabije meteorostation gegeven. De periode tot 10 juli werd gekenmerkt door droogte; in alle putten zakt het waterpeil weg. Echter, put 1 blijft in deze periode nagenoeg op peil. Dit zou erop kunnen duiden dat het ingelaten water infiltreert in blok D. Er zijn geen systematische waarnemingen naar de stroming in de controleputten uitgevoerd; dit zou de aanwijzing of water wel of niet in het perceel infiltreert verder kunnen onderbouwen. Het waterpeil in blok D is ondanks eventuele infiltratie toch teveel weggezakt. Op 18 juni is blok D beregend; in die periode is er ook neerslag gevallen. Het effect hiervan is in alle putten zichtbaar door stijging van de waterpeilen. Eind juni-begin juli verloopt weer zeer droog, waarna half juli een periode met neerslag aanbreekt. Dit leidt vanaf 10 juli tot forse stijging van de stijghoogten in alle putten. Overigens loopt deze stijging niet geheel parallel met de gemeten neerslag op het meteorostation. Dit kan verklaard worden uit de afstand van 15-20 km tussen het station te Gilze Rijen en Haghorst. De neerslag viel deze periode uit lokaal zware buien, wat op deze afstand tot grote verschillen kan leiden. Op 29 juli is de infiltratie gestopt, waarna de niveaus in de putten snel daalden.

In Figuur 130 zijn de waterpeilen in de putten 1, 18a, 18b, 19 en 20 te opzichte van de maaiveldhoogte en ten opzichte van NAP en de neerslaggegevens grafisch weergegeven. De stijghoogten laten grofweg dezelfde trends zien dan in de putten 1,2,4,11. Het verloop van de peilen in de putten is echter gelijkmatiger; de peilen zakken minder snel weg in perioden van droogte. De beregning die 16 juni op blok C is toegepast is duidelijk waar te nemen in stijging van het peil in de putten 1 en 18b. Op 2 juli is de watertoevoer tijdelijk stopgezet in combinatie met het instellen van -60 cm in put 19 wegens wateroverlast in blok E. Dit is zichtbaar in een scherpe daling van het peil in de putten 19 en 20 en benedenstrooms in de putten 2, 4 en 11.



Figuur 129

Stijghoogtes in de putten 1, 2, 4 en 11 (cm -maaiveld en m + NAP) en dagelijkse neerslag (mm per etmaal), gemeten te Gilze Rijen.



Figuur 130

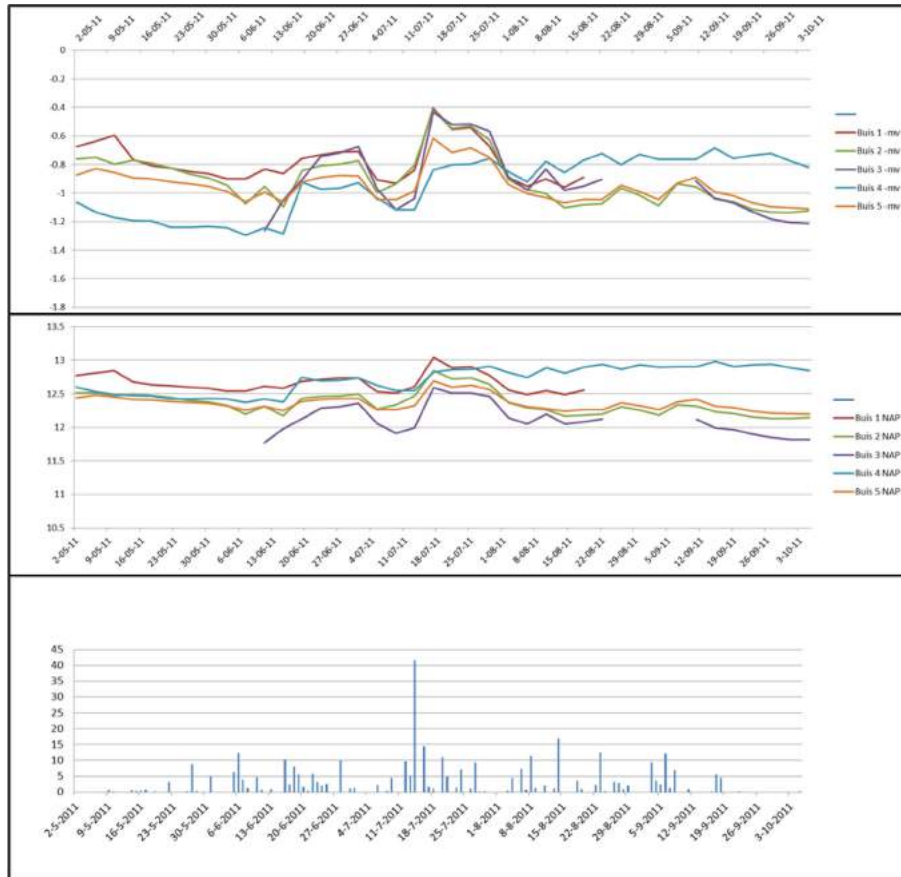
Stijghoogtes in de putten 1, 18a, 18b, 19 en 20 (cm -maaiveld en m + NAP) en dagelijkse neerslag (mm per etmaal), gemeten te Gilze Rijen.

Grondwaterstanden

In deze paragraaf wordt nagegaan of het verloop van de stijghoogte in de controleputten in relatie staat met de grondwaterstanden in de aanliggende blokken (zie Figuur 132). Dit geeft aanwijzingen in hoeverre het geïnfiltreerde water daadwerkelijk leidt tot verhoging van de grondwaterstanden in de percelen. Wanneer teveel water in het bodemprofiel aanwezig is, kan de infiltratie (al dan niet tijdelijk) worden stopgezet en werkt het systeem drainerend. In deze situaties kan worden nagegaan hoe het systeem reageert op waterafvoer.

Tot ca. 8 juni zakten de grondwaterstanden in alle buizen weg. Het neerslagtekort (cumulatieve neerslag - referentie gewasverdamping) groeit in deze periode en wordt onvoldoende aangevuld door infiltratie. De tweede helft van juni valt er regelmatig neerslag, waardoor de grondwaterstanden stijgen. In blok E zelfs zodanig dat wateroverlast ontstaat. Doordat op 2 juli de watertoevoer tijdelijk wordt stopgezet en put 19 op -60 cm wordt ingesteld, dalen de grondwaterstanden in alle meetbuizen aanzienlijk.

Na 8 juli bouwen de grondwaterstanden, vooral in blok E (en in de 'onderliggende' blokken C en D) weer flink op door neerslag, in combinatie met infiltratie. Na ca. 18 juli dalen de grondwaterstanden weer en na 29 juli, wanneer de infiltratie wordt stop gezet, nog verder.



Figuur 131

Grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld (m -mv) en NAP (m +NAP) in blok E (peilbuis 1), blok C (buis 2 en 5) blok D (buis 3) en blok J (buis 4; is het niet te infiltreren deel van het drainagesysteem) en dagelijkse neerslag (mm per etmaal), gemeten te Gilze Rijen.

Hydrologische analyse van gebeurtenissen en instellingen

Het verloop van de waterpeilen in de verzamelputten en de grondwaterpeilen is hierboven besproken. In Tabel 35 zijn de (indicaties van) effecten op de stijghoogten in putten en op grondwaterstanden als gevolg van de voornaamste gebeurtenissen en ingrepen samengevat. Als het systeem conform verwachting reageert op ingrepen in de hydrologie zijn de trends groen gemaakt; als dat niet zo is zijn de vakjes rood gekleurd. Als de trends gerelateerd kunnen worden aan ingrepen of instellingen aan het infiltratiesysteem lopen de kleuren over de volledige breedte van de tabel door.

Tabel 35

Hydrologische gevolgen van infiltratie, berekening en peilverandering in 2011.

Datum (2011)	Gebeurtenis / ingreep	trends in:	
		putten	grondwaterstanden
23 april	Alle buizen in de putten op de stand 30 cm minus maaiveld		
25 april	Aanvoer aangezet met ca. 22 m³/uur	n.v.t.	↓ ⁵²
2 mei	Nieuwe grondwaterstandsbuizen geplaatst	n.v.t.	↓
3 mei	Grasland blok E en deel C beregend met 25mm	n.v.t.	↓
14 mei	Grasland blok E en deel C beregend met 25mm	n.v.t.	↓
17 mei	Divers in putten geplaatst		
16 juni	Mais blok C beregend met 40 mm	↑	↑
18 juni	Mais blok D beregend en achterliggende blokken met 45 mm	↑	↑
2-5 juli	<i>Aanvoer tijdelijk stopgezet (natte weersomstandigheden)</i>	↓	↓
7 juli	Waarneming stroomsnelheid in putten		
14 juli	Extreme bui (40 mm)	↑↑	↑↑
29 juli	Aanvoer definitief stopgezet	↓↓	↓↓
9 augustus	Alle buizen uit putten getrokken (drainagebasis naar 60cm -mv)	geen trend	geen duidelijke trend
10 augustus	Waarnemingen stroomsnelheden in putten	n.v.t.	n.v.t.
25 augustus	Waarnemingen stroomsnelheden in putten	n.v.t.	n.v.t.
9 september	Waarnemingen stroomsnelheden in putten	n.v.t.	n.v.t.
6 september	Regen	variabel	variabel
4 oktober	Start droge periode	↓	↓
5 oktober	Waarnemingen stroomsnelheden in putten	n.v.t.	n.v.t.
legenda			
	= systeem reageert conform verwachting op ingreep		
	= systeem reageert <i>niet</i> conform verwachting op ingreep		

Uit Tabel 35 kan het volgende worden afgeleid:

1. 'Inschakelen' van de aanvoer op 25 april leidt niet tot verhoging van grondwaterstanden.
2. Na stopzetten op 2 juli is er wel sprake van een duidelijke neerwaartse trend in grondwaterstanden en drukhoogten in buizen.
3. Ook na definitief stopzetten van de aanvoer op 29 juli dalen de stijghoogten in de putten en de grondwaterstanden snel.
4. 1 t/m 3 zouden er op kunnen wijzen dat je via een droog buizensysteem niet of nauwelijks water de grond in krijgt, maar dat, zodra de buizen in een natte grond liggen, de interactie met het omringende grondwater veel gemakkelijker gaat.
5. Het over de hele linie verlagen van het drainagebasis op 9 augustus door het verwijderen van alle pijpen in de putten heeft merkwaardigerwijs geen effect.

Verdeling van water door het drainagesysteem

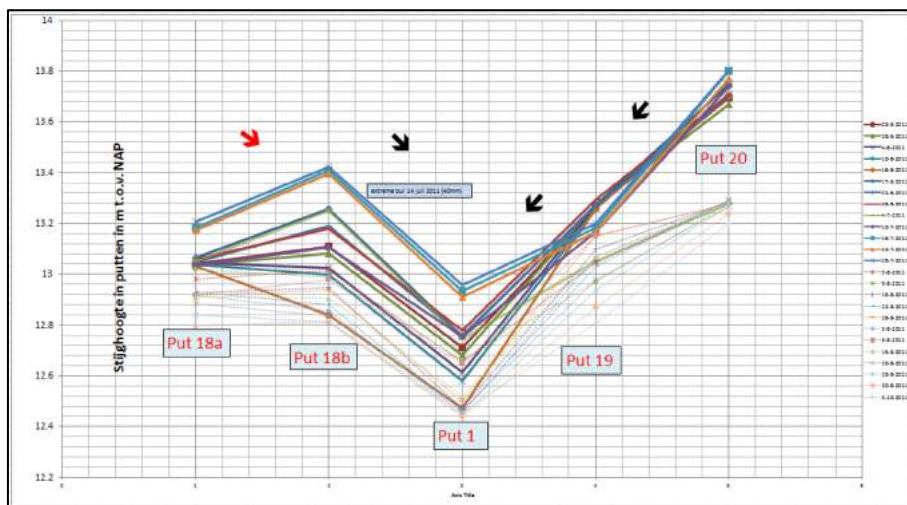
Een cruciale vraag is hoe het infiltratiewater zich door het drainagesysteem verspreidt. Hoe zijn de waterstanden in de putten van het (complexe) netwerk van ondergrondse buizen en de hiertussen geschakelde 'blokken' - op verschillende tijdstippen - onderling gerelateerd? En wat heeft dit voor gevolgen voor de waterstroming door het gehele systeem? Komt hier een algemeen beeld uit of varieert dat sterk? En is dat beeld

⁵² Trend op dit moment niet geregistreerd, maar voorafgaande trend is duidelijk.

bijvoorbeeld anders wanneer er water uit het Wilhelminakanaal wordt aangevoerd dan op momenten dat de aanvoer is dichtgedraaid? Om op deze vragen een antwoord te krijgen zijn voor 25 tijdstippen tussen 17 mei en 5 oktober 2011 grafische voorstellingen gemaakt van de waterstanden in een aantal putten. De waterstanden in de putten zijn voor 25 tijdstippen tussen 17 mei en 5 oktober 2011 grafisch weergegeven in twee verbanden:

1. de oostelijke en westelijke route samen: water dat 'linksom' via putten 20 en 19, en water dat 'rechtsom' via put 18a en 18b naar put 1 stroomt (Figuur 132);
2. water dat vanuit put 1 doorstroomt naar de vlakbij gelegen put 2, en vandaar zijn weg vervolgt naar put 4 of put 11 (Figuur 133).

In beide figuren is gewerkt met **doorgetrokken, dikke** lijnen op de tijdstippen dat de infiltratie vanuit het Wilhelminakanaal open stond, en met *onderbroken, dunne* lijnen op momenten dat dat niet zo was.

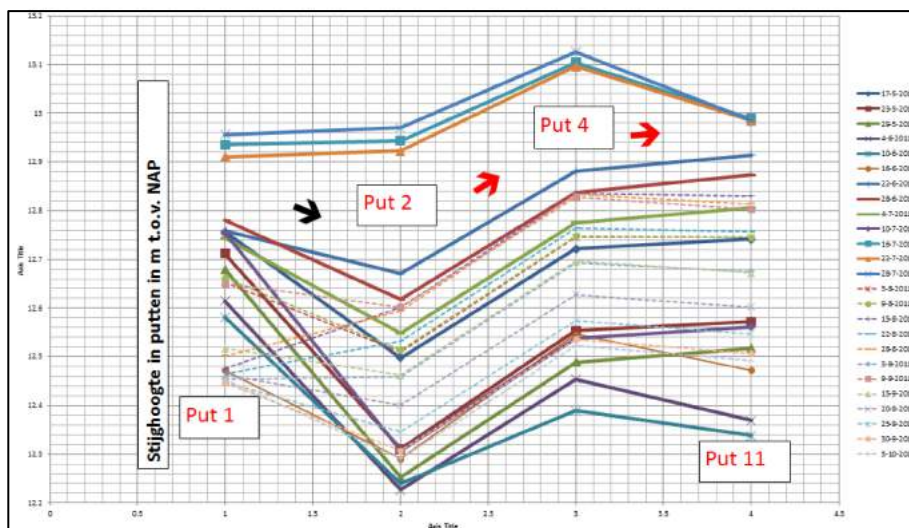


Figuur 132

Grafische voorstelling van waterstanden in putten bij water dat 'linksom' via put 18a en 18b en 'rechtsom' via put 20 en 19 naar put 1 stroomt.

In Figuur 132 is te zien dat de waterstand in put 20 tijdens infiltratie structureel hoog is, en structureel lager als de infiltratiekraan is dichtgedraaid. Het water kan put 1 via put 19 gemakkelijk bereiken (zwarte pijlen). Aan de andere kant, de inlaat via put 18a, lijkt er echter een probleem te zijn: in de meeste gevallen is de waterstand in put 18a tijdens het infiltreren *lager* dan in put 18b. Dit zou betekenen dat de stijghoogte van het water benedenstrooms in blok C gaandeweg toeneemt, en het water dat zich in de drainbuis bij put 18a bevindt in verreweg de meeste gevallen nauwelijks verder kan stromen (rode pijl⁵³). Na het dichtdraaien van de wateraanvoer daalt de waterstand in put 18a conform verwachting, en is ook de stand in put 18b navenant lager.

⁵³ Roodgekleurde pijlen geven aan dat waterstroming omhoog zou zijn en bij zwaartekracht drainage niet mogelijk is.



Figuur 133

Grafische voorstelling van water dat vanuit put 1 doorstroomt naar de vlakbij gelegen put 2, en vandaar zijn weg vervolgt naar put 4 of put 11.

In Figuur 133 is te zien dat het water zich in put 1 bevindt in de meeste gevallen gemakkelijk kan doorstromen naar put 2. Maar veel verder benedenstrooms komt het water niet, want de stijghoogte in de putten 4 en 11 is hoger dan in put 2. Vooral de relatie tussen put 2 en put 4 lijkt heel consistent. Figuur 133 is overigens niet helemaal goed geplot: gesuggereerd wordt dat put 11 via put 4 met put 2 verbonden is; dat is niet zo, maar een andere manier van grafische weergave zou wellicht meer verwarrend zijn geweest.

13.7 Discussie en conclusies

Het aangelegde systeem is geometrisch en beheersmatig zeer complex. Bijvoorbeeld werken de verschillende blokken niet onafhankelijk van elkaar en doen een aantal blokken niet mee aan infiltratie. Ook is de verdeling van het infiltratiewater (tussen links-rechts en tussen boven-beneden) niet vast te stellen. Dit maakt de interpretatie van metingen erg lastig. Het vertalen van de conclusies uit de proef naar algemeen geldende conclusies over sub-surface infiltratie wordt hiermee erg lastig (de primaire onderzoeksvraag van WS De Dommel). Wanneer Wageningen UR tijdig betrokken was geweest bij het ontwerp, was waarschijnlijk een beter bemeetsbaar en interpreteerbaar systeem aangelegd.

De resultaten van de praktijkproef geven een eerste indicatie van de werking van het drainagesysteem en onvolkomenheden daarin. Om het systeem echt in de vingers te krijgen en de werking ervan te monitoren is vervolgens een intensieve meetopstelling nodig met, naast de drukopnemers in de putten, meerdere raaien van peilbuizen in meerdere percelen. Ook is het nodig dat intensief handmatig en visueel wordt gecontroleerd en waargenomen (stroming in de putten).

Uit de metingen is niet vast komen te staan dat het ingelaten water uit het kanaal leidt tot hogere grondwaterstanden in droge perioden. De start van de infiltratie in het voorjaar van 2011 resulteert niet in een stijging van waterstanden in de putten en stijging van het grondwater. Het is echter mogelijk dat het waterpeil zonder infiltratie, vanwege het droge voorjaar nog verder was weggezakt. Dit wordt ondersteund door de

waarneming dat de stijghoogtes in de putten en de grondwaterstanden afnemen zodra de infiltratie wordt stopgezet. Infiltratie heeft niet kunnen voorkomen dat aanvullende berekening noodzakelijk was.

De grondwaterstanden en de peilen in de verzamelputten stijgen duidelijk na een beregeningsbeurt en na een regenbui van 40 mm.

Onbekend is waar het ingelaten water blijft. Reguliere waarneming van de stroming in de putten had aanwijzingen kunnen geven over de verdeling over de blokken. Het kan via de geperforeerde transportbuizen weglekken naar de ondergrond.

Het infiltratiewater kan vanwege het ontwerp van het drainagesysteem niet of nauwelijks verdeeld worden over de verschillende blokken. Als de gegevens van de waterstanden in de putten die met de divers zijn geregistreerd realistisch zijn, moeten we concluderen dat de aanvoerroute via put 18a niet goed werkt, en dat het water dat uiteindelijk bij put 1 is gearriveerd, meestal niet verder komt.

Door de hoogte van de uitstroomopeningen te wisselen is het systeem wel geschikt om - tijdelijk - de drainagebasis van een blok te verlagen. Met 'trial and error' is te proberen of met het wisselen van pijphoogtes in enkele putten, ook de doorstroom en toevoer van water door het systeem beter geregeld kan worden. Het is daarbij zaak niet teveel instellingen ineens te veranderen.

Het hele systeem is aangelegd met geperforeerde buizen, welke water kunnen afgeven aan de bodem. Een ontwerp met een centrale, niet geperforeerde aanvoerleiding met een aantal regelbare afsluiters naar de infiltratieblokken zou wellicht een betere verdeling van het ingelaten water mogelijk maken.

Het vinden van verklaringen voor de variabiliteit van waterstanden in putten is, zonder aanvullende metingen, speculatief. Een mogelijke verklaring zou kunnen zijn dat er op bepaalde percelen, zeker benedenstrooms, sprake is van kwel van grondwater dat oorspronkelijk afkomstig is van het Wilhelminakanaal. Dit is echter in tegenspraak met de vaststelling dat de percelen droog zijn, en ook in 2011 berekend moesten worden.

13.8 Advies over het gebruik van het systeem

Winterperiode

Doel: vasthouden water tot maximaal 40 cm minus maaiveld.

Dit kan door in vrijwel alle putten de uitstroompijp met hoogte -45 cm te plaatsen.

Het peil kan nog verder worden verhoogd tot -30. Met uitzondering van een aantal putten:

- de putten 5 en 7 staan standaard op -50 cm minus maaiveld.
- de putten 20, 2, 17b en 18b zijn doorvoerputten zonder stelmogelijkheden.

Voorjaar voor bewerkingen

Doel: lager peil (60 cm minus mv.) in de bouwvoor voor voorjaarsbewerkingen.

In het voorjaar acht dagen voor bewerkingen en/of bemesten het niveau van alle putten op -60 zetten. Dit zal bij teelt van maïs meestal de tweede helft maart zijn. Graslandlandpercelen desgewenst eerder.

Voorjaar na bewerkingen

Doel: watervoorziening gewassen via de bouwvoor (ca. 40 cm minus mv.)

Na de bewerkingen zoals grond bewerken, bemesten en zaaien peil weer terug op min 45 (of min 30) en beginnen met infiltreren.

Bij beide putten 20 en 17a zit een afsluiter die naargelang de waterbehoefte open of gedeeltelijk dicht gezet kan worden.

Bij hevige (verwachte) regenval stoppen met infiltreren.

Het is mogelijk het peil in één enkel tussenliggend blok tijdelijk lager in te stellen; in sommige gevallen zal de infiltratie in de overige blokken dan moeten worden stopgezet. Als het nodig is kan het peil in de graslandpercelen voor maaien en bemesten worden verlaagd.

Zomer

Bij hevige (verwachte) regenval stoppen met infiltreren.

Indien nodig peil in de graslandpercelen voor maaien en bemesten verlagen.

Na 1 augustus stoppen met infiltreren.

Herfst voor de oogst van de maïs

Voor oogsten van de maïs de waterstand terugbrengen naar min 60 minus maaiveld.

Als het water al lager staat is dat niet nodig en kan de instelling op -45 blijven.

Herfst na de oogst van de maïs

Na oogsten en bewerken peilen zetten op winterstand van -45.

Opmerkingen:

Mogelijkheden in veel putten om peil op -30 te zetten. Voor maïs is dit waarschijnlijk te hoog. Voor grasland zou het kunnen.

13.9 Praktijkproef infiltratie op klei te Schoondijke (Zeeland) (2010)

Auteur: A. van de Straat (provincie Zeeland)

Datum: Augustus 2012

Achtergrond:

In het kader van het gebiedsplan West-Zeeuws-Vlaanderen zijn projecten ondersteund die bijdragen aan een gezonde, leefbare en economisch draagkrachtige samenleving. Eén van deze projecten is een pilotproject waterconservering bij Schoondijke.

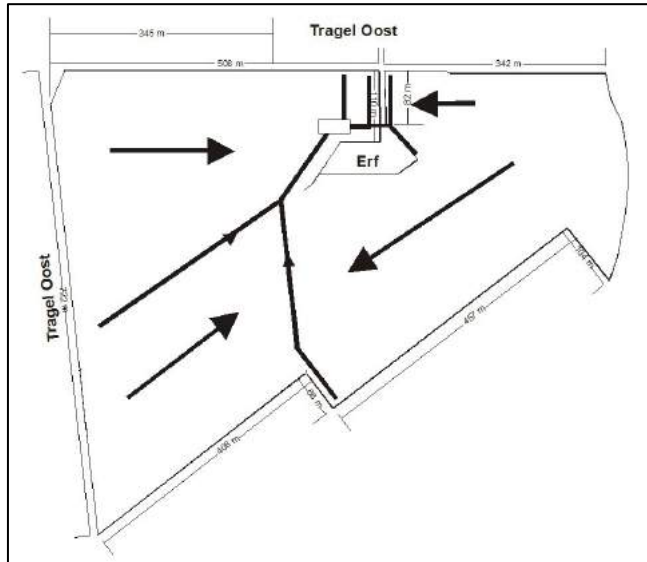
Hoewel er op kleigronden nog vrijwel geen ervaring is opgedaan met regelbare drainagesystemen bestaat er twijfel over de haalbaarheid van een wezenlijke verhoging van het grondwaterpeil in de klei door regelbare drainage. Dit pilotproject bood de mogelijkheid om verdere ervaring op te doen met dit systeem en ook de meerwaarde op de klei aan te tonen. Hiermee zou ook in het zeeleigebied draagvlak gecreëerd kunnen worden voor waterconservering op landbouwgronden.

Akkerbouwbedrijf Maatschap Gebr. de Koeijer heeft drainagebedrijf Rutten v.o.f. te Hunsel op de bedrijfslocatie aan de Tragel Oost te Schoondijke in 2007 een samengesteld regelbaar drainagesysteem laten aanleggen (het 'Systeem van Iersel'). Het systeem is enerzijds op gericht om als het nodig is water af te voeren zoals in bestaande drainagesystemen, maar is anderzijds bedoeld om water vast te houden door de drainagebasis te verhogen, als ontwatering ongewenst is.

Onderstaand wordt kort ingegaan op de belangrijkste basisinformatie van de proeflocatie en de meest in het oog springende bevindingen. Een uitgebreidere rapportage wordt in de loop van 2013 uitgebracht.

De proeflocatie:

Aan de Tragel Oost te Schoondijke is een samengesteld regelbaar drainagesysteem aangelegd op een aaneengesloten perceel van 40 ha (zie Figuur 134). Binnen dit systeem bestaat de mogelijkheid om met meerdere secties (met verschillende grondwaterniveaus) te werken. Het perceel kan naar perceelshoogte worden ingedeeld in 2, 3 of 4 gedeelten van 10 à 15 ha, elk met een eigen waterpeil.



Figuur 134

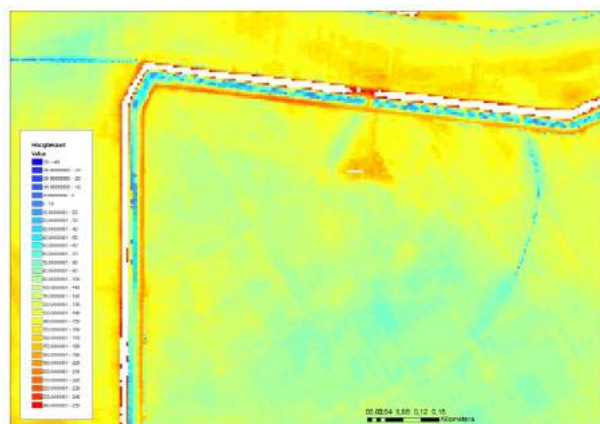
Proefperceel met hoofddrains en drainagerichting.

Drainageplan

Het perceel is in 2007 voorzien van $\varnothing 60$ mm drains, gelegd met ca. 8 meter drainafstand op ca. 80 cm beneden het laagstgelegen maaiveld. Voor de sectie waarbinnen het meetprogramma is ingericht komt dit overeen met een drainagebasis op 0,00 à 0,10 m+NAP. De verzamelleiding ligt ca. 40 cm dieper. De drains lopen van NO naar ZW en hebben een gemiddelde lengte van ruim 400 m.

Maaiveldhoogte

De maaiveldhoogte van het perceel varieert tussen 0,90 m+NAP tot 1,30 m+NAP (zie Figuur 135).



Figuur 135

Hoogtekaart gedraineerd perceel Schoondijke.

Bodemopbouw

Er is sprake van een ruim drie meter dikke kleilaag (zwak zandig) op matig fijn zand, tot zeker zeven meter diep. In drie boringen wordt tussen 1,5-2 m beneden maaiveld een veenlaagje van resp. 10, 10 en 30 cm aangetroffen. In één boring (Loc4) is tussen 1,5 en 2 m-mv sprake van een zandlaag, die in de naastliggende boringen op vijf meter afstand niet is aangetroffen.

Monitoring

In februari 2008 zijn peilbuizen geplaatst. Buis 1 t/m 6 zijn ondiep en staan direct naast en midden tussen de drains, met een filter op ca. 1,5-2,5 m beneden maaiveld (0,4 - 1,4 m-NAP); zie Figuur 136 en Figuur 137. Buis 7 is diep met een filter op 5,3-6,3 m-mv (4,2-5,2 m -NAP). Alle peilbuizen zijn voorzien van drukopnemers voor continue peilregistratie. Ook in de regelput wordt het peil continu geregistreerd met een drukopnemer.



Figuur 136

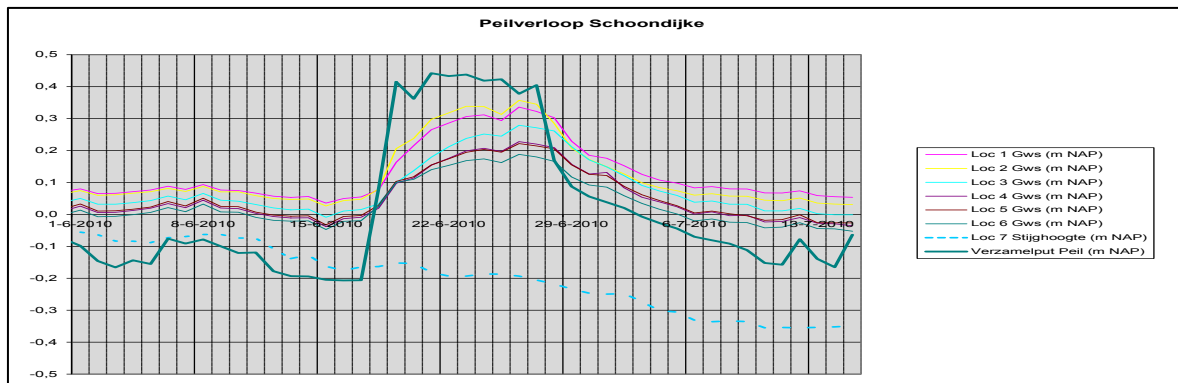
Locatie van de peilbuizen op het infiltratieproefperceel.



Figuur 137
Peilbuizen op het infiltratieproefperceel.

Infiltratieproef juni 2010

In juni 2010 is het peil in de verzamelput opgezet tot een niveau van 30 cm boven de drainagebasis in het perceel; dat was circa 4 cm boven de grondwaterstand van dat moment. De resultaten van de metingen laten zien dat de grondwaterstand direct begon te stijgen. Binnen vier dagen was de grondwaterstand, gelijkmatig over het perceel, 20 tot 30 cm gestegen. De 'overdruk' van het inlaatwater ten opzichte van de gerealiseerde grondwaterstand bedraagt slechts 10-20 cm. Na tien dagen is de inlaat van water gestopt. De grondwaterstand zakt dan ook snel weer uit. De meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 138.



Figuur 138
Peilverloop in de grondwaterstandsbuizen tijdens de infiltratieproef.

In Figuur 138 geven Loc 1 t/m 6 de freatische grondwaterstand direct naast en midden tussen de drains weer (Loc 1 direct naast, Loc 2 midden tussen, etc.) en Loc 7 de stijghoogte in het watervoerende pakket.

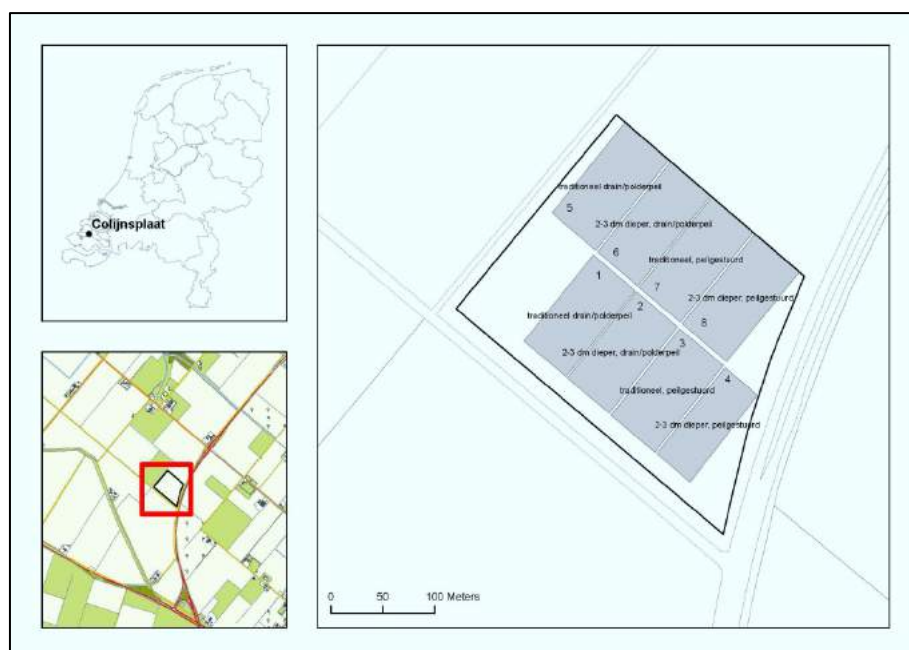
Conclusie

Infiltratie van water via drainage kan ook op kleigronden goede perspectieven bieden.

14 Veldonderzoek Samengestelde, regelbare drainage te Colijnsplaat (Zeeland), 2009-2012

Samenvatting:	L.C.P.M. Stuyt
---------------	----------------

Auteur(s):	P.N.M. Schipper (Alterra) en M.L. van der Schans (Grontmij)
Jaar van publicatie:	2012 (7 november)
Titel publicatie:	Onderzoek naar waterkwaliteitseffecten van regelbare diepe drainage Zeeland
Gepubliceerd als/in:	Rapport Grontmij Nederland B.V.

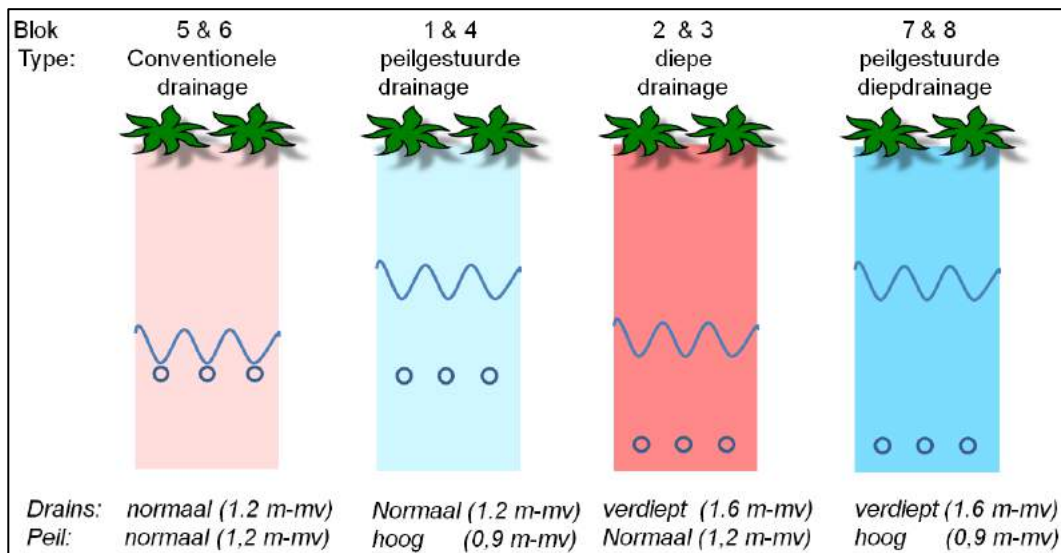


14.1 Samenvatting

Te hoge gehalten aan nutriënten in het oppervlaktewater en dan vooral stikstof vormen in Zeeland een knelpunt om waterkwaliteitsdoelen te bereiken. De vraag is of regelbare diepe drainage op landbouwgronden een effectieve maatregel is om de nutriëntenbelasting terug te dringen. Modelstudies en praktijkproeven in Europa en Noord Amerika laten zien dat regelbare drainage in beginsel voordelen biedt voor de waterkwaliteit en bovendien de vochtthuishouding in het perceel verbetert voor de agrariër. Echter, de werking is vooral op zandgronden onderzocht en niet op zavel en kleigronden met zoute kwel die kenmerkend zijn voor Zeeland. Daarom is op een perceel van proefboerderij de Rusthoeve in Zeeland een praktijkproef voor regelbare diepdrainage uitgevoerd.

De keuze voor een perceel van de Rusthoeve is het resultaat van een uitgebreide zoektocht naar geschikte percelen; eerst in Zeeuws Vlaanderen, en vervolgens in de gehele provincie Zeeland; de procedures zijn in dit rapport opgenomen in bijlage 5, respectievelijk 6.

De proefopstelling is in 2010 aangelegd en omvat acht blokken van 80×60 m. Hierop zijn vier typen drainage aangelegd; wel en niet regelbaar, met drains op 1,1 en 1,5 m beneden maaiveld; zie Figuur 139. Iedere behandeling is in duplo uitgevoerd.



Figuur 139

Schematische voorstelling van de vier typen drainage (draindiepte en gehandhaafd peil die op proeflocatie 'Rusthoeve' zijn aangelegd.

Vervolgens zijn gedurende twee meetjaren de drainafvoer, grondwaterstanden en chemische samenstelling van het drainagewater en grondwater bemeaten. Ter controle zijn ook metingen uitgevoerd in een sloot die alleen door drain- en grondwater van de blokken 1 t/m 4 wordt gevoed. De meetopstelling is gericht op het opstellen van een water- en stikstofbalans, maar ook het in beeld brengen van zoute kwel en denitrificatie processen in de bodem. Hiervoor zijn, naast conventionele laboratoriumanalyses, diverse experimentele methoden ingezet, waaronder ionselectieve elektroden voor registratie van de gehalten chloride, nitraat en ammonium in het drainagewater, SORBI-cellen voor het meten van vrachten van bestrijdingsmiddelen, en analyses van isotopen voor het vaststellen van de herkomst van stikstof.

Uit de metingen blijkt dat regelbare drainage in het begin van het groeiseizoen tot hogere grondwaterstanden heeft geleid. Hierdoor zullen gewassen in droge perioden langer kunnen profiteren van het neerslagoverschot dat in de bodem wordt geborgen. In hoeverre dit tot een betere gewasgroei leidt, kan wegens de korte meetperiode niet worden vastgesteld.

Ondanks de korte meetperiode lijkt het duidelijk dat de regelbare drains minder water, stikstof en chloride afvoeren. De zout- en stikstofbelasting van het oppervlaktewater neemt daardoor af. Regelbare drainage leidt niet duidelijk tot lagere zout- en stikstofconcentraties, maar draagt waarschijnlijk wel bij aan een betere oppervlaktewaterkwaliteit omdat meer neerslag wat dieper door de holocene deklaag naar de sloot stroomt. Dit lateraal uitstromende grondwater heeft een betere kwaliteit dan drainagewater, omdat door de langere en diepere bodempassage meer nitraat wordt afgebroken.

Alle drains, en dus ook de verdiept aangelegde drains lijken vanuit landbouwkundige perspectief naar behoren te functioneren. Diepere drainage leidt duidelijk tot meer denitrificatie en dus tot een lagere nitraatbelasting van het oppervlaktewater. De samenstelling van het afgevoerde water verschilt met die van het water dat door de ondiepe drains wordt afgevoerd. Het lijkt aannemelijk dat de diepe drains water afvoeren dat een langere verblijftijd in de bodem heeft en iets meer onder invloed is van gereduceerd kwelwater. In de korte meetperiode is waarschijnlijk nog geen nieuwe zoet-zout evenwichtssituatie bereikt, zodat de effecten op het aantrekken van ouder water en de mengverhouding met zout kwelwater onzeker zijn.

Door de aanleg van de drains was de bodemstructuur, volgens de ervaringen van de bedrijfsvoerder van de Rusthoeve, het eerste jaar niet optimaal maar was deze in het tweede jaar al voldoende hersteld. Er werden echter geen waarneembare effecten op de gewasgroei en oogstopbrengsten vastgesteld, maar deze conclusie is alleen gebaseerd op het tweede meetjaar. Er zijn meer meetjaren nodig om de conclusie (zo mogelijk) voldoende te kunnen onderbouwen.

Aanbevelingen - Geadviseerd wordt om de metingen nu niet te beëindigen, maar voort te zetten. Enerzijds omdat dit niet veel extra kosten met zich meebrengt. Het systeem werkt nu goed en de aanleg en aanlooperperiode heeft veel tijd en geld gekost. Anderzijds omdat de grilligheid van het weer, de ruimtelijke variabiliteit van de bodem en trage verschuiving van de zoet-zoutverdeling in het grondwater de meetresultaten sterk kunnen beïnvloeden. Door langer door te meten kunnen de effecten beter worden onderbouwd en gekwantificeerd, en kunnen de onderliggende processen zodanig worden ontrafeld dat de bevindingen misschien kunnen worden vertaald naar andere situaties in Zeeland.

Het perceel kan in de toekomst ook gebruikt worden om andere proeven uit te voeren. Te denken valt aan de werking van het drainagesysteem en uitspoelingsproeven voor gewasbeschermingsmiddelen. Ook lijkt de proef zich goed te lenen om het modelinstrumentarium SWAP-WOFOST te valideren. Dit modelinstrumentarium wordt door Wageningen UR-ESG ontwikkeld om gewasgroei te voorspellen, rekening houdend met de beschikbaarheid van bodemvocht, natschade (zuurstofstress) en zoutschade.

Hierna worden de belangrijkste bevindingen uit het onderzoeksrapport samengevat.

14.2 Aanleiding

Hoge nutriëntengehalten vormen een van de grootste knelpunten in de binnendijkse waterlichamen in Zeeland om de doelen voor de Europese Kaderrichtlijn Water te bereiken. Een belangrijke bron van stikstof in het landelijk gebied is landbouwgrond. Voor een deel wordt dit veroorzaakt door landbouwkundig gebruik, voor een deel door aanvoer met zoute kwel en voor een deel zijn historische belasting en atmosferische depositie de oorzaak.

14.3 Huidige inzichten

Uit onderzoek (Van Bakel, 2008; Evans et al., 1995; Wesstrom en Messing, 2007) blijkt dat regelbare diepe drainage tot lagere nutriëntenuitspoeling leidt en daarmee in potentie een geschikte maatregel is om de waterkwaliteit te verbeteren. Nitraat kan effectief in de bodem worden afgebroken bij een langere verblijftijd in een anaerobe zone. Door het hogere peil en verdiept aanleggen van de drains volgt neerslagwater een langere bodempassage. Zo treedt meer denitrificatie op waardoor de uitspoeling van stikstof afneemt. In zwaardere gronden verloopt een groot aandeel van de uitspoeling via scheuren die aansluiten op het drainagesysteem. Door draineerbuizen tot onder het bereik van de bodemscheuren aan te leggen wordt kortsluitstroming via deze weg verhinderd. Hierdoor kunnen pieken in afvoer en concentraties van nutriënten worden afgevlakt.

Bovendien zijn ook hydrologische en landbouwkundige voordelen te verwachten.

- De piekafvoeren naar het oppervlaktewatersysteem kunnen bij uitgekiend beheer afnemen (minder wateroverlast).
- Door het hogere peil wordt het water beter vastgehouden zodat er mogelijk minder snel beregend hoeft te worden.
- Omgekeerd is het peil ook makkelijk te verlagen zodat het land sneller berijdbaar is voor voorjaarswerkzaamheden.
- Samengestelde drainage met drains op korte onderlinge afstand en ruim onder de grondwaterspiegel bevordert - in beginsel - de herverdeling van water in een perceel. Dit leidt tot een uniformere verdeling en betere beheersing van (te) hoge en lage grondwaterstanden.

Het systeem wordt nu vooral toegepast op zandgrond en in het buitenland. Het is echter onbekend of regelbare diepe drainage op kleigrond (de meest voorkomende grondsoort in Zeeland) werkt, of de veronderstelde positieve effecten ook optreden en wat de effecten zijn op de aanvoer van stikstof met zoute kwel. Mogelijke neveneffecten van verdiepte drainaanleg in kwelgebieden zijn een toename van zoute kwelafvoer (mogelijk te voorkomen door het hogere drainagepeil) en een grotere kans op verstopping van drains door menging van aeroob en anaeroob water.

Doelstelling

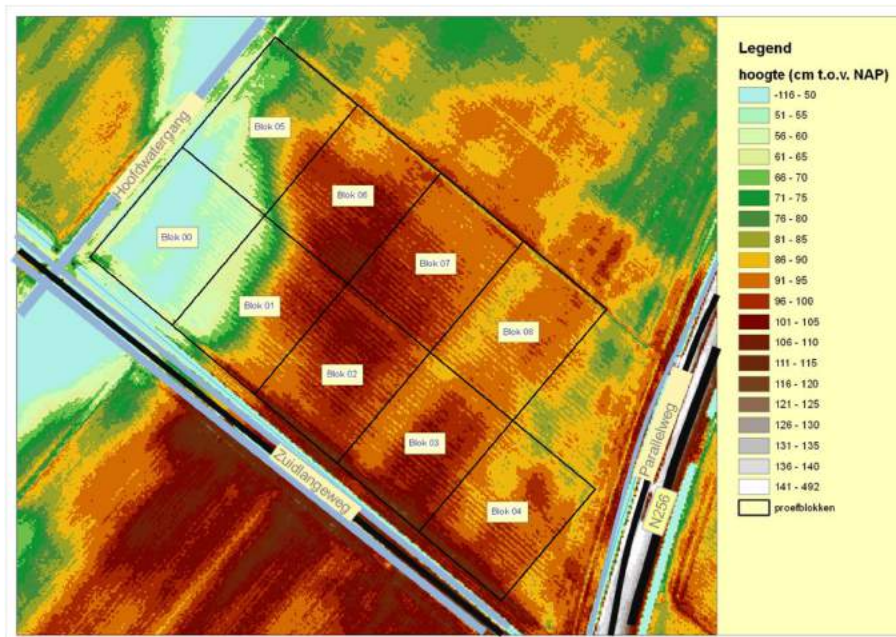
De provincie Zeeland is samen met de ZLTO en Waterschap Scheldestromen een onderzoek gestart om de effecten van regelbare drainage in de praktijk te testen. De kern van het onderzoek is een veldexperiment op een perceel van de proefboerderij de Rusthoeve, dat representatief is voor de zeeleigonden in Zeeland. De proef is gestart in mei 2010 en is uitgevoerd door Grontmij, Alterra en Praktijkonderzoek Plant en Omgeving.

Doel is om in het veld vast te stellen of regelbare drainage de uitspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater reduceert en tegelijk de landbouw helpt om in droge tijden het water beter vast te houden en in natte tijden het perceel nog even goed te kunnen ontwateren.

14.4 Gebiedsbeschrijving

Voorafgaand aan de proef is een bodemkundig veldonderzoek uitgevoerd als basis voor het ontwerp en om de uitgangssituatie vast te leggen. De resultaten worden hierna toegelicht. Voor meer informatie wordt verwezen naar de deelrapportage 'vooronderzoek en detailontwerp'.

Het proefperceel Rusthoeve ligt aan de oostkant van Noord-Beveland, ten zuiden van Colijnsplaat. Uit de hoogtekartaal is op te maken dat aan de westzijde van het perceel een laagte van een dichtgeslibde kreek aanwezig is. De maaiveldhoogte binnen het perceel varieert van ca. +20 cm NAP aan de westkant tot meer dan +100 cm NAP aan de zuidkant (Figuur 140).



Figuur 140
Hoogteligging maaiveld en layout proefblokken op 'Rusthoeve'.

14.5 Ondiepe bodemopbouw

De bodemopbouw is ontstaan door geleidelijke opslibbing onder invloed van eb- en vloedbeweging. Hierbij is een gelaagdheid ontstaan die typerend is voor de gronden in op- en aanwaspolen die in Zeeland veel voorkomen. Kalkrijke, kleiige en zandige lagen wisselen elkaar af.

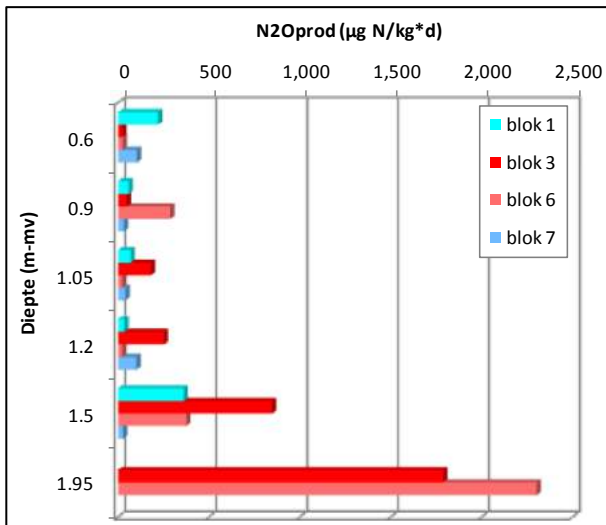
De bouwvoor of toplaag bestaat voornamelijk uit matig lichte zavel (12 - 17,5% lutum) en zware zavel (17,5 - 25% lutum). Op draandiepte is het kleigehalte iets lager en varieert van zeer lichte zavel (8-12% lutum) tot zware zavel (17,5 - 25% lutum). De grond behoort volgens de bodemkaart tot de kalkrijke poldervaaggronden (Mn.A). Het watervoerende (zand)pakket begint op een diepte van 5,0 tot 5,5 meter onder maaiveld.

De zuidelijk gelegen proefblokken 1 - 4 hebben een lichtere profielopbouw dan de noordelijk gelegen velden 5 - 8. Wel komen in meerdere boringen in de zuidelijke proefblokken dieper dan één meter lagen voor met 5 tot 20% organische stof (humeus tot weinig). Uit de diepe boringen blijkt dat onder het gelaagde pakket met kalkrijke afzettingen op 2,5 à 3 meter diepte een veenlaag voorkomt die bestaat uit rietveen of rietzeggeveen. Deze veenlaag heeft een dikte van ongeveer 40 cm. Geconcludeerd wordt dat de bodem tot op een diepte van 180 cm -mv voldoende doorlatend en gestructureerd is voor de aanleg van drainage. Er is geen significant risico op instroming van bodemmateriaal.

14.6 Bodemchemie

De potentiële denitrificatie is een eigenschap die aangeeft hoe goed de bodem in staat is om stikstof af te breken. Om dit te onderzoeken zijn op vier plaatsen ongestoorde bodemmonsters gestoken. Hiervan is in het laboratorium onder geconditioneerde omstandigheden het nitraat reducerende vermogen bepaald op zes diepteniveaus. De resultaten, weergegeven in Figuur 141, laten zien dat er al ondiep in het bodemprofiel denitrificatie mogelijk is in het perceel. Onder de conventionele draandiepte (1,2 m -mv) neemt de potentiële

denitrificatie toe. De extreem hoge waarden rond 1,95 m -mv zijn gemeten in een veenlaag. De invloed van de potentiële denitrificatie wordt zichtbaar in het verloop van de gemeten nitraatconcentraties met de diepte.



Figuur 141
Verloop potentiële denitrificatie met het bodemprofiel.

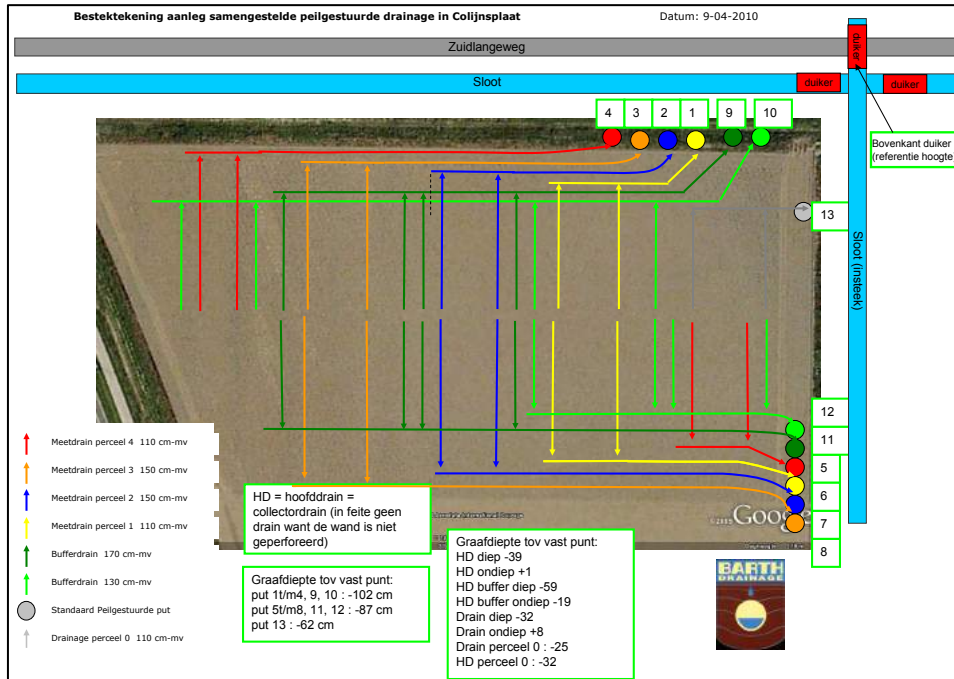
Het is niet mogelijk om op basis van deze metingen uitspraken te doen over de ruimtelijke variabiliteit van potentiële denitrificatie in de percelen.

14.7 Watersysteem en hydrologie

Het perceel wordt aan drie zijden omringd door een sloot. De hoofdwatergang ten westen heeft een streefpeil in de zomer van NAP -0,7 m en in de winter van NAP -1,0 m. In de praktijk treden in perioden met veel neerslag tijdelijk hogere waterpeilen op. In droge perioden zakken de peilen uit. De zuidelijke kavelsloot heeft een bodemhoogte rond NAP -0,7 m en is niet permanent watervoerend. De oostelijke sloot ligt nog iets hoger en voert alleen in natte omstandigheden water af. De westelijke en zuidelijke sloot hebben een afwaterende functie. De gemiddelde drooglegging (=afstand maaiveldhoogte tot waterpeil in de sloten) van de proefblokken bedraagt 1,6 meter, hetgeen vrij fors is. Op basis van boorprofielen en gerichte opnamen is een gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) bepaald van 0,6 tot 0,8 meter onder maaiveld. De gemiddeld laagste grondwaterstand GLG varieert van 1,5 tot 1,9 meter boven maaiveld. Om een indruk te krijgen van de aanwezigheid van zoute kwel is tijdens de bodemkartering in elk boorgat tot een diepte van 2,3 meter het elektrisch geleidingsvermogen gemeten (EGV). De gemeten EGV-waarden lopen uiteen van 184 tot 3150 mS/m. Op alle locaties is dus sprake van beïnvloeding door zoute kwel.

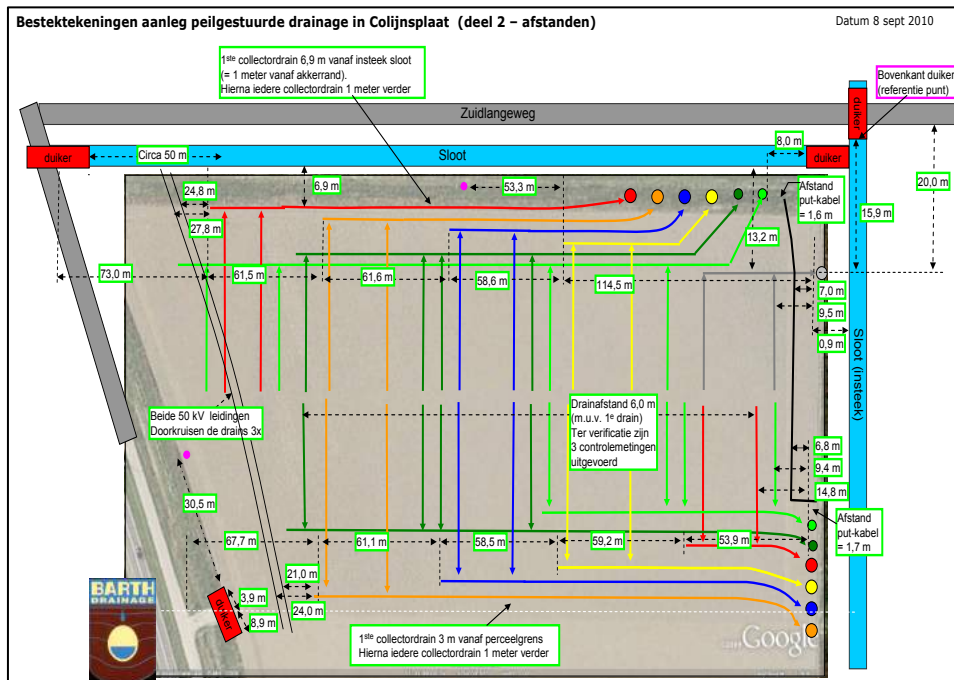
14.8 Inrichting van de veldproef

Het ontwerp van de drainage is neergelegd in twee bestektekeningen, zie Figuur 142 en Figuur 143.



Figuur 142

Bestektekening regelbare drainage te Colijnsplaat ('Rusthoeve') – 1: ontwerp drainageblokken.



Figuur 143

Bestektekening regelbare drainage te Colijnsplaat ('Rusthoeve') – 2: specificatie geometrie.

De drainage is in vier verschillende varianten aangelegd (zie ook Figuur 144):

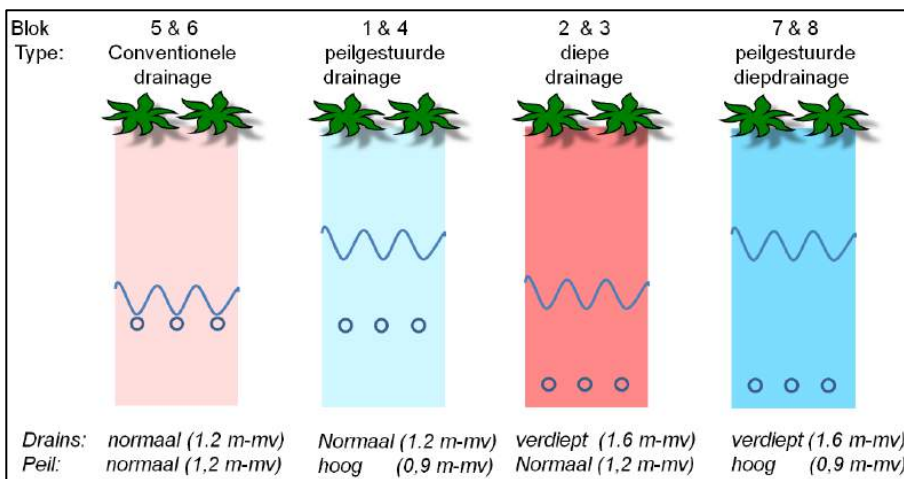
- Conventionele drainage: dit is de referentiesituatie met drains op 1,2 m -mv en een uitstroompeil op 1,2 m -mv.
- Regelbare conventionele drainage: tijdens de proef is een verhoogd peil gehanteerd van 0,9 in plaats van 1,2 m -mv.
- Conventionele verdiepte drainage: de drains zijn op 1,6 meter in plaats van 1,2 meter onder maaiveld aangelegd en hebben een uitstroompeil van 1,2 m -mv.
- Regelbare verdiepte drainage: het systeem is verdiept aangelegd en tijdens de proef wordt een hoger peil ingesteld van 0,9 m -mv.



Figuur 144

Impressies van de installatie van de drainagesystemen op Rusthoeve.

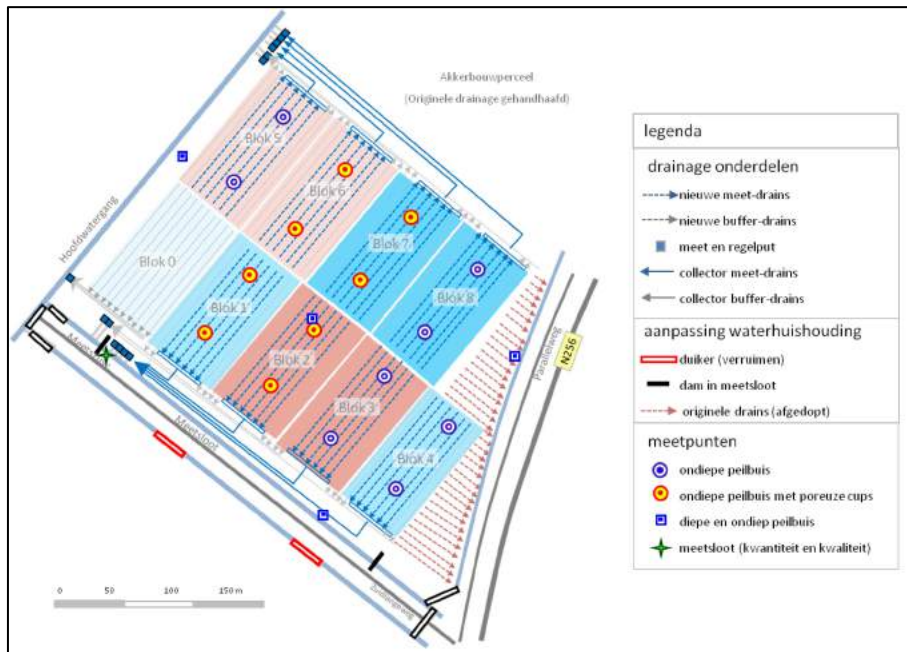
In de figuren en tabellen is, voor het overzicht, steeds dezelfde kleurstelling voor de vier typen behandelingen aangehouden: rood/blauw = niet/wel regelbaar; licht/donker = niet/wel verdiept. Zie Figuur 145 en Figuur 146.



Figuur 145

Drainagevarianten, aangelegd op 'Rusthoeve'.

Alle proefblokken zijn in duplo uitgevoerd. De ligging van de blokken en de configuratie van de proef is weergegeven in Figuur 146.



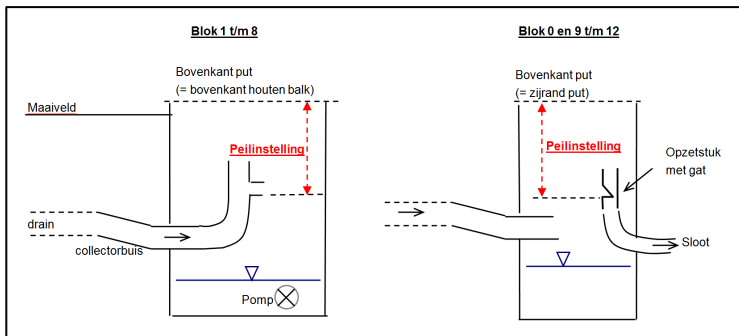
Figuur 146

Ligging proefpercelen en meetlocaties op 'Rusthoeve'.

Enkele details van de inrichting:

- Elk proefblok is 36 m breed en 80 m lang. Ze bestaat uit zes drains met een onderlinge afstand van 6 meter. Alle blokken zijn dus intensiever gedraineerd dan de uitgangssituatie.
- Rondom de proefblokken is een bufferzone gehanteerd van 12 meter (twee drains) met een vergelijkbaar peil als het proefblok. Iedere 'behandeling' is dus $36 + 12 + 12 = 60$ m breed.
- De bufferdrains zijn onderling verbonden met een collectordrain; ook met andere buffers voor zover daar hetzelfde peil wordt gehanteerd.
- Alle drains voeren water af via een ondergrondse verzameldrain die aangesloten is op een verticaal georiënteerde, cilindervormige meet- en regelput.
- Het peil (de ontwateringsbasis) wordt geregeld via een verticale uitstroompip in de regelput; zie Figuur 147.
- Debietmeters produceren alleen bij voldoende debiet betrouwbare metingen. Daarom is gewerkt met een pomp die bij een ingesteld peil aanslaat.
- De regelputten zijn niet voorzien van uitstroompunten naar de sloot. Dit levert namelijk kansen op lekkage die de resultaten van de proeven zouden kunnen versluieren.
- Alle bestaande drains binnen de proefblokken zijn met een kettinggraver automatisch 'doorgesneden' tijdens de aanleg van de nieuwe drainages.

Drains aan de rand van het percelen 4 en 8 zijn op enige afstand vanaf de grens van de proefblokken afgedopt, zodat geen gronddeeltjes kunnen inspoelen.



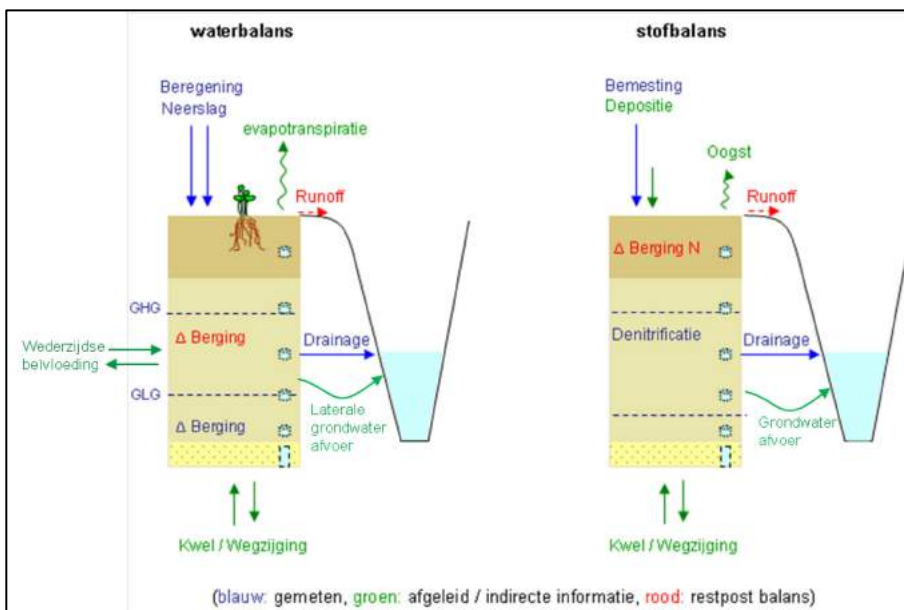
Figuur 147
Peilinstellingen in regelputten (links) en bufferputten op proeflocatie 'Rusthoeve'.

Daarnaast is het omliggende watersysteem als volgt aangepast:

- De zuidwestelijke sloot is afgedamd en als meetsloot gebruikt. Hier wateren de drains van blok 1 t/m 4 via de meet- en regelputten op af. De bufferdrains wateren achter de dam af, waardoor het mogelijk is de water- en stoffenbalans van de proefblokken met de meetsloot te vergelijken.
- De bestaande afwaterende functie van de zuidelijke sloot wordt overgenomen door de sloot die ten zuidwesten van de Zuidlangeweg ligt.

14.9 Meetprincipes

De effecten op waterkwaliteit en hydrologie zijn bepaald door het opstellen van water- en stoffbalansen in de percelen en van de meetsloot. Deze balanstermen zijn weergegeven in Figuur 148. Duidelijk is dat een deel van de balanstermen direct wordt gemeten en een deel afgeleid uit metingen of geschat op basis van literatuur. De rood gekleurde termen vormen sluitposten in de balans.



Figuur 148
Schematische weergave van de water- en stoffenbalans op 'Rusthoeve'.

Om de kwel- en afbraakprocessen in beeld te krijgen worden diverse geochemische componenten gemeten waaronder N-isotopen om denitrificatie van stikstof te bepalen. De metingen worden uitgevoerd in drains, peilbuizen in het watervoerend pakket en in cups op verschillende diepten om de overgangen van watertypen te detecteren.

Tot slot vinden oogstbepalingen plaats om de agronomische effecten van het systeem te kwantificeren. Met de monitoring van grondwaterstanden en debieten kan de technische werking van het drainagesysteem worden gecontroleerd.

Meetmethoden en -locaties

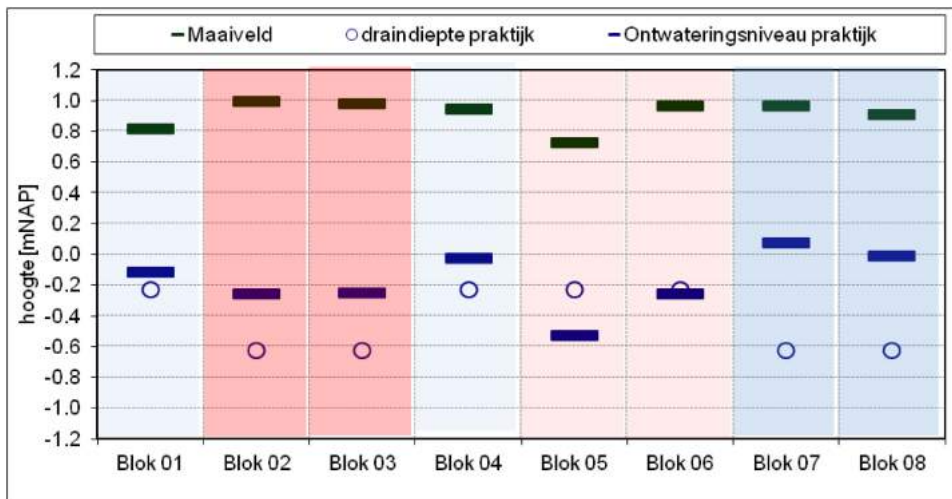
De sloot- en drainafvoer is in de regelputten continu bemonsterd met een debietmeter en ionselectieve elektroden. Daarnaast zijn regelmatig handmatige metingen uitgevoerd van de waterpeilen en is de waterkwaliteit in het lab onderzocht. In de blokken zijn freatische peilbuizen geplaatst (twee per blok). Deze zijn tijdelijk ondergronds afgewerkt gedurende oogstperiode en grondbewerkingen. In vier blokken zijn cups geplaatst op diepten van 0,5 tot 2,5 m -mv voor het nemen van (onverzadigde) watermonsters. In 2010 en 2011 is in ieder blok een oogstproef gedaan en zijn de agronomische handelingen geregistreerd. De meetlocaties zijn weergegeven in Figuur 146.

14.10 Verloop van de veldproef

Het drainagesysteem is aangelegd door Barth drainage BV in de periode van 26 t/m 29 april 2010. Hierbij is dagelijks toezicht geweest op de locatie door Alterra, Grontmij, de Rusthoeve en/of de provincie Zeeland.

De meetopstelling waaronder de peilbuizen, ionselectieve elektroden en SORBI-cellen zijn gerealiseerd na aanleg van het drainagesysteem. Direct na aanleg zijn de hoogtes van het systeem ingemeten (waterpassing). Deze meting is in de zomer van 2012 herhaald.

De peilen in de regelputten zijn kort na aanvang van de proef in november 2010 eenmalig naar boven bijgesteld. Voor de conventionele ontwateringsbasis was namelijk ten onrechte uitgegaan van polderpeil in plaats van de oorspronkelijke draindiepte. Bovendien was het maaiveld ter plaatse van de regelputten gebruikt als referentie en dat wijkt af van het gemiddelde maaiveld per proefblok. Vanaf november 2010 zijn de peilen ingesteld t.o.v. de gemiddelde maaiveldhoogte per proefblok; zie Figuur 149. De drains in proefblok 5 liggen boven het peil in de regelput. Deze drains komen hierdoor al boven het instellingspeil droog te staan, waardoor hier de facto een hoog peil van 1 m onder maaiveld in plaats van conventioneel peil van 1,2 m onder maaiveld wordt gehanteerd. Een nadeel van de gekozen configuratie is dat er verschillen optreden in ontwateringsniveau t.o.v. NAP waardoor de kans op laterale beïnvloeding toeneemt.



Figuur 149

Diepten van het maaiveld, de drains en de ontwateringsniveaus in de acht meetblokken.

Tijdens de proef zijn in samenwerking met RIVM diverse opzetten met SORBI-cellen getest om N- en P-uitspoeling tijds- en debietproportioneel te meten. Maar deze SORBI-cellen bleken niet goed te werken. De metingen van N en P met SORBI-cellen zijn daarom niet bruikbaar. Voor bestrijdingsmiddelen zijn de SORBI-cellen overigens wel met succes toegepast.

14.11 Bodembewerking en teelt

Wegens het moment van aanleg van de drainage tijdens het groeiseizoen in mei 2010 was bruine boon één van de weinige gewassen die nog kon worden gezaaid. Ook voor bruine boon was de zaaidatum van 1 juni aan de late kant. Door de natte weersomstandigheden in augustus en september kon het gewas niet meer worden geoogst; het gewas is ondergewerkt. Een deel van blok 3 en blok 4 bleek in latere instantie ingezaaid met CGo groenbemester. Hier is een extra nalevering aan stikstof te verwachten.

Gedurende de winter 2010/ 2011 lag het perceel braak. Vervolgens is in maart 2011 suikerbiet gezaaid. De oogst vond plaats in oktober van datzelfde jaar. Tot slot is voor de winter nog tarwe ingezaaid. In de winter 2011/ 2012 was er wederom geen gewasbedekking op het perceel. De tarwe is in september 2012 geoogst.

De Rusthoeve gaf aan dat bij het diepploegen in najaar 2010 de tractor in het onderzoeksperceel meer weerstand ondervond dan in het daarnaast gelegen perceel dat niet opnieuw was gedraineerd. Mogelijk hangt dit samen met de veranderingen in de structuur van de bodem door de sleuven voor aanleg van de drains. Te hoge grondwaterstanden lagen, gezien de peilbuismetingen, immers niet voor de hand. Overigens zijn de oogsthoeveelheden normaal en duidt niets erop dat deze door aanleg van de drainage minder zijn. Bij de oogst van 2011 viel vooral op dat de blokken 1 en 2 bijzonder nat waren. De machines hadden moeite bovenop te blijven, terwijl er niet veel regen was gevallen.

14.12 Bemesting

Op de percelen is tijdens het groeiseizoen enkele malen stikstofbemesting toegepast. Ook zijn de percelen met stikstof belast door atmosferische depositie. De hoeveelheden bemesting, atmosferische depositie en gewasopname zijn hieronder voor 2010 en 2011 weergegeven. Het N- en P-bodemoverschot is de hoeveelheid die via mest wordt toegediend plus de atmosferische depositie minus de gewasopname (ervan uitgaande dat de gewassen worden geoogst).

2010:

- Stikstofbemesting 2010: 27 kg/ha
- Atmosferische depositie: 20 kg N/ha (Milieucompendium RIVM)
- Gewasopname; niet van toepassing (ondergewerkt)
- N-bodemoverschot 55 kg N/ha
- P-bodemoverschot: nihil

2011:

- Stikstofbemesting 2011: 162 kg/ha
- Atmosferische depositie: 20 kg N/ha
- Gewasopname stikstof: 189 kg N/ha (N-gehalte bieten 1,8 kg N/ton)
- Gewasopname fosfor: 42 kg P/ha (P-gehalte in bieten 0,4 kg/ton)
- N-bodemoverschot: $162 + 20 - 189 = -7$ kg N/ha
- P-bodemoverschot: $0 - 42 = -42$ kg P/ha

Het eerste jaar was ondanks de geringe bemesting sprake van een aanzienlijk N-overschot omdat het gewas is ondergewerkt. In de regel wordt het organische stikstof in het ondergewerkte gewas vrij snel omgezet in anorganisch en dus mobiel stikstof (ammonium en vervolgens nitraat). Op perceel 3 en 4 was het bodemoverschot nog groter door de toegepaste groenbemester; hoeveel dit effect is kan door ontbrekende gegevens hierover niet worden achterhaald. Het tweede jaar is sprake van evenwicht door de relatief hoge gewasopname.

Omdat geen P-bemesting is toegepast was in het eerste jaar geen P-overschot en in het tweede jaar een significant P-tekort ('P-uitmijning'). De opbrengsten van de suikerbieten en wintertarwe zijn door de bedrijfsvoerder als redelijk ervaren. De bonen waren eigenlijk te laat gezaaid; het gewas is in oktober niet geoogst maar ondergewerkt.

14.13 Resultaten en discussie

Zoals aangegeven is het doel van het onderzoek om in het veld vast te stellen of regelbare drainage de uitspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater reduceert en tegelijk de landbouw helpt om in droge tijden het water beter vast te houden en om vast te stellen of het perceel in natte tijden nog even goed wordt ontwaterd.

Voor de waterkwantiteit zijn de kennisvragen:

1. Wordt met regelbare drainage extra water in de bodem vastgehouden?
2. Werken de dieper aangelegde drains net zo goed als ondiepe drains?
3. Welk aandeel van het neerslagoverschot wordt via de drains afgevoerd?
4. Welke aandeel van de slootafvoer is afkomstig uit drains?
5. Nemen door peilsturing de afvoerpieken naar het oppervlaktewatersysteem af?

Voor de waterkwaliteit zijn de kennisvragen:

1. Wat zijn de effecten van regelbare diepe drainage op de kwaliteit van het grondwater?
2. Wat zijn de effecten van regelbare diepe drainage op de kwaliteit van het drainwater?
3. Wat zijn de effecten van regelbare drainage op waterkwaliteit in het oppervlaktewatersysteem? Met andere woorden, hoe verhoudt de kwaliteit van het drainagewater zich met ontvangend oppervlaktewater?
4. Treedt tijdens hevige afvoer kortsluitstroming op van neerslagwater naar de drains? Zijn er aanwijzingen voor kortsluitstroming naar de drains via scheuren in de klei?

Voor de gewasopbrengsten zijn de kennisvragen:

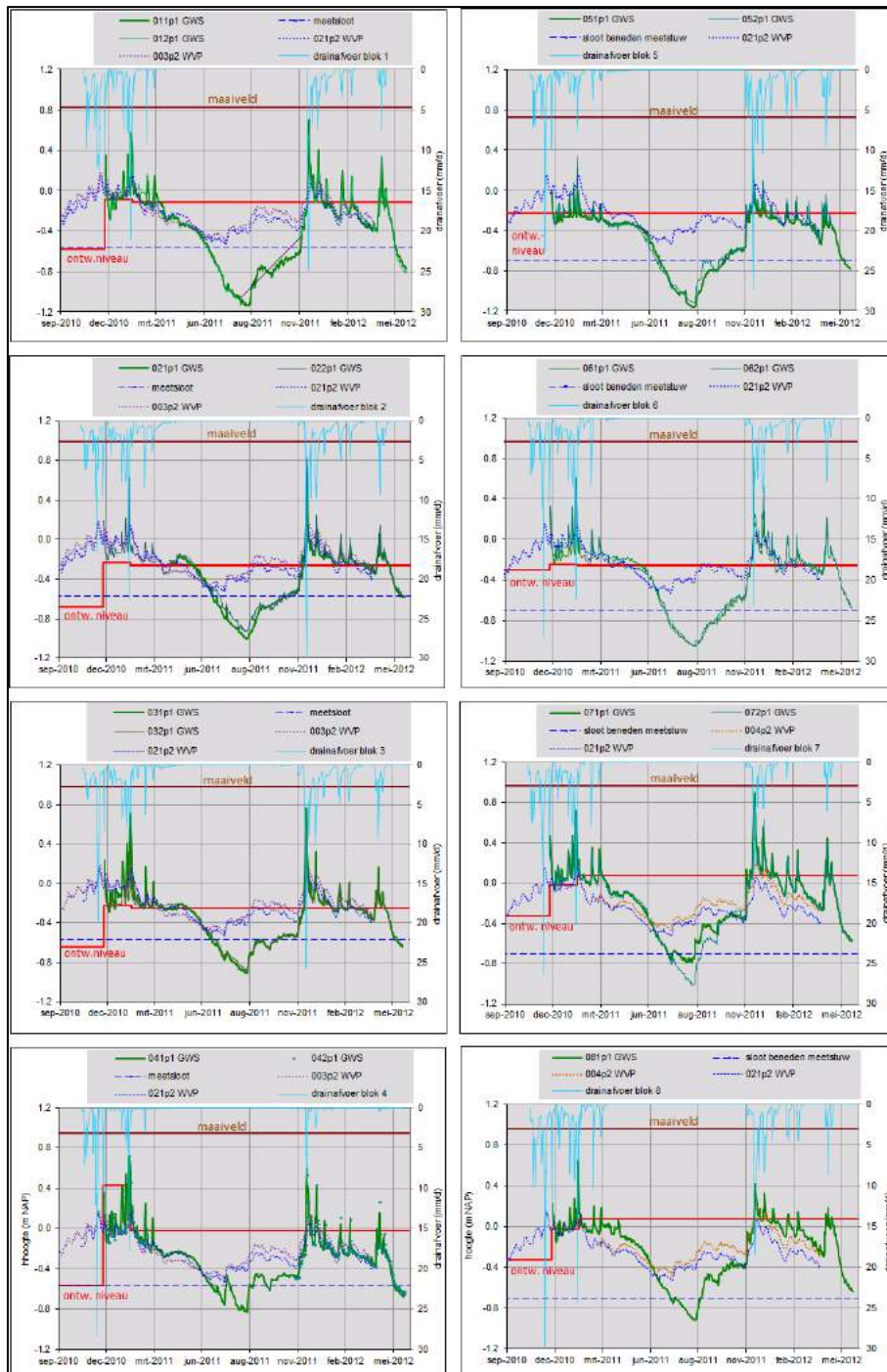
1. Leidt aanleg van regelbare drains tot meer verstoring van de bodem en navenante oogstderiving als conventionele drainage?
2. Leidt regelbare diepdrainage tot hogere gewasopbrengsten?
3. Leidt regelbare diepdrainage tot een betere berijdbaarheid in natte perioden?

Om deze vragen te beantwoorden zijn de grondwaterstanden, afvoeren, concentraties en stofvrachten en gewasopbrengsten nader geanalyseerd. Op dagbasis zijn water- en stofbalansen vastgesteld en relaties afgeleid tussen grondwaterstanden en afvoeren.

Bij het vergelijken van de blokken geldt enerzijds dat de vier typen behandelingen in duplo zijn uitgevoerd. Maar er is voorzichtigheid geboden bij onderlinge vergelijking omdat er door variatie in bodemopbouw en afstand tot sloten duidelijke verschillen zijn tussen de noordelijke en zuidelijk blokken. Bovendien ligt blok 5 grotendeels in de kreekkrug en heeft daarbij door de relatief lage maaiveldligging een duidelijk ondiepere ontwatering dan in het ontwerp was beoogd.

Grondwaterstanden en werking drains (vraag 1 en 2)

De gemeten grondwaterstanden zijn weergegeven in Figuur 150. In ieder blok is ook het ontwateringsniveau van de drains, het waterpeil in de naastgelegen sloot en de afvoer weergegeven. Als de grondwaterstanden boven het ontwateringsniveau uitkomen voeren de drains water af. Als de stijghoogte in het watervoerend pakket (omgerekend naar zoet water) boven de grondwaterstand en/of het slootpeil uit komt, zal kwel optreden naar het perceel en/of de sloot.



Figuur 150

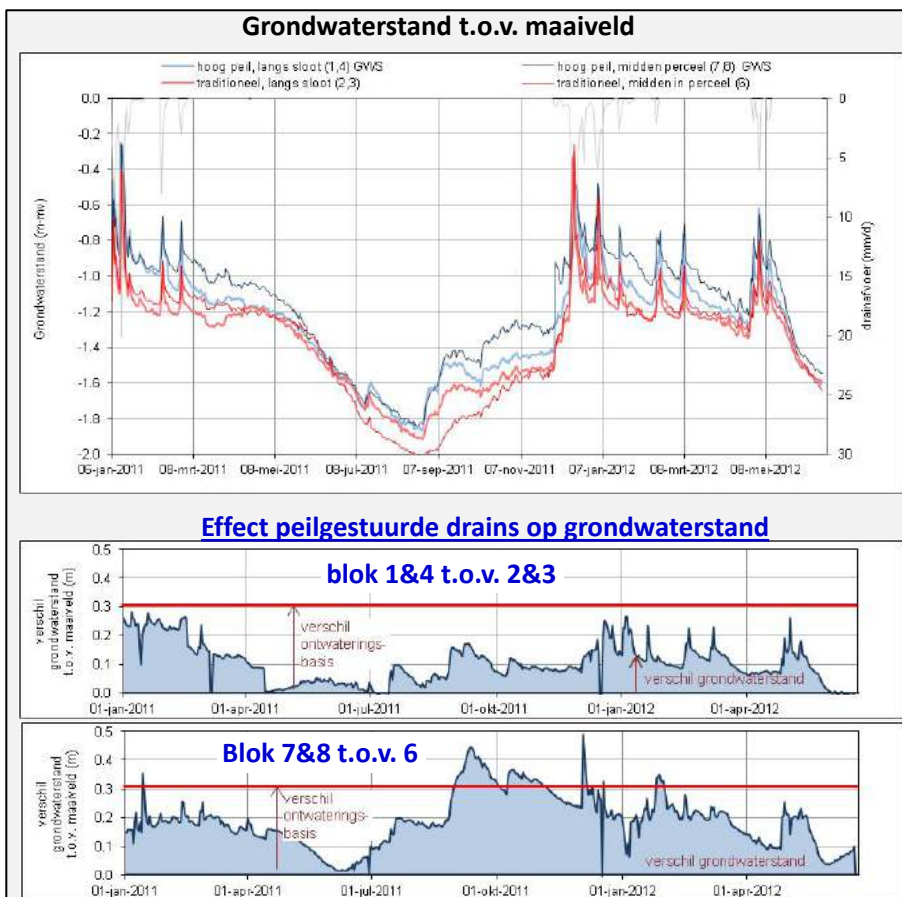
Gemeten grondwaterstanden, stijghoogten en drainafvoeren. Van beide sloten zijn de ontwateringsniveaus en waterpeilen weergegeven.

Uit het grondwaterstandsverloop (Figuur 150) vallen de volgende patronen op:

- De grondwaterstanden in verschillende behandelblokken volgen een vergelijkbaar patroon: in de winterperioden (het afvoerseizoen) stijgen de grondwaterstanden na hevige neerslag en dalen na een bui binnen een periode van enkele dagen weer naar het oorspronkelijke niveau. Alle percelen lijken dus goed gedraineerd.

- In de regelbare blokken (blauwe lijnen) dalen de grondwaterstanden al snel onder het ontwateringsniveau (bovenste stippellijn), terwijl de grondwaterstanden in de niet regelbare blokken langer boven het conventionele ontwateringsniveau blijven. Dit brengt met zich mee dat de niet-regelbare drains langer blijven afvoeren.
- In de zomer zakken grondwaterstanden in alle blokken ver uit. Omdat de potentialen van het freatische grondwater dan lager zijn dan in het watervoerende pakket, treedt in de zomer kwel vanuit het watervoerende pakket op. In de winterperioden is de stijghoogte van het grondwater in het watervoerende pakket ongeveer op het niveau van de freatische grondwaterstanden
- In het najaar stijgen de grondwaterstanden in de regelbare blokken sneller. Dit houdt vermoedelijk verband met bodemeigenschappen of vochtgehalte in de onverzadigde zone. De peilsturing speelt hier nog geen rol aangezien alle grondwaterstanden in deze periode lager zijn dan het ontwateringsniveau van de drains.

Figuur 151 geeft inzicht in hoeverre de grondwaterstanden in de regelbare blokken zich verhouden ten opzichte van de niet regelbare blokken. Door de invloed van de meetsloot zijn de noordelijke en zuidelijke blokken hierin apart beschouwd.



Figuur 151

Effecten van verhoogde ontwateringsbasis op grondwaterstanden. Bovenin zijn de grondwaterstanden, gemiddeld per behandeling weergegeven ten opzichte van maaiveld. Onderin zijn de grondwaterstandsverschillen tussen de wel/niet regelbare blokken weergegeven. Langs de drainerende sloot is dit verschil circa 10 cm, in het midden van het perceel circa 20 cm.

Bovenin Figuur 151 zijn de grondwaterstanden, gemiddeld over de wel/niet regelbare blokken, weergegeven ten opzichte van maaiveld en onderin ten opzichte van elkaar. In de regelbare blokken in het midden van het perceel, blijkt dat het 30 cm hogere ontwateringsniveau resulteert in gemiddeld ongeveer 20 cm hogere grondwaterstanden. In de zuidelijke blokken resulteert het eveneens 30 cm hogere ontwateringsniveau in ongeveer 10 cm hogere grondwaterstanden. De drainerende (meet)sloot is waarschijnlijk de oorzaak dat de verhoogde ontwateringsbasis in de zuidelijke blokken minder effect heeft.

Vraag 1: Wordt met regelbare drainage extra water in de bodem vastgehouden?

Antwoord: Ja. De hoeveelheid extra berging is van tijdelijke aard en geringer dan de verhoging van de ontwateringsbasis: 10 cm nabij de slootrand en 20 cm in de proefblokken in het midden van het perceel.

Vraag 2: Werken de verdiept aangelegde drains net zo goed als ondiepe drains?

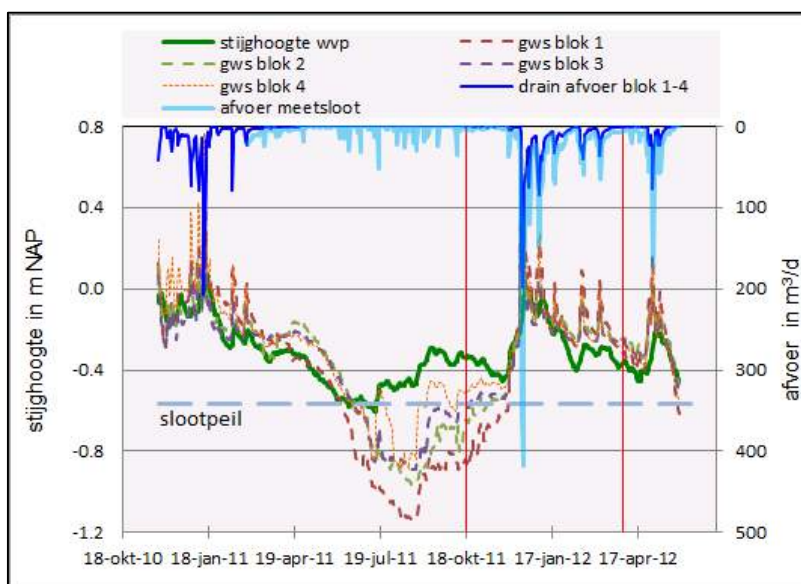
Antwoord: Ja. Piekgrondwaterstanden worden in alle blokken vrij snel afgevlakt.

14.14 Waterbalans (vraag 3, 4 en 5)

In de blokken 1-4 worden de afvoeren van de drains vergeleken met de afvoer van de afgedamde meetsloot, omdat zij hierin afwateren. Dit gegeven biedt houvast om de verschillende waterbalanstermen te kwantificeren. Daarom is de analyse van de waterbalans en afvoeren eerst gericht op de drains die op de meetsloot zijn aangesloten (blok 1-4).

14.15 Afvoerregimes

In Figuur 152 zijn de gemeten afvoer van de drains en meetsloot voor blok 1-4 weergegeven. In de figuur zijn ook de grondwaterstanden in de blokken weergegeven en de stijghoogte van het watervoerende pakket (ter plaatse van de vier blokken).



Figuur 152

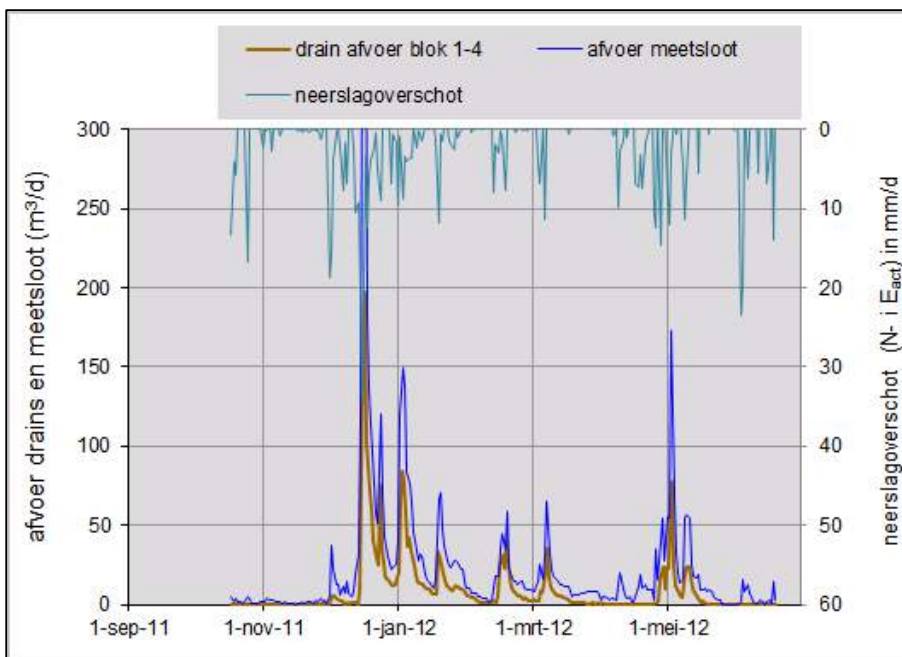
Afvoer van de meetsloot en het erop aangesloten drainblok 1-4, in relatie tot de freatische grondwaterstanden en de stijghoogte van het watervoerende pakket, gemeten in peilbuisfilters op 6 à 7 m -mv.

Uit Figuur 152 blijkt dat in de meetperiode drie verschillende regimes te onderscheiden zijn:

- de winterperiode van 2010-2011; vanaf 14-10-2010 zijn de drainafvoeren geregistreerd; medio en eind december is een periode met veel neerslag geweest;
- de zomerperiode van 2011; vanaf april was het droog; tot medio oktober is nauwelijks water afgevoerd;
- de winterperiode van 2011-2012: vanaf 18 oktober zijn de drains gaan afvoeren; perioden met veel regen waren van medio december tot medio januari en begin mei.

De dagelijkse afvoer van drains, meetsloot voor blok 1-4 en het neerslagoverschot is in Figuur 153 weergegeven voor de winterperiode 2011-2012. Hierin zijn drie verschillende afvoersituaties te onderscheiden:

- de situatie waarbij zowel de sloot als de drains niet afvoeren;
- de perioden waar alleen water vanuit de meetsloot wordt afgevoerd;
- de perioden waar zowel water vanuit de drains als de meetsloot wordt afgevoerd.



Figuur 153

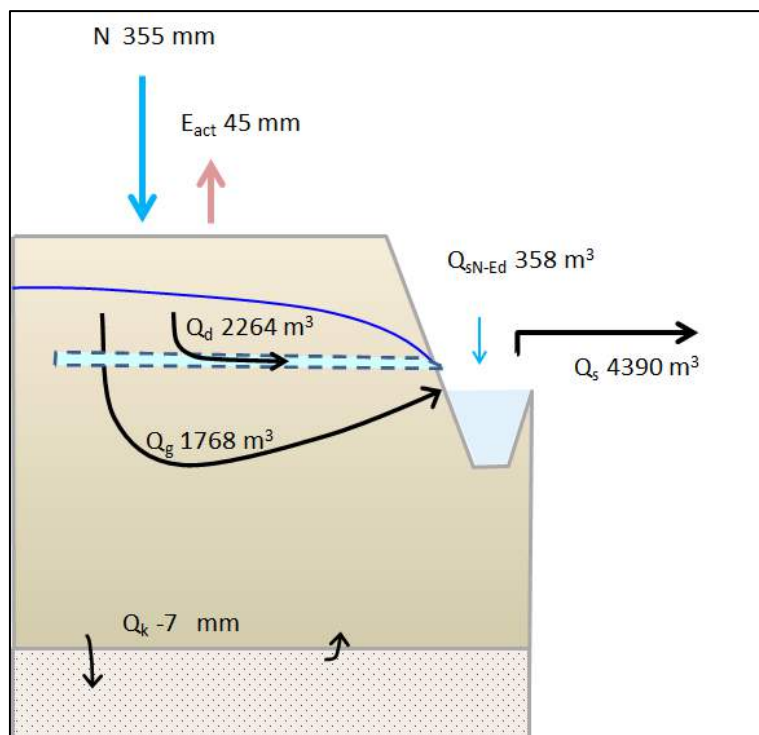
Verloop van drainafvoer, afvoer uit de meetsloot en het neerslagoverschot.

Uit de gemeten afvoeren kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De afvoeren reageren snel op de neerslag.
- Er zijn diverse dagen dat de sloot water afvoert terwijl de drains niet afvoeren. Dit is een aanwijzing voor het optreden van kwel naar de sloot. De hoeveelheden hiervan zijn echter zeer gering ten opzichte van de overige afvoer.

Waterbalans van proefblokken 1 t/m 4

In deze paragraaf is de waterbalans voor de drains en meetsloot opgesteld voor de afvoerperiode van 18 oktober 2011 t/m 1 april 2012. In deze periode zijn de debieten en bijbehorende concentraties van zowel de meetsloot als de hierop aangesloten drains betrouwbaar gemeten.



Figuur 154

Waterbalans van de meetsloot periode gedurende de periode 18-10-2011 t/m 31-03-2012.

De waterbalans van een drainblok en meetsloot is schematisch weergegeven in Figuur 154. Het neerslagwater op de proefblokken wordt afgevoerd via de drains en uitwisseling met ondiep grondwater. De meetsloot wordt gevoed door de drains, lateraal toestromend grondwater (ondiep grondwater + kwel) en direct neerslagoverschot.

Neerslag en verdamping proefperceel ($N - E_{act}$): in de beschouwde periode viel 355 mm neerslag en de referentie gewasverdamping bedroeg 112 mm. De actuele gewasverdamping is berekend door de referentieverdamping te vermenigvuldigen met gewasfactoren voor suikerbieten, graan en braakliggende grond (decadewaarden gewasfactoren behorende bij referentie-gewasverdamping (Hooghart, 1988)). Dit resulteert in een actuele verdamping van 45 mm en dus een neerslagoverschot van 310 mm. De grondwaterstanden zijn aan het begin lager dan aan het eind van de periode, zodat voor de vochtbalans van de bodem rekening moet worden gehouden met bergingsverandering.

Drainafvoer (Q_d): De drainafvoer is ook direct gemeten en bedraagt 2264 m^3 (= 193,6 mm).

Ondiep grondwater (q_g): Het deel van het neerslagoverschot dat niet door de drains (q_d) wordt afgevoerd stroomt naar het ondiepe grondwater. Over de beschouwde periode bedroeg het neerslagoverschot 310 mm en is door de drains (blok 1-4) 194 mm afgevoerd. Het deel van het neerslagoverschot dat via het grondwater wordt afgevoerd bedraagt 116 mm.

Bergingsverschil:

Door de opzet van deze waterbalans wordt geen bergingsverschil berekend. In werkelijkheid wordt een deel van de 116 mm niet direct afgevoerd, maar leiden tot stijging van de grondwaterstand en dus in de bodem

worden geborgen. Als de waterbalans van het drainblok over een langjarige situatie wordt opgesteld, zal het bergingsverschil gering zijn.

14.16 Waterbalans van de meetsloot

Zoals aangegeven wordt de meetsloot gevoed door de drains, lateraal toestromend grondwater (ondiep grondwater + kwel) en direct neerslagoverschot. De slootafvoer bedraagt 4390 m³

Neerslagoverschot sloot [$N_s - E_s$]_{direct}: Het directe neerslagoverschot bedraagt 253 mm. Vermenigvuldigd met de slootlengte (294 m) en effectieve slootbreedte (5 m) levert dit 358 m³ op

Kwel (q_k): De kwel kan berekend worden op basis van de gemeten stijghoogteverschillen tussen het watervoerende pakket en het freatische grondwater en de deklaagweerstand. Conform een waterbalansstudie op nabijgelegen percelen van de Rusthoeve (Eertwegh, 1999) is een deklaagweerstand aangehouden van 300 dagen. Voor de beschouwde periode levert dit een kwelflux op van -7 mm. Er is in deze winterperiode dus gemiddeld sprake van enige wegzijging.

Ontwaterend oppervlak (A_g): Nu het debiet van de sloot, drains, neerslagoverschot van de sloot, de grondwaterflux en kwel bekend zijn, resteert één onbekende term in de waterbalans, namelijk het oppervlak waarover het grondwater en de kwel naar de meetsloot wordt afgevoerd. Invulling van alle bekende termen in de waterbalans levert een afvoerend oppervlak van 16100 m² (1,6 ha).

Uit deze waterbalans volgt dat de aangelegde drains meer dan de helft van het neerslagoverschot in blok 1-4 (194 mm) naar de meetsloot afvoeren en dat de rest (116 mm) naar het grondwater infiltreert en via de bodem naar de sloot wordt afgevoerd. Deze laterale grondwaterstroming wordt veroorzaakt door het stijghoogteverschil tussen het freatische grondwater en het waterpeil in de sloot.

Analyse van de aanvoertermen op dagbasis bevestigt dat er een sterke correlatie is tussen de laterale grondwaterafvoer en het verschil tussen de grondwaterstand en het slootpeil. Hierbij is voor de laterale grondwaterafvoer het verschil aangehouden tussen de gemeten afvoer van de sloot en de som van de gemeten drainafvoer en de direct op de sloot vallende neerslag (- verdamping). De sterke correlatie ($R^2 = 0,78$) bevestigt de veronderstelling dat het lage peil in de meetsloot een aanzienlijk drainerende werking heeft op de aangrenzende blokken 1-4.

Vraag 3: Welk aandeel van het neerslagoverschot wordt via de drains afgevoerd?

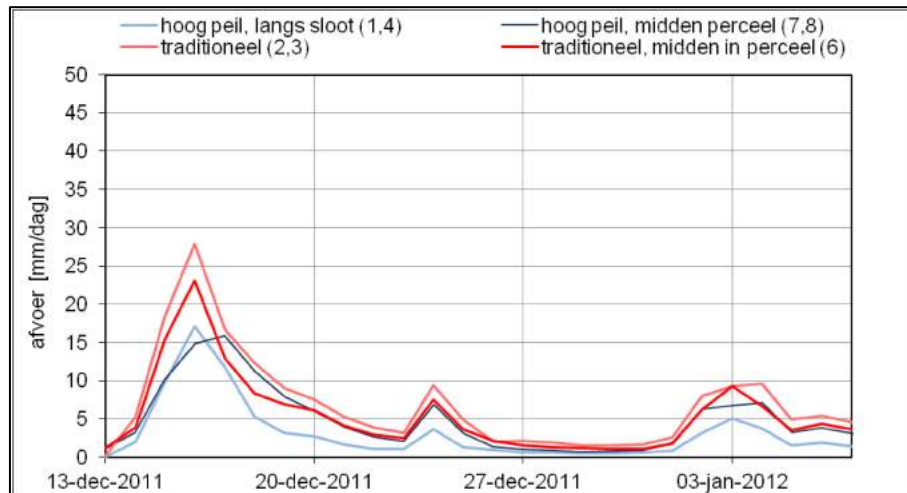
Antwoord: De drains voeren in het winterhalfjaar ruim de helft (60%) van het neerslagoverschot af. De rest infiltreert naar het diepere grondwater en wordt lateraal afgevoerd naar de meetsloot. De meetsloot heeft door het lage slootpeil dus ook een sterk drainerende werking.

Vraag 4: Welke aandeel van de slootafvoer is afkomstig uit drains?

Antwoord: De slootafvoer bestaat voor de helft (50%) uit drainafvoer. Het water in de meetsloot bestaat naast drainafvoer vooral uit laterale ondiepe grondwaterstroming en voor een klein deel uit directe neerslag en zoute kwel.

14.17 Analyse van piekafvoeren

In Figuur 155 is de drainafvoer van regelbare en niet-regelbare blokken met elkaar vergeleken. De pieken van de regelbare drains zijn over het algemeen lager dan die uit blokken met een conventionele ontwateringsbasis. Ook de optelsom van de drainafvoer en de grondwaterafvoer in de regelbare blokken vertoont lagere pieken dan de niet-regelbare blokken.



Figuur 155

Drainafvoeren tijdens de winter 2011/2012.

Vraag 4: Nemen door peilsturing de piekafvoeren naar het oppervlaktewaterstelsel af?

Antwoord: Ja, de regelbare blokken geven minder hoge piekafvoeren, maar de verschillen met de niet-regelbare blokken zijn niet erg groot.

14.18 Waterkwaliteitspatronen (vraag 6, 7, 8 en 9)

In diverse studies is aangetoond dat bemesting van landbouwpercelen in veel Nederlandse bodems een hoge uit- en afspoeling van nutriënten veroorzaakt (Oenema et al., 2005). De hypothese is dat door regelbare drainage het aangesloten oppervlaktewater minder met nutriënten wordt belast en dat aanleg van de drains op grotere diepte ook bijdraagt aan het verminderen van de nutriëntenbelasting. Verder is de verwachting dat diepere drains leiden tot een dikkere zoetwaterlens bovenin het bodemprofiel en dat het verhogen van de ontwateringsbasis ertoe leidt dat de invloed van zoute kwel meer naar de diepte wordt gedrongen. Om deze hypothesen te toetsen, is de kwaliteit gemeten van het grondwater op verschillende diepteniveaus, alsmede het drainagewater en het water in de meetsloot. Ook is het grondwater geanalyseerd op stikstofisotopen. In het navolgende worden de resultaten behandeld van achtereenvolgens de gemeten drain- en grondwaterkwaliteit en de gemeten patronen van de stikstofisotopen.

Waterkwaliteit van bodemvocht, ondiep en diep grondwater

De kwaliteit van het bodemvocht en bovenste grondwater is gemeten door poreuze cups in de blokken. In vier blokken zijn op zes diepten cups geplaatst; 0,5 0,7 1,1 1,5 1,8 en 2,5 m -mv. Deze zijn periodiek

bemonsterd, en in het laboratorium geanalyseerd. Het diepe grondwater in het eerste watervoerende pakket is gemeten in de peilbuisfilters onder de deklaag op een diepte van 6 - 7 m -mv.

Chloride en ammonium toenemen met de diepte, terwijl nitraat met de diepte afneemt. Dit is in overeenstemming met de geohydrologische situatie en bijbehorende algemene geochemische patronen; op 6 m diepte begint het watervoerende pakket. Het grondwater hierin is zout en gereduceerd (geen nitraat). Bovenin is juist het tegenovergestelde het geval, het bovenste grondwater is oxisch (zuurstof en nitraat aanwezig) en door de neerslag zoet. Op enige diepte verdwijnt nitraat door reductie. Gelet op de ijzergehalten ligt het redoxfront waarbij nitraat wordt afgebroken op een diepte rond 1½ à 2 m -mv.

De chloridegehalten en daaraan voor diep grondwater te relateren parameters (IC (alkaliteit), ammonium, natrium, kalium, magnesium) nemen met de diepte toe, terwijl de nitraatgehalten en de ¹⁵N-verhouding met de diepte afneemt. Een verhoogd ¹⁵N-verhouding duidt op het optreden van denitrificatie, omdat de microbacteriën die deze afbraak bewerkstelligen een voorkeur hebben voor het iets lichtere ¹⁴N atoom.

Bij de analyses is voor het meest ondiepe traject onderscheid gemaakt tussen het eerste en tweede meetjaar, om na te gaan of en hoe de verschillen in N/P-overschotten en de verstoring van de bouwvoor door de aanleg van de drains van invloed zijn op de concentraties in het ondiepe bodemvocht. Hieruit blijkt dat in het tweede meetjaar (april 2011-juni 2012) hogere zoutgehalten zijn gemeten, maar dat dit niet samengaat met een toename aan ammonium, natrium en magnesium. De hogere concentraties komen daarom waarschijnlijk niet door het meer omhoog komen van kwelwater. De hogere alkaliteit (IC) ¹⁵N-verhouding in het tweede meetjaar kan komen doordat meer denitrificatie is opgetreden, maar er kunnen ook andere factoren zijn die hierbij een rol spelen, zoals indamping, het onderwerken van de bonenoogst en gewasopname. Dat de concentraties van nitraat in het tweede meetjaar veel lager zijn, komt mede doordat het N-overschot (bemesting plus atmosferische depositie minus gewasopname) in het tweede meetjaar erg gering was; veel van het stikstof is immers opgenomen en met de oogst van het gewas (suikerbieten) afgevoerd.

Het bovenste grondwater (1,8 - 2,5 m -mv) heeft in de regelbare blokken iets lagere nitraatgehalten en hogere ¹⁵N verhoudingen dan de niet regelbare blokken. Dit patroon komt ook duidelijk naar voren als de diep gedraineerde blokken worden vergeleken met de ondiep gedraineerde blokken. Op een diepte van 1,8 - 2,5 m -mv wordt het grondwater in blok 7 minder door het diepe zoute kwelwater beïnvloed. Dit zou erop kunnen duiden dat het hogere ontwateringsniveau leidt tot een grotere zoetwaterlens.

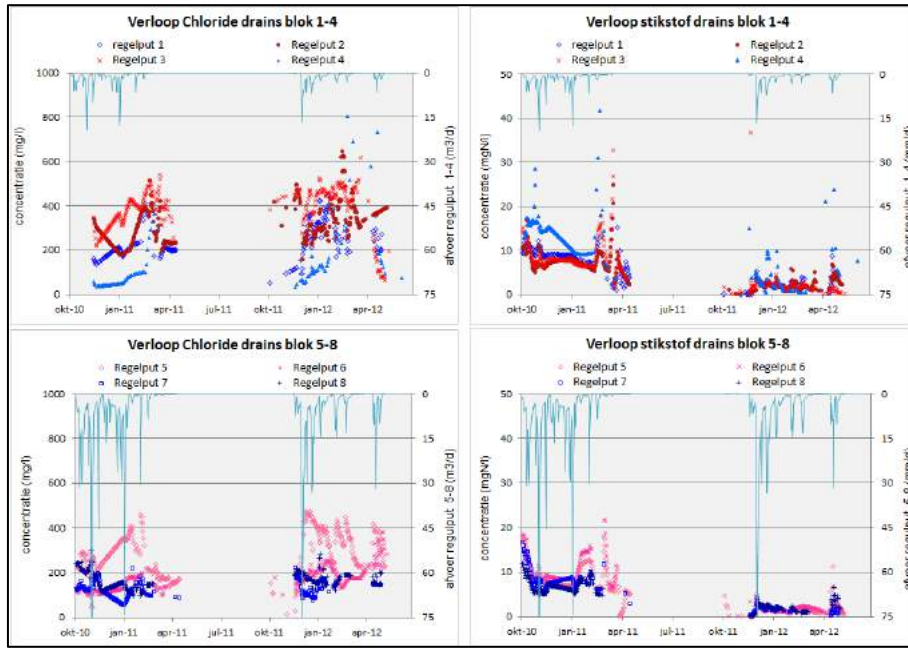
14.19 Kwaliteit van het drainagewater

Uit de resultaten van de metingen blijkt dat het drainagewater is meestal vrij zoet, kalkrijk (hoog calcium en alkaliteit) is en vrij lage gehalten aan fosfaat en fosfor bevat. Stikstof komt zowel voor in de vorm van nitraat als in ammonium, hoewel het aandeel ammonium gemiddeld gezien vrij klein is. Bij toenemende zoutgehalten neemt het aandeel ammonium sterk toe. De gehalten variëren wel vrij sterk, hetgeen waarschijnlijk mede komt doordat het enige tijd duurt voordat de veroorzakende processen in evenwicht zijn met de nieuwe situatie.

Ondanks de grote verschillen in waterafvoer via de drains zijn de variaties van de chloridegehalten met de tijd niet zo groot. De ammoniumgehalten zijn laag en ook de gehalten aan sporemetalen zijn in het algemeen laag. Het nitraatgehalten in het drainwater zijn duidelijk lager dan de concentraties van het bodemvocht (0,5 a 0,7 m -mv), en vaak ook lager dan het ondiepe grondwater. In de winterperiode van november 2011 - juni 2012 zijn alleen de nitraatconcentraties duidelijk lager dan de periode daarvoor.

Figuur 156 geeft nader inzicht in het verloop van de chloride- en stikstofgehalten in de tijd per blok. Uit dit verloop blijkt duidelijk dat de regelbare drains lagere chloridegehalten bevatten. Voor stikstof is een duidelijke

trend in de tijd waarneembaar; in de eerste winterperiode zijn vrij hoge nitraatgehalten gemeten met ook vrij hoge pieken. In de tweede winterperiode (2011-2012) zijn de concentraties beduidend lager en afgevlakt. Dit patroon is in overeenstemming met de kwaliteit van het bodemvocht. Het geringe N-overschot tijdens de teelt van suikerbieten in het tweede meetjaar is wellicht een belangrijke oorzaak voor de lagere nitraatconcentraties in het drainwater. Ook kan de intensieve grondbewerking bij de aanleg van de drains ertoe hebben geleid dat het aanwezige organisch gebonden stikstof versneld is omgezet in anorganisch stikstof.



Figuur 156

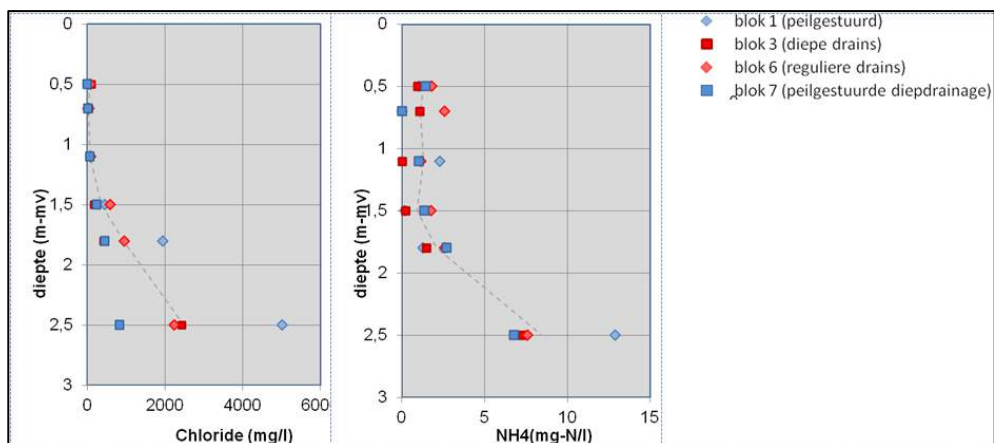
Verloop van de chlorideconcentraties per blok tussen oktober 2010 en mei 2012; links chloride en rechts stikstof. Blauw = regelbare blokken (1, 4, 7 en 8); rood = conventionele blokken (2, 3, 5 en 6).

Zoet-zout patronen op de gemeten percelen

Het verdiept aanleggen van drains leidt in theorie tot een dikkere zoetwaterlens en daarmee een lagere risico op verzilting van de wortelzone. De kortere afstand tussen drain en watervoerend pakket geeft een lagere bodemweerstand waardoor het zoutgehalte in de drainafvoer toeneemt. Een verhoogde ontwateringsbasis kan ertoe leiden dat de zoute kwel naar de drains afneemt. De vraag is wat de effecten op de zoet-zout verdeling zijn als verdiepte aanleg van drains wordt gecombineerd met een verhoogde ontwateringsbasis.

Diktes van zoetwaterlensen op de gemeten percelen

De chloridegehalten en ammonium in het ondiepe grondwater zijn in Figuur 157 weergegeven met de diepte. De chloride- en ammoniumconcentraties zijn in de bovenste meter constant. Dieper dan 1,5 m beneden het maaiveld neemt het zoutgehalte met de diepte toe. Het chloridegehalte in het watervoerend pakket (6 m -mv) bedraagt zelfs 9500 mg/l; dit komt overeen met het zoutgehalte van 50% verdund zeewater. Ook voor ammonium is een sterke toename met de diepte waar te nemen, vooral beneden draindiepte.



Figuur 157

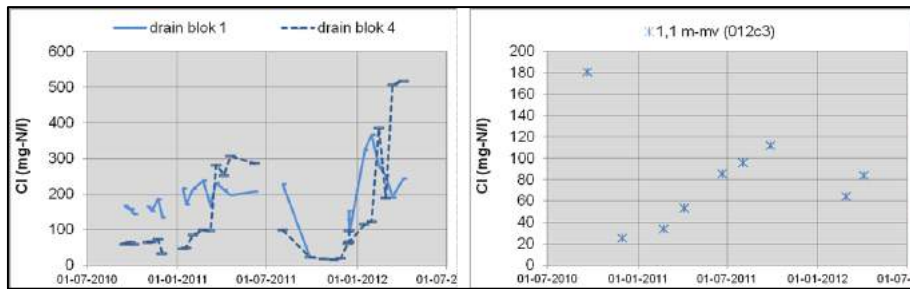
Diepteprofielen van chloride- en ammoniumgehalten in de bodemvocht, gerelateerd aan de drainageconfiguraties.

De chloridegehalten in cups zijn op draandiepte lager zijn dan de chloridegehalten in de drains. De ondiepe drains (blok 1 en 6) hebben in de winterperiode een gemiddeld chloridegehalte van 195 mg/l, terwijl het chloridegehalte in de cups op 1,1 m -mv (de draandiepte) hier 145 mg/l is. Ook de diepe drains hebben met 296 mg/l een hoger chloridegehalte dan de 185 mg/l in cups op 1,5 m -mv. Blijkbaar vormt zich tussen de drains een iets dikkere zoetwaterlens dan ter plaatse van de drains en trekken de drains door menging een kleine hoeveelheid zout kwelwater aan. Dit is overeenkomstig de waarnemingen van Staveren en Velstra (2011).

14.20 Trends in chloridegehalten

De trends in chloridegehalten zijn in Figuur 158 weergegeven voor de drains en cups op draandiepte (1,1 m -mv) van proefblok 1. De chloridegehalten in de cups stijgen gedurende de zomer door verdamping. De chloridegehalten in de drains nemen toe als de drains, na de zomer droog te hebben gestaan, gedurende het winterseizoen weer gaan afvoer.

Om na te gaan of verzoeting of als gevolg van de verschillende type drainage verzilting optreedt, is gekeken in hoeverre de zoutgehalten in het tweede meetjaar in de drains zijn toe- of afgenomen ten opzichte van het eerste meetjaar. In alle blokken zijn de chloridegehalten toegenomen, maar er is geen verband gevonden tussen de mate van toename en de verschillende behandelingen. In de ondiepe cups zijn de gehalten in de regelbare blokken minder toegenomen dan in de niet-regelbare blokken. Dit is een aanwijzing dat hier door de peilopzet meer regenwater in het bodemprofiel is geborgen waardoor minder zout grondwater via capillaire nalevering is opgetrokken.



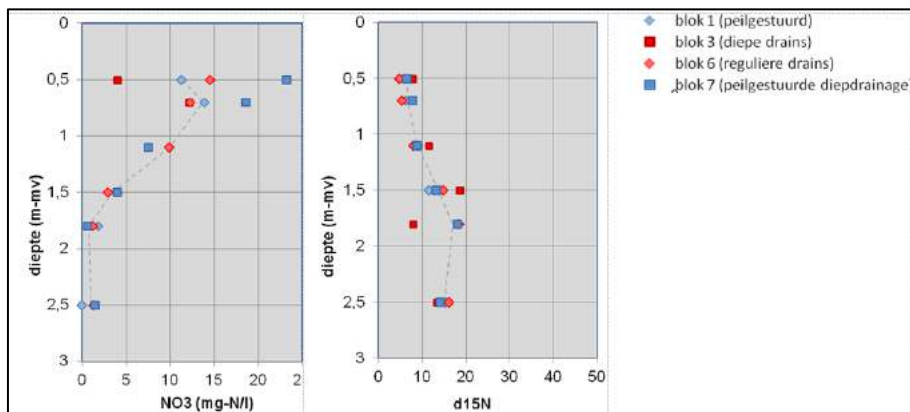
Figuur 158

Verloop van chloridegehalten in de drains van blok 1 (links) en cups op draaindiepte (rechts) tussen juli 2010 en juli 2012.

Geconcludeerd wordt dat op de percelen duidelijk een zoetwaterlens aanwezig is, en dat de overgangszone naar zouter grondwater op ongeveer 1,8 m beneden het maaiveld begint. De verschillende drainageconfiguraties geven echter geen duidelijke verschillen in de zoet-zout patronen. Dit is niet vreemd, want het duurt door de trage grondwaterstroming vaak vele jaren voordat zich in het grondwater nieuwe zoet-zout evenwichten instellen. Modelonderzoek kan helpen om conclusies te kunnen trekken over de invloed van de behandelingen op de dikte van de zoetwaterlens. Het is daarbij wenselijk dat langer wordt doorgemeten. Ruimtelijk kan meer inzicht worden verkregen met geofysische metingen.

14.21 Onderzoek aan stikstofisotopen

Om inzicht te verkrijgen in de bronnen van stikstof en het optreden van denitrificatie zijn metingen verricht aan stikstofisotopen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de natuurlijke verhouding van de stikstofisotopen ^{14}N en ^{15}N : de zogenaemde 'natural abundance'-methode.



Figuur 159

Verloop van $\delta^{15}\text{N}$ en NO_3 -gedurende de periode september 2010 - december 2011.

Uit Figuur 159 blijkt hoe $\delta^{15}\text{N}$ met de diepte toeneemt en NO_3 afneemt. Dit duidt op het optreden van een biologisch proces. Immers, micro-organismen die NO_3 afbreken hebben een voorkeur voor de opname van ^{14}N . Bij omzetting neemt het aandeel van het zwaardere isotoop ^{15}N toe. Beneden de 1,8 m -mv zijn de stikstofisotopen en nitraatgehalten stabiel. Blijkbaar vindt op deze diepte weinig of geen denitrificatie plaats.

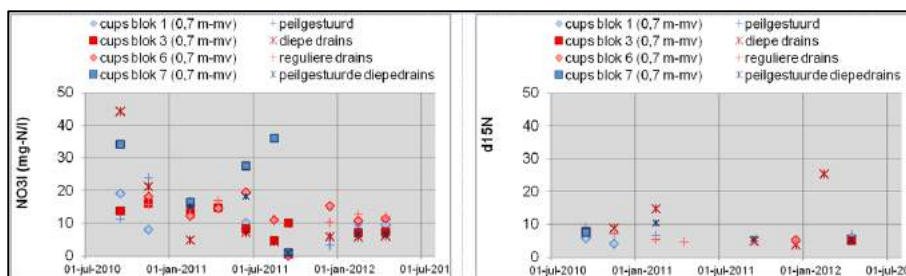
De verhoogde chloridegehalten duiden op menging met dieper zout grondwater. De resultaten kunnen geïnterpreteerd worden als het optreden van denitrificatie in de bovenste 1,8 meter van het bodemprofiel.

14.22 Herkomst nitraat bovenste grondwater

Uit het verloop van nitraatgehaltes en stikstof isotopen in het bodemvocht op 0,7 m -mv kan worden afgeleid dat de NO_3 -concentraties het hoogst zijn in de maanden augustus en september. In de zomer wordt het perceel bemest en treedt nitrificatie op onder invloed van de hogere temperaturen. In de winter nemen de nitraatgehaltes af door verdunning met jong hemelwater en mogelijk ook denitrificatie.

De $\delta^{15}\text{N}$ -waarden blijken opvallend constant, zowel ruimtelijk als in de loop van de tijd. Dit geeft aan dat de relatieve bijdrage van verschillende type bronnen zoals kunstmest, nitrificatie, en atmosferische depositie vermoedelijk redelijk constant zijn in ruimte en tijd. De nitraatconcentraties en daarmee de belasting van het ondiepste grondwater vertonen veel meer variatie.

De nitraatgehaltes in het eerste meetjaar 2010/ 2011 zijn hoger dan die tijdens de winter van 2011/ 2012. Dit geldt ook voor de $\delta^{15}\text{N}$ -waarden die afnemen van gemiddeld 7,0‰ naar 5,2‰. Hogere $\delta^{15}\text{N}$ -waarden worden over het algemeen geassocieerd met omzettingsprocessen. De $\delta^{15}\text{N}$ waarden van kunstmest zijn veel lager, circa 2‰. De meest voor de hand liggende reden voor de hogere nitraatgehaltes in het eerste meetjaar is een sterke toename van nitrificatie van organische stikstof door omwoelen en oxidatie van de bodem bij aanleg van de drainage.



Figuur 160

Nitraatconcentraties (links) en stikstofisotopen (rechts) in ondiep grondwater. Per proefblok zijn de metingen in twee afzonderlijke cups weergegeven, op een diepte van 0,7 m -mv.

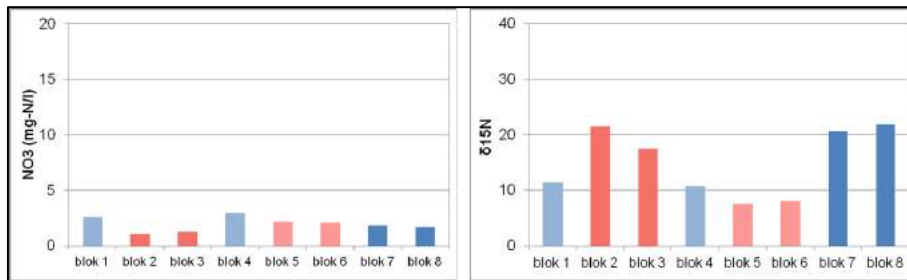
Tot slot is geen duidelijk effect waarneembaar van de drainageconfiguratie op de NO_3 -gehalten en $^{14}/^{15}\text{N}$ belasting van het ondiepe grondwater; zie Figuur 160. Blijkbaar heeft de peilsturing van 10 tot 20 cm geen invloed gehad op NO_3 -gehalten in de onverzadigde zone.

De aanleg van drainage in het eerste meetjaar is in het concentratieverloop van nitraat en de stikstofisotopen van het grondwater op draandiepte, ook op grotere diepte, terug te zien. In zowel drains als cups op draandiepte zijn verhoudingsgewijs hoge nitraatgehaltes gemeten met een gemiddelde van 7 mg-N/l. Bovendien is de verhouding $\delta^{15}\text{N} / \text{NO}_3$ (= 2,5) relatief laag. Blijkbaar trad maar beperkte aanrijking van ^{15}N -isotopen op door nitrificatie en denitrificatieprocessen. In het tweede meetjaar 2011/2012 zijn de nitraatgehaltes in de drains en in cups op draandiepte beduidend lager (gemiddeld 2 mg N/l) en neemt de verhouding $\delta^{15}\text{N} / \text{NO}_3$ toe van 2,5 naar 10. Dit duidt op een toename van denitrificatie, en verklaart, in

combinatie met de lagere NO₃-belasting van het bovenste grondwater, de afgenomen nitraatgehalten op dranddiepte.

Invloed van de drainageconfiguratie

In Figuur 161 zijn de gemeten nitraatconcentraties en stikstofisotopen in de winterafvoerperiode 2011/2012 afgebeeld. De invloed van peilsturing op denitrificatie is beperkt. Dit is logisch omdat hiervoor al is geconstateerd werd dat peilsturing geen invloed heeft op de nitraatgehalten van het bovenste grondwater.



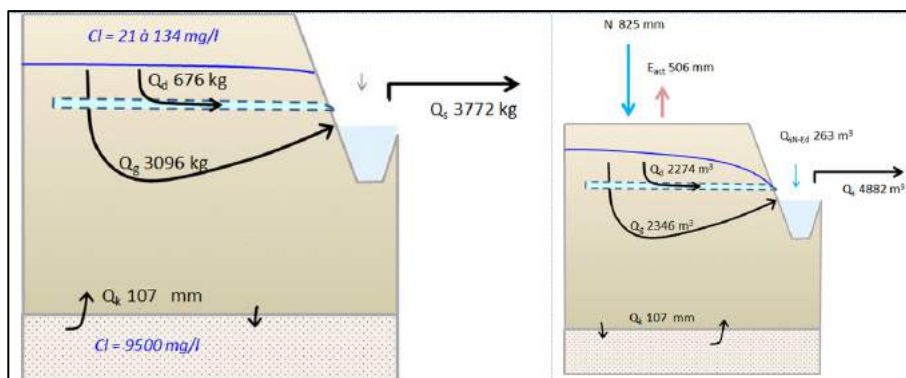
Figuur 161

Nitraatconcentraties (links) en stikstofisotopen (rechts) in drains. Per drain zijn de gemiddelde concentraties weergegeven voor de winterperiode 2011/2012 met drainafvoer.

De dranddiepte is daarentegen van grote invloed op de nitraatmissie via drains. Hogere δ15N waarden in blok 2,3, 7 en 8 geven aan dat bij diepe drains relatief veel denitrificatie plaatsvindt. Dit vertaalt zich in lagere nitraatgehalten.

De verklaring voor de verschillen in drainwatersamenstelling ligt in de denitrificatie die optreedt in het dieptetraject tussen de ondiepe en diepe drains. Dit is terug te zien in Figuur 159 waar de nitraatgehalten op de diepteligging van ondiepe drains (1,1 m -mv) duidelijk hoger zijn dan op de diepteligging van diepe drains (1,5 m -mv). Voor δ15N is een omgekeerde trend waargenomen.

De gemiddelde concentratie van het diffuus uitstromende grondwater is de resultante van de menging van kwelwater en ondiep infiltrerend bodemvocht in de deklaag. Om hiervan een beeld te krijgen is de stofbalans beschouwd over de periode 1 april 2011 t/m 1 april 2012. De afgevoerde chloridevrachten van de meetsloot en drainageblokken 1-4 zijn in deze periode respectievelijk 3772 en 676 kg. Hieruit volgt dat de vracht vanuit het diffuus toestromende grondwater $3772-676=3095$ kg bedroeg. Over deze periode is 2346 m^3 water afgevoerd via het diffuus uitstromende grondwater. De gemiddelde chlorideconcentratie van het diffuus uitstromende grondwater is dan $3243 \text{ kg} / 2346 \text{ m}^3 = 1320 \text{ mg/l}$. De balans is schematisch weergegeven in Figuur 162.



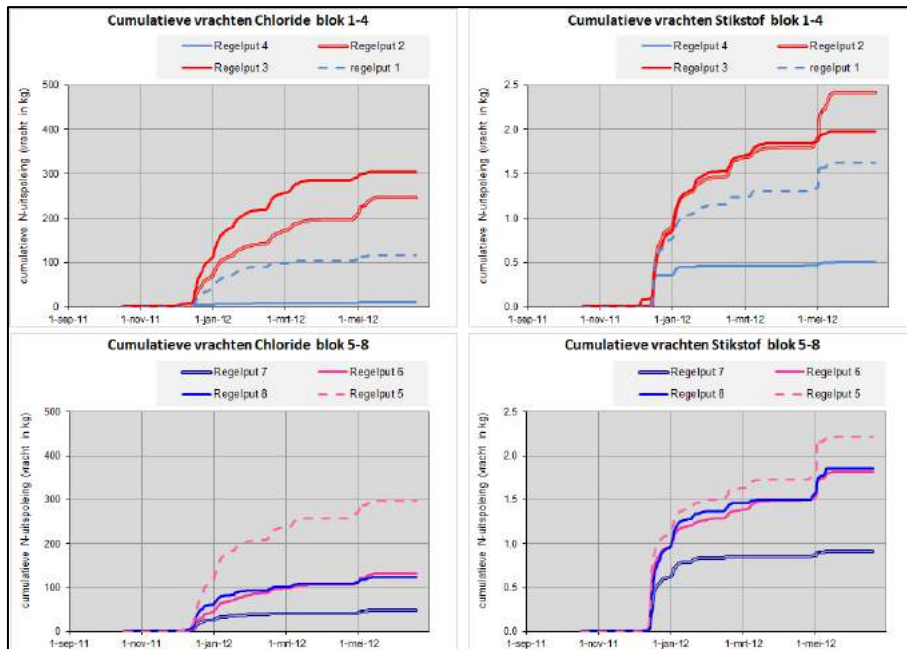
Figuur 162

Chloridebalans van de meetsloot, van = april 2011 tot april 2012. De waterafvoeren zijn rechts weergegeven.

Als deze analyse representatief is voor een stationaire situatie, kan uit deze chloridebalans de kwel flux afgeleid worden. Voor een stationaire situatie kan namelijk worden uitgegaan dat de verdeling van het zoutgehalte in de deklaag in evenwicht is met de hoeveelheden kwel en infiltratie. Uit een massabalansberekening wordt een kwel flux afgeleid van 20 mm. Variaties van de chlorideconcentraties in het infiltratiewater en kwelwater hebben hierop weinig invloed. Ook als rekening wordt gehouden met een directe kwel van 68 m³ (de hoeveelheid water die door de sloot wordt afgevoerd op dagen dat de drains niet afvoerden), wordt op basis van de mengverhoudingen een vergelijkbare kwel berekend.

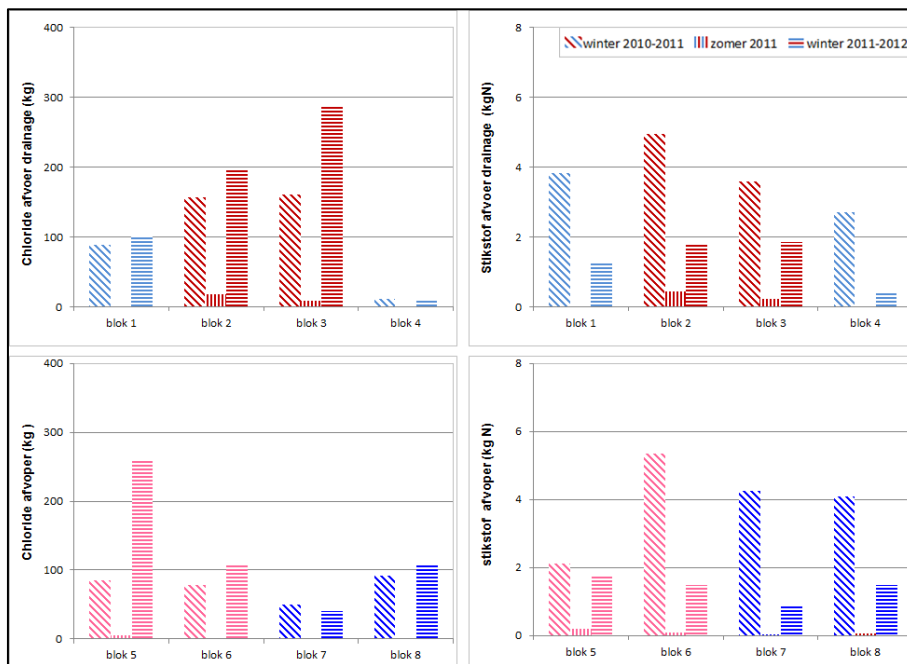
14.23 Stofbalans (N en Cl)

Om te kunnen zien welk type behandeling het oppervlaktewater meer/minder met nutriënten belast, zijn vrachtberekeningen uitgevoerd. De meetreeksen van de lab-analyses op dagbasis zijn aangevuld met ion-selectieve sensormetingen. De hiermee afgeleide vrachten zijn voor chloride en stikstof cumulatief voor het tweede uitspoelseizoen weergegeven in Figuur 163. De totale chloride- en stikstofvrachten voor de drie genoemde perioden (winter-zomer-winter) zijn weergegeven in Figuur 164. In Figuur 165 zijn op eenzelfde manier de naar afvoer gewogen concentraties weergegeven (vracht / debiet).



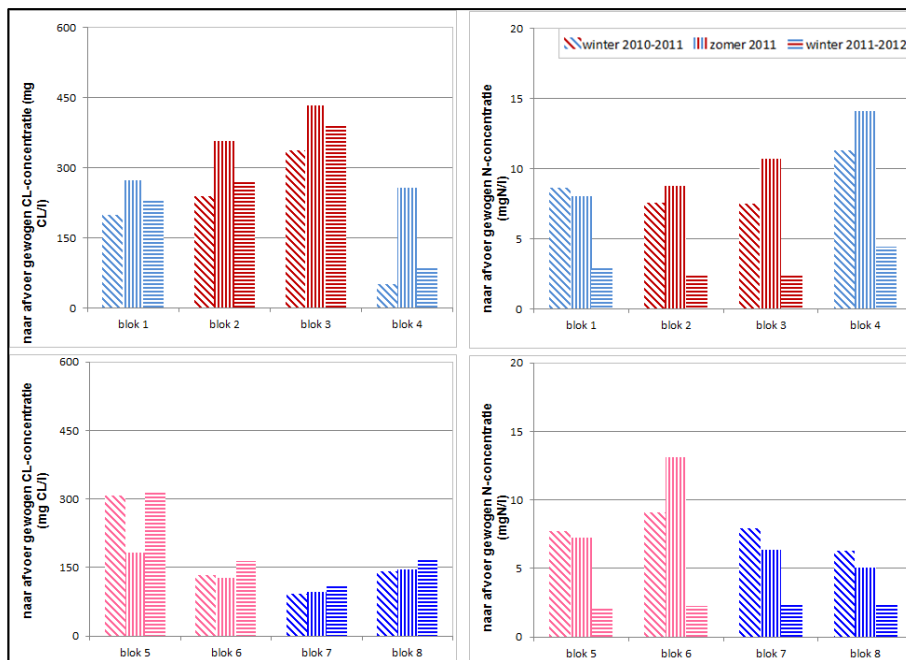
Figuur 163

Verloop van de totale uitspoeling per drainageblok: links de chloridegehalten en rechts stikstof.



Figuur 164

Stofvrachten drainwater per blok: links chloride en rechts stikstof.



Figuur 165

Naar afvoer gewogen gemiddelde concentraties drainwater: links chloride en rechts stikstof.

Uit de weergegeven kwaliteitspatronen en vrachten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- In de winter van 2011-2012 zijn de stikstofgehalten en vrachten aanzienlijk lager dan in de winter van 2011-2012.
- De regelbare blokken geven voor zowel chloride als stikstof lagere vrachten.
- De regelbare blokken hebben ondanks dat ze minder water afvoeren ook lagere chlorideconcentraties. Een verklaring hiervoor kan zijn dat meer zoet regenwater in de ondiepe bodem wordt geborgen waardoor in het drainagewater minder invloed is van het zoute kwelwater.
- De blokken met verdiept aangelegde drains voeren ouder grondwater af dat meer gereduceerd is en waarin meer nitraat is afgebroken dan de blokken met ondiepe drains. De concentraties van stoffen die juist in oplossing komen in het meer gereduceerde water zijn in de diepe drains duidelijk hoger (ammonium, ijzer, fosfaat, arseen).
- de blokken met verdiept aangelegde drains geven lagere stikstofvrachten dan de overige én hebben gemiddeld ook lagere nitraatconcentraties.
- De naar afvoer gewogen gemiddelde chloride- en stikstofconcentraties zijn in zuidelijke blokken hoger dan in de noordelijke blokken. Dit komt doordat de zuidelijke blokken onder invloed staan van de drainerende meetsloot en daardoor minder neerslag via de drains afvoeren.
- De naar afvoer gewogen concentraties variëren voor stikstof in de noordelijke blokken tussen de 2 en 13 mg N/l. Dit is vergelijkbaar met het water dat wordt uitgemalen door het nabijgelegen gemaal de Valle.

Vraag 6: Wat zijn de effecten van regelbare diepe drainage op de kwaliteit van het grondwater?

Antwoord:

Hoewel de metingen niet direct een duidelijk antwoord geven, kan voorzichtig worden geconcludeerd dat aanleg van regelbare diepe drains ten opzichte van conventionele drains ertoe leidt dat meer nitraat wordt afgebroken en dat zout kwelwater door het hogere ontwateringsniveau minder omhoog komt. Dit effect is waarschijnlijk sterk afhankelijk van de geohydrologische situatie (dikte en weerstand deklaag, kwel/wegzijing, aanwezigheid drainerende watergangen). Daarom kan niet zonder aanvullend (model)onderzoek voorspeld worden of en waar dit gunstige effect in andere gebieden zal optreden. De meetperiode is nog te kort om de processen goed te kunnen ontrafelen hetgeen wel nodig is om betrouwbare uitspraken te doen waar de behandelingen wel/niet het gewenste effect geven.

Vraag 7: Wat zijn de effecten van regelbare diepe drainage op de kwaliteit van het drainagewater?

Antwoord:

Door de nog vrij korte meetperiode, drainerende werking van de (meet)sloot, de laagte langs de westelijke sloot en mogelijke laterale beïnvloeding moet bedacht worden dat nog geen harde conclusies over de effecten van de behandelingen kunnen worden gegeven.

Wel lijkt het duidelijk dat de regelbare drains lagere chloride- en stikstofvrachten geven dan de niet regelbare drains. Echter, dit brengt niet direct lagere concentraties met zich mee, omdat ook minder water wordt afgevoerd.

Ondanks de onzekerheden lijkt het ook duidelijk dat de dieper gelegen drains meer gereduceerd grondwater afvoeren. Daardoor is de chemische samenstelling anders (hogere gehalten ammonium, ijzer, fosfaat, arseen) en is meer nitraat door denitrificatie afgebroken.

Vraag 8: Treedt tijdens hevige afvoer kortsluitstroming op van neerslagwater naar de drains? Met andere woorden, zijn er aanwijzingen voor kortsluitstroming naar de drains via scheuren in de klei?

Antwoord:

Als kortsluitstroming zou optreden, zal het drainwater opvallend lage concentraties aan opgeloste zouten bevatten en afhankelijk van het tijdstip en bemesting, mogelijk hoge pieken aan nitraat en fosfor. Dergelijke 'pieken' zijn in de meetperiode niet waargenomen. Hierbij moet wel worden bedacht dat het drainwater per blok een verzameling is van het water dat door een zestal drains wordt afgevoerd. Bovendien is er in de periode geen organische mest uitgereden. Het enige dat daarom geconcludeerd kan worden is dat er niet een zodanig omvangrijke kortsluitstroming is opgetreden dat dit zichtbaar is in de samenstelling van het drainwater.

14.24 Waterkwaliteitsprocessen

De verschillen in de drainwaterkwaliteit tussen de blokken komt goed naar voren als gekeken wordt de combinatie van de stoffen. Deze zijn, per blok, en voor het tweede meetjaar, analyses uitgevoerd op grond van mediaanwaarden. Gekozen is voor medianen waarden omdat deze minder door uitschieters worden beïnvloed dan gemiddelden. De dieper gelegen drains (blokken 2, 3, 7 en 8) hebben de laagste nitraatgehalten en hoge gehalten aan ¹⁵N-isotopen. Dit duidt op denitrificatie in het dieptetraject tussen 1,2 en 1,6 m -mv. Dit is ook het

dieptetraject waar de potentiële denitrificatie volgens het bodemkundig vooronderzoek sterk met de diepte toeneemt. De diepere blokken (blok 2, 3, 7 en 8) hebben ook hogere ammonium-, fosfaat-, ijzer- en arseengehalten dan de ondiepe drains: dit duidt op beperkte invloed van zoute kwel.

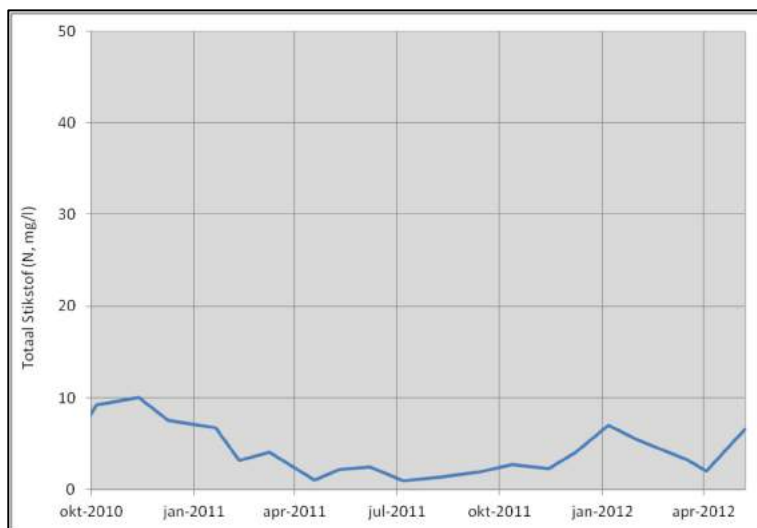
Ondanks het feit dat dat geen duidelijke relaties zijn geconstateerd tussen peilsturing en de mediane concentraties van het drainagewater, kan uit het voorgaande wel het volgende over het effect van de behandelingen op de drainwaterkwaliteit worden afgeleid.

- Door de dieper liggende drains wordt (iets) ouder grondwater afgevoerd met lagere nitraatgehalten en hogere gehalten aan ammonium, fosfaat en arseen. Dit grondwater is in het algemeen meer gereduceerd dan het jongere (ondiepere) grondwater dat door de ondiepe drains wordt afgevoerd. De hogere ¹⁵N-verhouding in de diepe drains is een aanwijzing dat in het door deze drains afgevoerde grondwater meer nitraat door denitrificatie is afgebroken dan het water dat door de ondiepe drains wordt afgevoerd.

Door het hogere ontwateringsniveau in de regelbare drains wordt zoeter grondwater afgevoerd dan in de drains met het conventionele ontwateringsniveau. Dit lijkt ook logisch, ervan uitgaande dat het neerslagwater wat langer wordt vastgehouden en aldus meer zoet water in de deklaag wordt geborgen. Echter, dit beeld komt niet zo duidelijk naar voren omdat het grondwaterstromingspatroon van de blokken door de configuratie van de drainerende sloten en het relatief lage maaiveldniveau van perceel 5 niet homogeen is. Daarbij kan dit beeld ook worden vertroebeld door dat de buffers tussen de percelen laterale beïnvloeding tussen de blokken niet geheel kunnen voorkomen.

14.25 Invloed op regionale waterkwaliteit

In Figuur 166 is waterkwaliteit bij gemaal de Valle, benedenstrooms van de Rusthoeve weergegeven. De N-gehalten zijn over het algemeen een paar mg/l hoger dan NO₃-N op de Rusthoeve.



Figuur 166

Stikstofgehalten (totaal N) bij gemaal de Valle, benedenstrooms van de Rusthoeve.

Vraag 8: Wat zijn de effecten van regelbare drainage op waterkwaliteit in het oppervlaktewatersysteem? Met andere woorden: hoe verhoudt de kwaliteit van het drainagewater zich met het ontvangende oppervlaktewater?

Antwoord: Het drainagewater van de blokken heeft voor stikstof een waterkwaliteit die vergelijkbaar is met het omliggende watersysteem.

Hoe het drainagewater zich voor andere stofgroepen verhoudt tot het ontvangende oppervlaktewater is niet onderzocht. De waarneming dat de verdiept aangelegde drains een duidelijk ander type drainwater afvoeren en dat met het hogere ontwateringsniveau de zoute kwel iets minder omhoog komt, zijn aanwijzingen dat regelbare drainage een belangrijk effect kan hebben op de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater. De waarneming dat in (de omgeving van) de verdiepte drains meer nitraat is afgebroken geeft aan dat regelbare drainage op percelen met een groter nutriëntenoverschot of uitspoelingsgevoelige gronden een belangrijk bijdrage kan leveren aan verbetering van de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater.

Vraag 10: Leidt aanleg van regelbare drains tot meer verstoring van de bodem en navenante oogstderving als conventionele drainage?

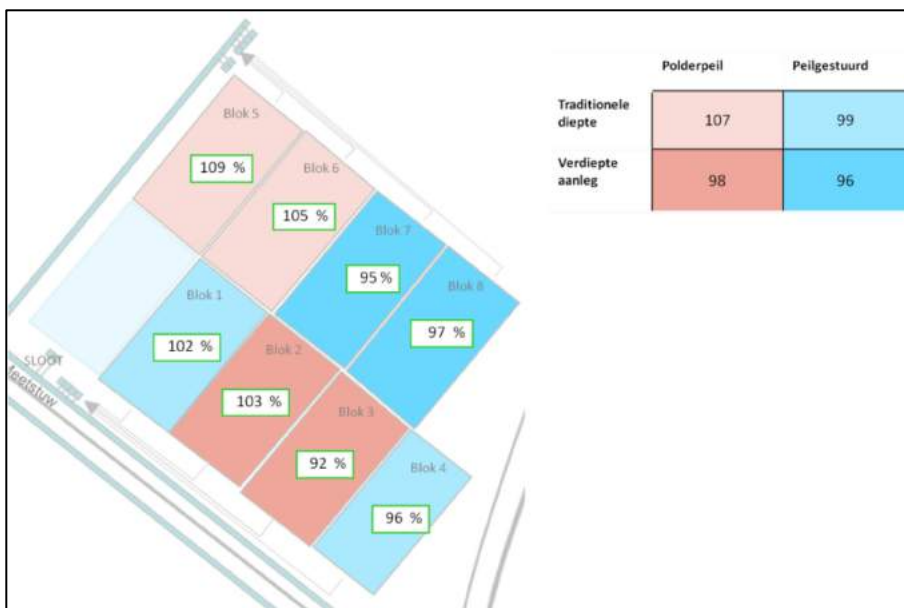
Antwoord: nee (al is dit niet expliciet onderzocht), behalve mogelijk in het eerste jaar.

14.26 Gewasopbrengsten

Op de percelen met regelbare drainage treden in droge perioden hogere grondwaterstanden op. De ruimtelijke variatie in grondwaterstanden binnen het perceel is waarschijnlijk aanzienlijk kleiner dan in de oorspronkelijke situatie. Tijdens het vooronderzoek vertoonden de GHG en GLG in boorprofielen een vrij grote ruimtelijke variatie. En daarnaast was er een verschil van 10 cm tussen beide peilbuizen die tijdens het vooronderzoek operationeel waren. Na aanleg van de drainage zijn de verschillen in grondwaterstanden tussen peilbuizen in de regel minder dan 0,05 m. Desondanks is er in percelen met regelbare drainage geen hogere opbrengst gemeten; zie Figuur 167 en Figuur 168. Mogelijk is er sprake van een vruchtbaarheidsverloop of zijn andere ruimtelijk variërende factoren dominant(er).



Figuur 167
Gewicht opbrengst bonen (2010), relatieve schaal.



Figuur 168
Financiële opbrengst bieten (2011), relatieve schaal.

Vraag 11: Leidt regelbare drainage tot hogere gewasopbrengsten?

Antwoord: nee, al zou dat wel verwacht mogen worden op basis van de aantoonbaar verbeterde vochthuishouding.

Vraag 12: Leidt regelbare diepdrainage tot betere berijdbaarheid van het perceel in natte perioden?

Antwoord: door de intensievere drainage (kleinere drainafstand) de grondwaterstanden sneller na een intensieve bui dalen. Het is echter de vraag of het vochtgehalte hierdoor veel sneller afneemt en daarmee zo voor meer draagkracht zorgt. Aan dit aspect is in het onderzoek geen aandacht besteed.

14.27 Conclusies en aanbevelingen

De centrale vraag is of regelbare drainage op landbouwgronden in Zeeland (zavel/klei, zoute kwel) een effectieve maatregel is om de nutriëntenbelasting terug te dringen en tegelijk landbouwkundige voordelen biedt. Nu de praktijkproef twee jaar loopt, kunnen conclusies worden getrokken. In het ideale geval worden de onderzoeksvragen beantwoord als langjarige reeksen van de gemeten waterkwantiteit en -kwaliteit en gewasopbrengsten beschikbaar zijn; dan is het risico immers minder groot dat de waarnemingen sterk beïnvloed worden door de grilligheid van het weer. Bovendien komen de diverse bodemprocessen en waterkwaliteitspatronen pas na jaren in evenwicht met de nieuwe drainagesituatie. De metingen zijn nu mogelijk nog sterk beïnvloed door de nulsituatie vóór aanleg van de nieuwe drains.

Ondanks het feit dat nu nog niet zulke lange meetreeksen zijn verzameld (slechts twee jaar), kunnen toch al vrij duidelijke patronen worden gesignaleerd. De meeste onderzoeksvragen zijn kwalitatief te beantwoorden. Door de korte meetreeks moet wel worden bedacht dat de antwoorden op de vragen met enig voorbehoud worden gegeven; met name de antwoorden op de vragen over de effecten op de waterkwaliteit en nutriëntenbelasting. Hieronder worden onze antwoorden op de vragen gegeven.

1: Wordt met regelbare drainage extra water in de bodem vastgehouden?

Antwoord: ja. De hoeveelheid extra berging is van tijdelijke aard en geringer dan de verhoging van de ontwateringsbasis: 10 cm nabij de slootrand en 20 cm in de proefblokken in het midden van het perceel.

2: Werken de verdiept aangelegde drains net zo goed als ondiepe drains?

Antwoord: ja. Piekgrondwaterstanden worden in alle blokken vrij snel afgevlakt.

3: Welk aandeel van het neerslagoverschot wordt via de drains afgevoerd?

Antwoord: de drains voeren in het winterhalfjaar ruim de helft (60%) van het neerslagoverschot af. De rest infiltreert naar het diepere grondwater en wordt lateraal afgevoerd naar de meetsloot. De meetsloot heeft door het lage slootpeil dus een sterke drainerende werking op het grondwater van de aangrenzende blokken 1-4.

4: Welke aandeel van de slootafvoer is afkomstig uit drains?

Antwoord: de slootafvoer bestaat voor de helft (50%) uit drainafvoer. Het water in de meetsloot bestaat naast drainafvoer vooral uit laterale ondiepe grondwaterstroming en voor een klein deel uit directe neerslag en zoute kwel.

5: Nemen de piekafvoeren naar het oppervlaktewatersysteem door peilsturing af?

Antwoord: ja, de regelbare blokken geven minder hoge piekafvoeren, maar de verschillen met de niet-regelbare blokken zijn niet erg groot.

6: Wat zijn de effecten van regelbare diepe drainage op de kwaliteit van het grondwater?

Antwoord: hoewel de metingen niet direct een duidelijk antwoord geven, kan voorzichtig worden geconcludeerd dat aanleg van regelbare diepe drains ten opzichte van conventionele drains ertoe leidt dat meer nitraat wordt afgebroken en dat zout kwelwater door het hogere ontwateringsniveau minder omhoog

komt. Dit effect is waarschijnlijk sterk afhankelijk van de geohydrologische situatie (dikte en weerstand deklaag, kwel/wegzijing, aanwezigheid drainerende watergangen). Daarom kan niet zonder aanvullend (model)onderzoek voorspeld worden of en waar dit gunstige effect in andere gebieden zal optreden. De meetperiode is nog te kort om de processen goed te kunnen ontrafelen hetgeen wel nodig is om betrouwbare uitspraken te doen waar de behandelingen wel/niet het gewenste effect geven.

7: Wat zijn de effecten van regelbare diepe drainage op de kwaliteit van het drainagewater?

Antwoord: door de nog vrij korte meetperiode, drainerende werking van de (meet)sloot, de laagte langs de westelijke sloot en mogelijke laterale beïnvloeding moet bedacht worden dat nog geen harde conclusies over de effecten van de behandelingen kunnen worden gegeven.

Wel lijkt het duidelijk dat de regelbare drains lagere chloride- en stikstofvrachten geven dan de niet regelbare drains. Echter, dit brengt niet direct lagere concentraties met zich mee, omdat ook minder water wordt afgevoerd.

Ondanks de onzekerheden lijkt het ook duidelijk dat de dieper gelegen drains meer gereduceerd grondwater afvoeren. Daardoor is de chemische samenstelling anders (hogere gehalten ammonium, ijzer, fosfaat, arseen) en is meer nitraat door denitrificatie afgebroken.

8: Treedt tijdens hevige afvoer kortsluitstroming op van neerslagwater naar de drains? Of zijn er aanwijzingen voor kortsluitstroming naar de drains via scheuren in de klei?

Antwoord: als kortsluitstroming zou optreden, zal het drainwater opvallend lage concentraties aan opgeloste zouten bevatten en afhankelijk van het tijdstip en bemesting, mogelijk hoge pieken aan nitraat en fosfor.

Dergelijke 'pieken' zijn in de meetperiode niet waargenomen. Hierbij moet wel worden bedacht dat het drainwater per blok een verzameling is van het water dat door een zestal drains wordt afgevoerd. Bovendien is er in de periode geen organische mest uitgereden. Het enige dat daarom geconcludeerd kan worden is dat er niet een zodanig omvangrijke kortsluitstroming is opgetreden dat dit zichtbaar is in de samenstelling van het drainwater.

9: Wat zijn de effecten van regelbare drainage op waterkwaliteit in het oppervlaktewatersysteem? Hoe verhoudt de kwaliteit van het drainagewater zich met het ontvangende oppervlaktewater?

Antwoord: het drainagewater van de blokken heeft voor stikstof een waterkwaliteit die vergelijkbaar is met het omliggende watersysteem. Hoe het drainagewater zich voor andere stofgroepen verhoudt tot het ontvangende oppervlaktewater is niet onderzocht. De waarneming dat de verdiept aangelegde drains een duidelijk ander type drainwater afvoeren en dat met het hogere ontwateringsniveau de zoute kwel iets minder omhoog komt, zijn aanwijzingen dat regelbare drainage een belangrijk effect kan hebben op de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater. De waarneming dat in (de omgeving van) de verdiepte drains meer nitraat is afgebroken geeft aan dat regelbare drainage op percelen met een groter nutriëntenoverschot of uitspoelingsgevoelige gronden een belangrijk bijdrage kan leveren aan verbetering van de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater.

10: Leidt aanleg van regelbare drains tot meer verstoring van de bodem en navenante oogstderving dan conventionele drainage?

Antwoord: nee (al is dit niet expliciet onderzocht) behalve mogelijk in het eerste jaar.

11: Leidt regelbare drainage tot hogere gewasopbrengsten?

Antwoord: nee, al zou dat wel verwacht mogen worden op basis van de aantoonbaar verbeterde vochthuishouding.

12: Leidt regelbare diepdrainage tot een betere bereikbaarheid van het perceel in natte perioden?

Antwoord: door de intensievere drainage (kleinere drainafstand) de grondwaterstanden sneller na een intensieve bui dalen. Het is echter de vraag of het vochtgehalte hierdoor veel sneller afneemt en daarmee zo voor meer draagkracht zorgt. Aan dit aspect is in het onderzoek geen aandacht besteed.

14.28 Literatuur

- Bakel, P.J. T. van, J. Peerboom en L.C.P.M. Stuyt, 2007. Draineren tegen verdroging en voor een beter milieu: paradox of werkelijkheid? *H₂O* 1: 25-28. Tijdschrift voor watervoorziening en waterbeheer.
- Bakel, P.J.T. van, E.M.P.M. van Boekel en G.J. Noij, 2008. Modelonderzoek naar effecten van conventionele en samengestelde, peilgestuurde drainage op de hydrologie en nutriëntenbelasting. Alterra-rapport 1647, april 2008.
- Eertwegh, G.A.P.H. van den, J.R. Hoekstra, en C.R. Meinardi, 1999. Praktijkproef Nutriëntenbalans. Nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater via drainagewater van akkerbouwpercelen op zavelgrond. Wageningen Universiteit, sectie Waterhuishouding, rapportnr. 75. Provincie Zeeland, Directie Ruimte, Milieu en Water. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Laboratorium voor bodem- en grondwateronderzoek. Eindrapport juni 1999.
- Evans, R.O., R.W. Skaggs en J.W. Gilliam, 1995. Controlled versus conventional drainage effects on water quality. *Journal Of Irrigation And Drainage Engineering*. 121(4), 271–276. July/August 1995.
- Schans, M.R van der, J. van Kleef en E. Burger, 2012. Onderzoek naar waterkwaliteitseffecten van peilgestuurde diepe drainage Zeeland, Verslag veldproef en controle meetgegevens.
- Hooghart, J.C. en W.N. Lablans, 1988. Van Penman naar Makkink; een nieuwe berekeningswijze voor de klimatologische verdampingsgetallen. Commissie voor hydrologisch onderzoek TNO, Rapporten en nota's No. 19, CHO TNO, 's- Gravenhage.
- Oenema, O., L. van Liere en O. Schoumans, 2005. Effects of lowering nitrogen and phosphorus surpluses in agriculture on the quality of groundwater and surface water in the Netherlands. *Journal of Hydrology*, Vol. 304, Issues 1–4, pp. 289-301.
- Schoot, A.R. van der, en A.J. de Buck, 2012. Onderzoek naar waterkwaliteitseffecten van peilgestuurde diepe drainage Zeeland, Landbouwkundige aspecten praktijkproef 2011.
- Schoot, A.R. van der, en A.J. de Buck, 2010. Onderzoek naar waterkwaliteitseffecten van peilgestuurde diepe drainage Zeeland, Landbouwkundige aspecten praktijkproef 2010.
- Wesström, I, en I. Messing, 2007. Effects of controlled drainage on N and P losses and N dynamics in a loamy sand with spring crops. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil Sciences. Uppsala, Sweden. *Agricultural Water Management* Volume 87, Issue 3, 16 February 2007, Pages 229–240.

15 Effecten regelbare drainage op natuur (Deltares) (2012)

Auteur(s):	M.J.M. Kuijper, H.P. Broers en J.C. Rozemeijer
Jaar van publicatie:	2012 (november)
Titel publicatie:	Effecten van peilgestuurde drainage op natuur
Gepubliceerd als/in:	Deltares Rapport 1206925-000-BGS-0003, 14 november 2012, definitief

Kuijper, M.J.M., H.P. Broers en J.C. Rozemeijer. 2012. Effecten van peilgestuurde drainage op natuur. Deltares-rapport 1206925-000-BGS-0003.

Dit rapport is te downloaden via <http://kennisonline.deltares.nl/product/30210>

Samenvatting

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Natuurmonumenten, Staatsbosbeheer, het Brabants Landschap en Landschap Overijssel en richt zich op de effecten van peilgestuurde drainage op natuurgebieden in hoog Nederland, waar sprake is van vrij afwaterende gebieden.

Over de effecten van peilgestuurde drainage op aangrenzende natuurgebieden is vooralsnog nauwelijks onderzoek gerapporteerd. In eerder (model)onderzoek naar peilgestuurde drainage in Nederland blijken vooral de effecten van een zeer forse peilverhoging en slootdemping in beeld te zijn gebracht, waarbij samengestelde, peilgestuurde drainage wordt ingezet als een effectief middel om de nadelige effecten voor de landbouw te mitigeren. In gerapporteerde veldproeven is een dergelijk forse peilverhoging in sloten in combinatie met peilgestuurde drainage niet onderzocht.

Om de effecten van peilgestuurde drainage op natuurgebieden te kunnen beoordelen is het belangrijk om onderscheid te maken tussen de aanleg van peilgestuurde drainage in voorheen ongedraineerde percelen (dus zonder buisdrainage) enerzijds, en de vervanging van conventionele drainage door peilgestuurde drainage in reeds gedraineerde percelen anderzijds. Daarbij is van belang dat het huidige landbouwareaal dat door buisdrainage gedraineerd wordt klein is, vaak minder dan 10 of 20%. Er is dus nog veel ruimte voor uitbreiding.

Nieuwe aanleg van peilgestuurde drainage in voorheen *ongedraineerde* percelen zal in de meeste gevallen verdrogend werken op aangrenzende natuurgebieden. Alleen indien de aanleg van peilgestuurde drainage wordt gecombineerd met het fors verhogen van slootbodems of forse peilverhogingen (50-100 cm) in alle waterlopen zijn positieve effecten voor natuur te verwachten. In veel gevallen kan zo'n grote peilverhoging door watertekorten echter niet worden gehandhaafd.

In reeds *gedraineerde* percelen kan vervanging of ombouwen naar een peilgestuurd systeem positief uitwerken voor natuur indien hiermee daadwerkelijk een hogere grondwaterstand wordt bereikt en gehandhaafd. Ook hier is een combinatie met slootbodemverhoging en peilverhoging in de sloten daarom aan te bevelen.

In de meeste geohydrologische situaties zal het tijdelijk verlagen van de lokale drainagebasis, om bijvoorbeeld het land te bewerken of om extreme buien te kunnen opvangen, de positieve effecten grotendeels teniet doen. De opgebouwde grondwatervoorraad verdwijnt hierdoor snel en het vergt vervolgens veel tijd om deze weer op niveau te krijgen. Peilgestuurde drainage zorgt ook niet automatisch voor een vergroting van de grondwatervoorraad. De mate waarin grondwaterstandstijging en infiltratie naar het eerste watervoerende pakket optreden, is sterk afhankelijk van de mate van verhoging van de drainagebasis ten opzichte van de afname van de drainageweerstand.

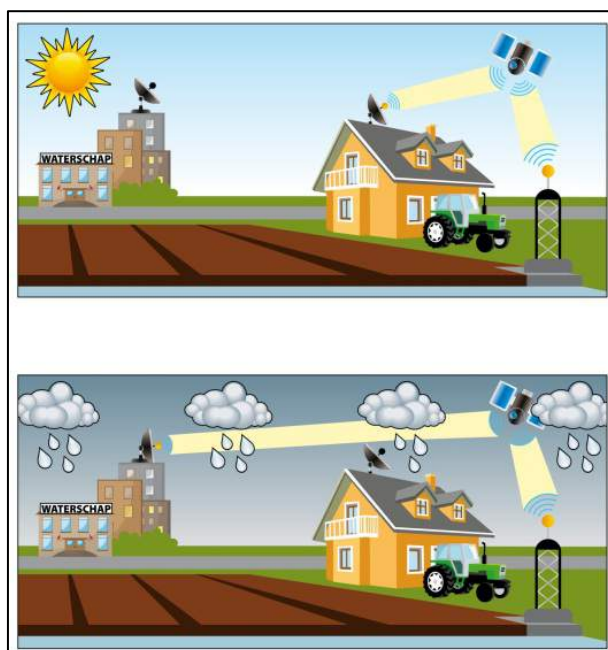
Dit onderzoek richt zich vooral op peilgestuurde drainage in percelen grenzend aan natuur. De huidige trend, een sterke toename van het areaal landbouwgrond met buisdrainage, vormt echter ook een risico op regionale schaal. Aanbevolen wordt om de effecten van peilgestuurde drainage op stroomgebiedsschaal nader te onderzoeken om te zorgen dat peilgestuurde drainage kan worden ingezet met positieve effecten voor landbouw en natuur.

16 KlimaatAdaptieve Drainage (KAD) een innovatie op drainagegebied (2011-2012)

Auteur: G.A.P.H. van den Eertwegh (Future Water)

16.1 Inleiding

Het Small Business Innovation Research Program (SBIR) Klimaatadaptatie en Water van het ministerie van Infrastructuur en Milieu daagt vooral MKB-ondernemers uit om innovaties te ontwikkelen die bijdragen aan een betere benutting van het adaptieve vermogen van het Nederlandse watersysteem en van de waterketen. Daarnaast zijn het innovaties die een groot export-potentieel herbergen. Deze SBIR-uitdaging maakt deel uit van de Maatschappelijke Innovatie Agenda Water (MIA-W). FutureWater heeft een consortium met De Bakelse Stroom, Kuipers Electronic Engineering, Wageningen UR: Alterra, Van Iersel en STOWA opgetuigd en het project 'KlimaatAdaptieve Drainage' (KAD) opgezet met financiering vanuit het SBIR. Verder werken we nauw samen met drie agrariërs en de waterschappen Regge en Dinkel, Hunze en Aa's en Brabantse Delta; zie Figuur 168 (pag. 322). Details en achtergrondinformatie van het project kunnen gevonden worden op de website <http://www.futurewater.nl/kad>. Het project kent de fase 1 'Haalbaarheidsstudie' en fase 2 'Onderzoek en ontwikkeling'. Fase 3 start in 2013 en beoogt implementatie van KAD-systemen in de praktijk te realiseren.

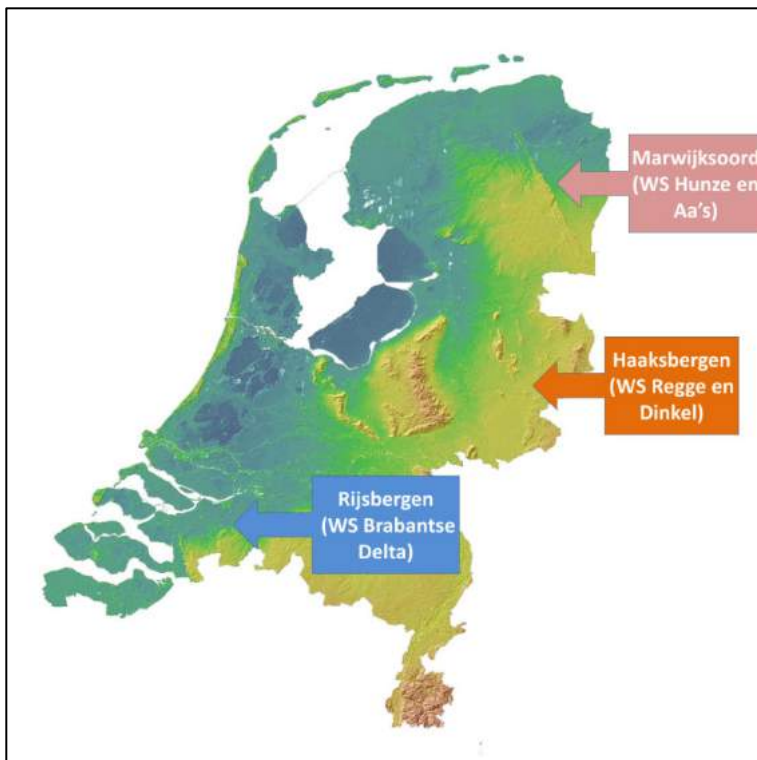


Figuur 169

KAD-bediening: de agrariër zit het grootste deel van de tijd aan het stuur (boven), het waterschap neemt het over in tijden dat wateroverlast dreigt (beneden) (Van den Eertwegh en Meijs, 2012).

KlimaatAdaptieve Drainage (KAD) is erop gericht om water vast te houden in de bodem van een perceel, om overtollig water van het perceel te draineren en af te voeren, onder de randvoorwaarde van doelstellingen inzake het vasthouden van water in de bodem. De bodem wordt daardoor operationeel ingezet voor het waterbeheer. Het SBIR-project KlimaatAdaptieve Drainage levert een product op waarbij de toenemende piekafvoeren en watertekorten door klimaatverandering gereduceerd worden. Hiertoe zullen regionale waterbeheerders een op afstand regelbaar drainagesysteem gebruiken waarmee ze het drainageniveau tijdens hevige regenval kunnen verhogen, waardoor water in de bodem wordt opgevangen en minder snel naar het oppervlaktewater stroomt. *KAD zal dus dienen om water vast te houden in de bodem van een perceel.* Klimaatadaptieve Drainage gaat ervan uit dat waterbeheerders afspraken maken met agrariërs dat in uitzonderlijke gevallen van zware neerslag water tijdelijk wordt vastgehouden in de bodem. Waterschappen kunnen hierdoor geld uitsparen doordat de toename in benodigde gemaalcapaciteit en/of bergingsgebieden om klimaateffecten op te vangen, kosteneffectiever door KlimaatAdaptieve Drainage kan worden bereikt. Als er geen wateroverlast dreigt, kunnen agrariërs hun KlimaatAdaptieve Drainage systeem gebruiken om water te conserveren voor droge tijden.

Momenteel is fase 2 van het project ten einde (2011-2012). Dit Onderzoeks- en Ontwikkelingstraject is noodzakelijk om zowel de technische aspecten (regelputten, rekenmodules) als de juridisch-bestuurlijke onderdelen te onderzoeken. Dit wordt bereikt door KlimaatAdaptieve Drainage daadwerkelijk voor een aantal pilots te bouwen en tegelijkertijd het juridisch-organisatorisch onderzoek te starten. De rekenmodules zullen tijdens het Onderzoeks- en Ontwikkelingstraject geoptimaliseerd moeten worden naar de lokale omstandigheden zoals bodem, waterhuishouding en klimaat. Er wordt ook onderzocht welke juridische verhouding tussen de waterbeheerder en agrariër het meest gewenst is.



Figuur 170
Proeflocaties KAD in Nederland 2011-2012 (Van den Eertwegh en Meijs, 2012).

16.2 Ons klimaat verandert

Klimaatverandering in Nederland is al een tijdlang onderwerp van gesprek en onderzoek bij meteorologen van het KNMI en waterbeheerders. Het KNMI presenteerde in 2006 de eerste zogenaamde klimaatscenario's (Tabel 36) en doet dat in 2013 voor een tweede keer. Het is waarschijnlijk dat ons klimaat qua neerslag verandert in de richting van het vaker optreden van zware buien, naast het voorkomen van langere perioden zonder noemenswaardige neerslag. De kansen op wateroverlast en droogte nemen daardoor beide toe. Niet alleen de landbouw en de waterbeheerders zullen hiervan gevolgen ondervinden, maar deze partijen spelen wel de hoofdrol in het SBIR-KAD project.

Het idee achter KlimaatAdaptieve Drainage (KAD) is dat regionale waterbeheerders gebruik maken van de diensten van agrariërs om toename van piekafvoeren en watertekorten als gevolg van klimaatverandering te verminderen; zie Figuur 169. Hiervoor zullen agrariërs een drainagesysteem gebruiken dat continue regelbaar is. Tijdens zware regenval kan de waterbeheerder het drainageniveau verhogen, waardoor water wordt opgevangen in de bodem en minder snel naar het oppervlaktewater stroomt. In tijden dat er geen wateroverlast dreigt, kunnen agrariërs hun klimaatadaptieve drainage systeem gebruiken om water te conserveren voor droge tijden.

Tabel 36

Klimaatverandering in Nederland rond 2050 ten opzichte van het basisjaar 1990 volgens de vier KNMI'06 scenario's (Terink et al., 2012).

		2050			
		G	G+	W	W+
Winter	Gemiddelde neerslaghoeveelheid	+4%	+7%	+7%	+14%
	Aantal natte dagen ($\geq 0,1$ mm)	0%	+1%	0%	+2%
	10-daagse neerslagsom die eens in de tien jaar wordt overschreden	+4%	+6%	+8%	+12%
Zomer	Gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	-10%	+6%	-19%
	Aantal natte dagen ($\geq 0,1$ mm)	-2%	-10%	-3%	-19%
	Dagsom van de neerslag die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+13%	+5%	+27%	+10%
	Potentiële verdamping	+3%	+8%	+7%	+15%

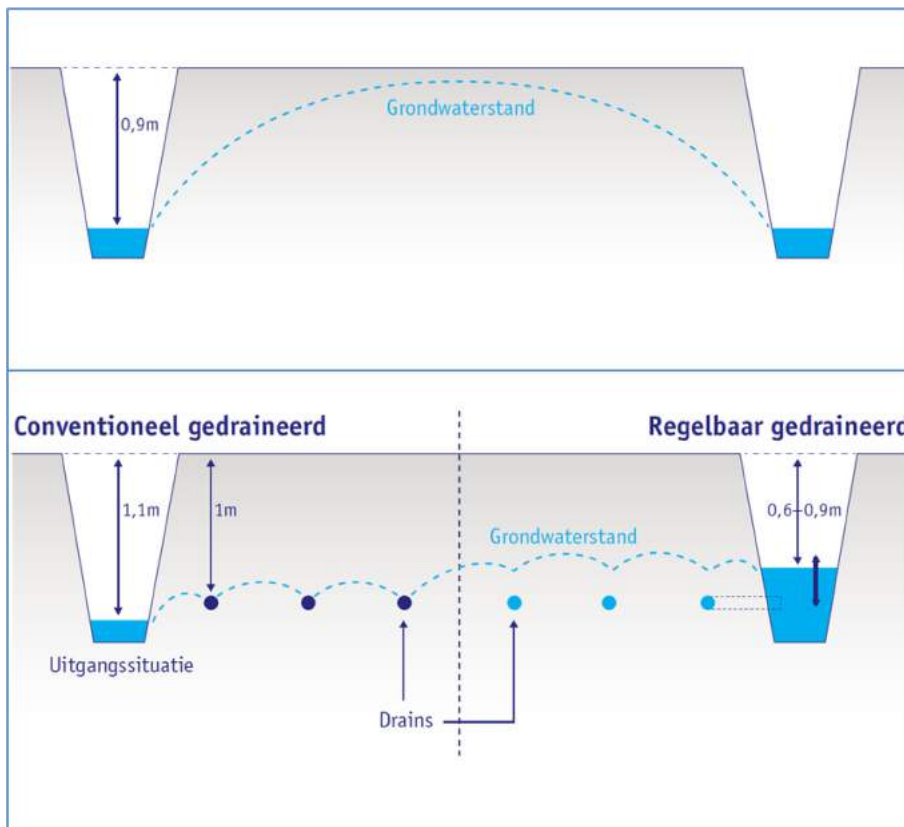
Het unieke van klimaatadaptieve drainage is gebaseerd op het feit dat open water in de meeste gebieden in Nederland slechts 2 tot 5% van het totale oppervlak bedekt. De 95 tot 98% oppervlakte aan land vormt een tot nu toe veelal onvoldoende benutte mogelijkheid om water tijdelijk vast te houden. Zelfs als rekening gehouden wordt dat in een bodem maar 20 tot 40% van het volume uit water kan bestaan, is de bergingscapaciteit van de bodem vele malen groter dan de bergingscapaciteit in het open water.

16.3 Drainagesystemen en ontwatering

Drainage met drainbuizen wordt in het landelijk gebied van Nederland toegepast om de grondwaterstand en bodemvochttoestand voor meestal landbouwpercelen te optimaliseren. Percelen kunnen worden ontwaterd, waardoor betere condities voor gewas en bewerkbaarheid ontstaan. Door buisdrainage wordt de gemiddelde grondwaterstand verlaagd en is de opbolling van de grondwaterstand tussen twee drainagemiddelen kleiner. In Figuur 171 worden schematisch voorbeelden gegeven van dwarsdoorsneden van een perceel en van de grondwaterstand tijdens afvoergebeurtenissen voor een:

- ongedraineerd perceel;
- conventioneel gedraineerd perceel (CD), waarbij afzonderlijke drainbuizen boven water uitmonden in een sloot;
- regelbaar gedraineerd (RD), waarbij afzonderlijke drainbuizen boven water uitmonden in een sloot, waarvan het waterpeil kan worden gevarieerd.

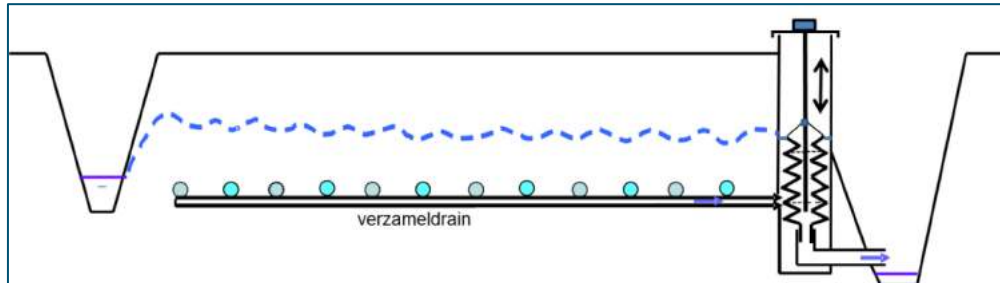
Bij regelbare drainage kan de grondwaterstand worden verhoogd door de drainagebasis naar boven toe bij te stellen i.c. het peil in de watergang te verhogen. De uitmonding van de drainbuizen komt dan onder water te liggen.



Figuur 171

Dwarsdoorsneden van een perceel: ongedraineerd (boven), conventioneel (CD) en regelbaar (RD) gedraineerd (onder).

Een volgende variant van een drainagesysteem ontstaat wanneer de afzonderlijke drainbuizen onderling worden verbonden door ze aan te sluiten op een verzameldrain. Zo ontstaat een samengestelde drainage, die al dan niet regelbaar is (Figuur 172). De verzameldrain mondt uit in een put, die op zijn beurt afwatert op de sloot, waarmee de drainagebasis aldus in de put geregeld wordt.



Figuur 172

Samengesteld drainagesysteem met een online en traploos regelbare drainagebasis: dwarsdoorsnede van een KAD-systeem. Een veelgebruikte installatiediepte van de drains is 1,2 m-m.v. bij een drainafstand van 6 m.

KlimaatAdaptieve Drainage (KAD) onderscheidt zich van conventionele drainage (CD) op de volgende onderdelen:

- het is een samengesteld drainagesysteem;
- regeling van de drainagebasis vindt plaats in de put, daarmee wordt de werking van de drainage beheerd; deze regeling is traploos en de regelaar kan op afstand, maar ook ter plekke bediend worden;
- beheer: zowel waterschap als agrariër kunnen het systeem bedienen;
- data van het systeem qua toestand (waterstand, stand drainagebasis) en beheer (wie doet wanneer wat) worden via telemetrie centraal opgeslagen en zijn op te vragen en in te zien door diegenen die daartoe rechten hebben.

16.4 Wat komt er kijken bij KAD

Vragen die een rol spelen bij samengestelde regelbare drainage, en vooral KAD zijn:

- Ontwerp-aanleg-beheer-onderhoud: wie doet wat?
- Samenwerking publiek en privaat: hoe werkt dat juridisch gezien?
- Vrijheid van handelen versus meldingsplicht of vergunningsplicht?
- Financieel operationeel spoor: meerwaarde KAD voor wie, subsidies, vergoedingen voor diensten, boetes
- Wat moeten we met wie geregeld hebben als blijkt dat in een voorkomend geval toepassing van KAD in de praktijk-operatie faalt en/of verkeerd uitpakt, los van een calamiteit? ('binnen de norm')

De context van KAD is er één van maatregelen in het waterbeheer die de beschikbaarheid en voorziening van voldoende zoetwater in stand kunnen houden, dan wel verbeteren. Daarmee is KAD, naast het aanbrengen van stuwen in het oppervlaktewater, en het van proceswater voorzien van landbouwbedrijven door waterbedrijven één van de kansrijke opties voor de zoetwatervoorziening, door water vast te houden in de bodem.

Twee waterschappen, Peel en Maasvallei en Roer en Overmaas, hebben de afgelopen jaren concrete regelgeving voor (Samengestelde) Regelbare Drainage (S)RD ontwikkeld en passen die momenteel toe. Ze hebben in hun beleid en Keurregels voordrainage regelbare drainage opgenomen.

SBIR-KAD Fase 2 'Onderzoek en Ontwikkeling' kent zes werkpakketten, te weten:

- WP1 Prototypen en veldproeven: op drie pilot locaties is KAD geïnstalleerd, inclusief peilbuizen met loggers. Systemen functioneren zonder grote problemen. Activiteiten ondernomen in de zomer van 2012 om KAD-systemen te gebruiken voor sub-irrigatie ten tijde van droogte.
- WP2 Rekenmodules: voor alle locaties zijn SWAP-modellen gebouwd, gecalibreerd aan de hand van gegevens van bovennoemde monitoring, en berekeningen gedaan onder huidig en toekomstig klimaat. Met het KAD-systeem kunnen piekafvoeren worden opgevangen en gedempt. Ook conservering van water vindt plaats, tenminste meer dan één beregeningsbeurt à 30 mm per jaar. Aandachtspunt is optimalisatie van de sturing van KAD.
- WP3 Onderzoek landelijke geschiktheid: bepaling van de landbouwkundige behoefte en geschiktheid van bodem en hydrologie; verfijnde regionale versie voor de provincie Zeeland is gereed. Er zijn kaarten gemaakt die aangeven waar in Nederland KAD geschikt is om in zetten als middel tegen wateroverlast; zie Figuur 173. Daarbij zijn attenderingskaarten beschikbaar die aanleiding geven tot nader onderzoek op lokatie voor een geschikt ontwerp van KAD.
- WP4 Juridisch-bestuurlijke aspecten: onderzoek naar hoe de regelingen rondom KAD vorm moeten krijgen, om een effectieve toepassing te laten plaatsvinden. Het huidige juridische instrumentarium dat waterschappen hebben biedt voldoende basis om afspraken te maken over de regeling van KAD met betrokken agrariërs.
- WP5 Economische aspecten: een kosten-baten-analyse (KBA) is uitgevoerd. Deze toont op basis van de Netto Contante Waarde (NCW) methodiek de financiële meerwaarde van de inzet van KAD ten opzichte van conventionele (CD) en samengestelde regelbare drainage (RD). Bij deze KBA is rekening gehouden met investerings- en exploitatiekosten, voor zowel waterbeheerder als betrokken agrariër(s).
- WP6 Management en organisatie: overleggen, interne en externe communicatie, procesgang en financiën bewaken.



Figuur 173

Combinatie van landbouwkundige behoefte aan drainage met geschiktheid van bodem en hydrologie voor toepassing van KAD (Van Bakel et al., 2012).

Er zijn vanaf eind 2012 diverse rapportages beschikbaar inzake KAD, zowel achtergrondrapporten als een eindrapport. Deze zijn in te zien en te downloaden van de website <http://www.futurewater.nl/kad>.

16.5 Referenties

- Bakel, J. van, G.A.P.H. van den Eertwegh, H. Massop en J. Brandsma, 2012. KlimaatAdaptieve Drainage: landelijke geschiktheid van conventionele, samengestelde peilgestuurde drainage en KAD. Eindrapportage Werkpakket 3: Landelijke geschiktheid. FutureWater rapport, concept.
- Eertwegh, G.A.P.H. van den, 2012. KlimaatAdaptieve Drainage: juridisch-bestuurlijke aspecten. Eindrapportage Werkpakket 4: Juridisch-bestuurlijke aspecten. FutureWater rapport, concept.
- Eertwegh, G.A.P.H. van den, J. van Bakel, L.C.P.M. Stuyt, A. van Iersel, L. Kuipers, M. Talsma en P. Droogers, 2012. Klimaatadaptieve Drainage: een innovatieve methode om piekafvoeren en watertekorten te verminderen. Opgesteld door FutureWater, Kuipers Electronic Engineering, De Bakelse Stroom, Van Iersel, Wageningen UR/Alterra en STOWA. Concept-eindrapportage SBIR-KAD.
- Eertwegh, G.A.P.H. van den, J. van Bakel, L. Stuyt en M.L. van der Schans, 2012. Drainagegeschiktheidskaarten en handvaten voor opschaling: onderzoek naar waterkwaliteitsaspecten van peilgestuurde diepe drainage in Zeeland. Grontmij-rapport.
- Eertwegh, G.A.P.H. van den en P. Droogers, 2012. KlimaatAdaptieve Drainage: analyse van kosten en baten voor waterbeheerder en agrariër. Eindrapportage Werkpakket 5: Economisch onderzoek. FutureWater rapport, concept.
- Eertwegh, G.A.P.H. van den en R.M. Meijs, 2012. KlimaatAdaptieve Drainage: een innovatieve methode om piekafvoeren en watertekorten te verminderen. Voortgangsrapportage SBIR-KAD, april 2012. FutureWater rapport.
- Terink, W., J. van Bakel, G.A.P.H. van den Eertwegh en P. Droogers, 2012. KlimaatAdaptieve Drainage: een innovatieve methode om piekafvoeren en watertekorten te verminderen. Eindrapportage Werkpakket 2: Rekenmodules (SWAP). FutureWater rapport, concept.

17 Studietrip naar de Verenigde Staten, november 2011

Auteur(s): L.C.P.M. Stuyt

In de Verenigde Staten wordt al decennialang onderzoek verricht naar samengestelde, regelbare drainagesystemen. Drie universiteiten spelen hierbij een belangrijke rol: North Carolina State University (Raleigh, NC), Ohio State University (Columbus, OH) en The University of Illinois (Champaign-Urbana, IL). Deze universiteiten zijn tussen 5 en 12 november 2011 bezocht, waarbij veel informatie is uitgewisseld. De belangrijkste feiten (die voor de Nederlandse situatie van belang zijn) worden in dit hoofdstuk op een rij gezet.

17.1 7 november 2011: North Carolina State University (Raleigh, NC)

Na een tour op Campus NCSU vanaf 10:00 's ochtends een gesprek op de werkkamer van Wayne Skaggs. Dit was het belangrijkste wat hij ons vertelde:

- Als je wilt infiltreren via een ondergronds buizensysteem dan moet je de grond permanent nathouden, want infiltreren in een droge grond lukt niet meer; dat is ongelooflijk moeilijk door het bevochtigingsprobleem. Dat is dus een hele belangrijke les: zomaar infiltreren via een droog buizensysteem dat komt pas op gang, als het groeiseizoen voorbij is!
- Je moet eigenlijk een aantal jaren lang achter elkaar meten voordat je resultaten gaat zien van een proef die bedoeld is om de effecten van Regelbare drainage te toetsen. Het is onzin dat je dat na één seizoen al zou kunnen weten. Dat is een hele belangrijke les, niet alleen voor ons, maar voor heel veel drainageproeven. Er zijn zó veel onzekerheden, dat je dat niet na één meetseizoen al zou kunnen weten. Vandaar dat hij ook uitgebreide recepten heeft die we aan het eind van de dag hebben kunnen zien. Daar kom ik zo nog terug.
- Wayne heeft gezegd dat er al in de jaren 80 het nodige is gedaan aan het automatiseren van Regelbare drainagesystemen door Jim Fouss. Dat hij geen succes kwam vooral omdat hij op een locatie woont waar dit soort systemen niet echt nodig zijn.

Wayne geeft belangrijke ervaringen mee:

- Voor subinfiltratie moet je het profiel nat houden, dus niet te laat beginnen anders werkt het niet meer i.v.m. k_{onverzadigd}. Daar zou aan te rekenen moeten zijn.
- Met regelbare drainage heb je nog steeds droogteschade. Ook in de USA is het een mythe dat het droogteschade goeddeels voorkomt.
- Conserveringseffect kan wel in droge jaren een paar keer per jaar worden behaald.
- Proeven moeten over een reeks van jaren worden voortgezet.
- Na groot succes in de jaren negentig van Regelbare drainage (400.000 acres), want het werd gesubsidieerd en begeleid voor het effect op N en P, werden na afloop van het contract 150.000 acres niet meer actief bediend.

Het eerste project waar Wayne mee te maken kreeg toen hij in 1970 naar NC kwam, was een project om de mogelijkheden te onderzoeken van regelbare drainage en subirrigation voor waterbeheer in zandige gronden

en lemige gronden in de kustvlakte van North Carolina. Er was een driejarig veldexperiment opgezet, het was duur, want het kostte \$20,000 per jaar. Ze hadden drie veldjes; op één ervan alleen regelbare. Die jaren waren niet echt nat. De conclusie van de studie was dat je met regelbare drainage niet goed droogte kon bestrijden. Je kon water conserveren, maar de bescherming tegen droogte met regelbare drainage was niet gegarandeerd.

Het was een droge zomer, en we hadden helemaal geen drainagewater beschikbaar om te conserveren! Dat is de eerste les die mensen die te maken krijgen met regelbare drainage, moeten leren. Helaas moet iedereen deze les zelf, afzonderlijk, leren: als je eenmaal geleerd hebt, is het vanzelfsprekend en weet je het.

Als je over zoet water kunt beschikken dat van elders komt, bijvoorbeeld dankzij wateraanvoer zoals we dat in Nederland kennen, dan ontstaat een andere situatie. Dan is de drainage infrastructuur waar je mee werkt in feite veel meer een instrument voor Water Table Management. In die situatie weet je dat je water beschikbaar hebt; dus je staat niet toe dat je bodemprofiel te droog wordt.

We hebben onze lessen geleerd en we hebben ook geleerd van: ja: we zouden subirrigation kunnen toepassen op deze gronden. Wij hebben geleerd dat als je subirrigation pleegt de gronden niet hoeven uit te drogen. Maar je moet de grondwaterstand vanaf het begin hoog houden, want als de grondwaterstand een keer gedaald is dan duurt het ontzettend lang voordat ze weer naar boven kunnen komen.

We hebben geleerd dat de modellen redelijk goed werken, het water stroomt in de richting waarin het verondersteld wordt te stromen, it always goes downhill. Maar ervoor zorgen dat de modellen altijd voorspellen wat je meet is bijzonder belangrijk.

Wij hebben deze ervaringen opgedaan in de jaren 70 van de vorige eeuw. Toen heb ik DRAINMOD ontwikkeld. De reden dat ik DRAINMOD had ontwikkeld, was dat we bezig waren met subirrigation op een perceel in de buurt van Aurora. De boer was aardappelen aan het telen. Hij vroeg mij steeds opnieuw, in maart, en april: hoe hoog kan ik het water opzetten, zodat het water voor de aardappelen beschikbaar blijft? Als het te nat zou zijn, zouden de aardappels weggroten. Mijn probleem was: als je zou weten hoeveel het zou gaan regenen, zou je die vraag wel kunnen beantwoorden! Maar dat wisten we natuurlijk niet. En ik wilde een betrouwbaar model ontwikkelen om de respons van de grondwaterstand op neerslag te kunnen simuleren, en hoe de waterbalans reageert op subirrigation en drainage. Je kunt een model 50 jaar later draaien en dan kun je op procentuele basis uitspraken doen. Je kunt bijvoorbeeld grondwaterstanden 30 cm omhoog zetten, maar dan heb je 25% kans dat de aardappelen gaan rotten. Dat soort simulaties wilde ik maken. Ik wilde in staat zijn om dat soort vragen te beantwoorden. Ik deed dat dus in de jaren 70, in 1974. In 1977 hadden we een model, dat vrij goed werkte, zodat ik die vragen uiteindelijk kon beantwoorden.

In 1974 of 1975 werkte mijn collega Gilham aan reductie van stikstofverliezen van landbouwpercelen. Hij werkte in het Department of Soil Science. Gilham een 'soil chemist', werkte aan dit onderwerp, had verschillende hypothesen ontwikkeld, maar had nog nooit van Regelbare drainage gehoord.

We gingen daarom samen het veld in. Zijn hypothese was, dat als je de grondwaterstanden hoger instelde, in het bijzonder tijdens de winter, je denitrificatie kon versnellen en de afvoer van stikstof kon verminderen, in elk geval omdat je ervoor zorgden dat de drains minder water afvoerden. Ik dacht toen, dat je hierdoor ook de oppervlakteafvoer zou vergroten; met die open sloten in onze systemen zou drainagewater en water dat via de oppervlakte afstroomt in dezelfde sloot terechtgekomen. Dus wat wij rond 1980 geleerd hebben, en waarover we een paper gepubliceerd hebben, was, dat we de afvoer van stikstof (nitrogen loads) met ca. 50% konden terugbrengen, door introductie van Controlled Drainage. Vooral tijdens de wintermaanden.

Gilham en ik hebben samen ons experiment gedaan, en in 1980 begon de belangstelling voor waterkwaliteit op landbouwpercelen toe te nemen. Vooral omdat de slechte waterkwaliteit de zee bereikte, daar schade aanrichtte, en de landbouw daar dus iets aan zou moeten gaan doen. Er was bezorgdheid in the Midwest (want daar is de meeste van onze landbouw geconcentreerd), maar ze hadden de problemen daar vooral gerelateerd aan concentraties in kleinere rivieren. Op dat moment was daar erosie een veel belangrijker aandachtspunt dan waterkwaliteit. Maar toch gingen ze ook daar de waterkwaliteit meten.

Vervolgens raakte de USDA geïnteresseerd, omdat ze gezien hadden wat wij deden met Drainage Water Management. En toen kwam er een groot samenwerkingsproject tot stand, een 'watershed scale' project. Ze gebruiken daar controlled drainage on a watershed scale. Tijdens dit project hebben we geleerd, dat we het stikstofgehalte van het drainagewater aanzienlijk konden terugbrengen. Maar ook hier alleen maar, omdat we minder afvoer van drainagewater hadden; niet omdat de concentratie van de nitraat in het drainagewater lager zou liggen. Maar we zijn er nog steeds niet absoluut zeker van dat het werkelijke effect zo groot is als wij gemeten hebben, omdat er sprake zou kunnen zijn van kortsluiting in de grondwaterstroming die 'going around the structure' zou kunnen zijn gegaan. We hebben ook gemeten vlak bij de slootbodemp, waar het grondwater ook weer in uitstroomt. De resultaten 'on a watershed scale' waren niet zo overtuigend als die, die we op één enkel landbouwperceel hadden gemeten.

Vervolgens kwamen er nog meer problemen. Er gingen vissen dood, er kwamen algen in open water, kleine riviertjes en estuaria. In de tachtiger jaren kwamen dit soort zaken hoog op de agenda van de staat NC. De staat had besloten dat zij zouden proberen om 'best management practices' te institutionaliseren, om de belasting van kustnabije riviertjes en estuaria terug te dringen. Eerst richtten ze zich op specifieke riviertjes, specifieke stroomgebieden, midden in de jaren 80, misschien zelfs tot in het begin van de jaren 90. Er was in het begin van de jaren 90 veel vissterfte, en dat probleem werd hoog op de agenda gezet.

De staat heeft daarop regelbare drainage geaccepteerd als 'best management practice' om nitraatuitspoeling tegen te gaan. Ze hebben geld beschikbaar gesteld voor investeringen door de boeren; die kregen subsidie om regelbare drainage te installeren. De federale SCS (=Soil Conservation Service) accepteerde dit initiatief en moedigde het aan, en dat deden meer instituties.

In het midden van de jaren 90 van de vorige eeuw hadden we meer dan 400,000 acres (160,000 ha) regelbare drainagesystemen geïnstalleerd! Het subsidieprogramma heeft de ontwikkeling van dit programma aanzienlijk versneld. Het is interessant te zien hoe dit zich allemaal ontwikkelde. 'To get the farmers involved became a big promotional thing.' Allerlei mensen en instituties waren belangrijke spelers in dit proces. Alles werd georganiseerd door de NC Extension System en de NRCS, samen. NRCS heeft drainage adviseurs in elke county. Het programma liep goed en het bestaat nog steeds: er worden nog steeds vergoedingen uitbetaald voor Controlled Drainage. Wij zijn inmiddels bezig met real time metingen van het nitraatgehalte van drain effluent. Dat is ook voor Holland interessant.

In 1994 hadden we twee enorme verwoestende tornado's. In NC hebben we 10 miljoen varkens; we zijn de tweede van het land. Die tornado heeft veel varkensstallen verwoest. Na die tornado lagen overal kadavers van varkens: boven open daken, gebouwen, in de straten enzovoort. Hierdoor werd men zich ook bewust van de milieuproblemen die met die varkens te maken hebben. Er zijn er gewoonweg veel te veel! Deze ramp heeft nog een extra stimulans gegeven aan de promotie van controlled drainage.

Boeren die regelbare drainage laten subsidiëren moeten een contract tekenen voor tien jaar; ze moeten de systemen tien jaar lang volgens bepaalde beheersvoorschriften bedienen. Rond het jaar 2000 liepen er heel veel contracten af. Er gebeurde toen het een en ander. Boeren die enthousiaste voorlopers waren stierven; er waren er ook veel die met pensioen gingen. De voorlopers verdwenen dus, en de instituties gingen zich met andere zaken bezighouden. De leiderschapsstructuur, die ervoor zorgde dat regelbare drainage een

goedlopende zaak was, begon af te brokkelen ('aged out'). Anno nu worden nog maar 150,000 van de 400,000 acres met bestaande regelbare drainagesysteem actief beheerd. Bij nog eens 150,000 acres hebben we 'passief' beheer. Dit bedoelde ik toen ik zei: er kunnen lessen geleerd worden, die niet technisch van aard zijn.

Wayne: er is nog een andere kritische factor hier in het midden westen. We lopen achter de feiten aan denk ik. Onze boeren hebben arealen van 4000 à 5000 acres: erg groot dus. Ze hebben helemaal geen tijd om deze systemen allemaal te beheren. So the only way of getting them managed, I think, is going to be something that you are proposing to do. Wij hebben voorstellen geschreven om hetzelfde te doen. Agri-Drain is bezig met de ontwikkeling van een vergelijkbaar systeem voor automatische controle; ik weet niet hoe ver ze er mee zijn. Ik heb het gevoel dat jullie Hollandse KAD drainagesysteem een essentieel onderdeel zou kunnen gaan vormen van toekomstige Water Table Management door onze boeren.

Wat Klimaat Adaptieve Drainage (KAD) betreft: Jim Fouss heeft in de jaren 80 van de vorige eeuw werk gedaan aan geautomatiseerde drainages. Er zijn twee redenen waarom hij weinig succes heeft gehad met zijn geautomatiseerde drainagesystemen. Hij werkte in de Louisiana. En Louisiana is één van de natste staten van Amerika. De condities daar waren niet de beste voor het implementeren van datgene wat hij op gang wilde brengen. Louisiana is nagenoeg alleen maar suikerriet, en allemaal open ditch drainage. De boeren lopen qua waterbeheer in technisch opzicht een behoorlijk stuk achter bij de rest. Dus we waren maar weinig plekken die geschikt waren om het door hem voorgestelde systeem te promoten. Met zijn onderzoek heeft Jim echter heel goed werk verricht.

Wayne: de 'weighing combine' is een zeer grote promotor geweest van ondergrondse drainage! De boeren rijden met hun combinaties over de tile lines, en als ze dat doen zien ze dat de opbrengst daar hoger is! Dus dan is het nog maar een kleine stap om te zeggen: ik ga dat extra geld besteden aan meer buisdrainages. De boeren zijn zich bewust geworden van de waarde van additionele drainage-intensiteit, en dus geven ze opdracht om meer systemen te installeren. In het middenwesten liggen de percelen niet zo horizontaal ('dead level') als hier: daar hebben ze meer rolling topography. Dus als ze daar regelbare drainage willen toepassen moeten ze de drains met de hoogtelijnen laten meelopen. Maar als ze zien dat hun opbrengsten door die drainage groter worden willen ze nieuwe buizen geïnstalleerd hebben, en dat willen ze nú! Ze worden niet betaald voor het reduceren van nitraatuitspoeling; ze worden alleen betaald voor grotere oogsten. Als we ze niet wijzen op de voordelen van regelbare drainage is het te laat; dat zou een gemiste kans zijn, want het gaat om honderdduizenden hectaren.

17.1.1 Proeflocatie van Chad Poole

Allereerst de proeflocatie van Chad Poole: een boer en een medewerker van Wayne, een uitgebreid proefveld met sojabonen, hij heeft alleen maar open drains, geen buisdrainage.

Er zijn drie behandelingen: ondiepe drainage; in dit eerste veld hebben we precisie oppervlakte egalisatie toegepast; centraal gelegen: regelbare drainage zonder precisie oppervlakte egalisatie, en de laatste: volledig vrije drainage. Vrij uitstromend wel te verstaan. In elk veldje zitten drie drains. Hier staan sojabonen.

De eerste veldjes waren shallow drains: gesloten met zeer ondiepe bodem, die volgens Wayne op een bepaalde manier reageren op de uitvoering van fosfaat en nitraat, in het hier naast liggende centrale blok had je het belangrijkste blok, namelijk regelbare drainage, bestaande uit drie sloten met elk aan het einde een V-notch; daar werd ook met een soort miniatuur ISCO's fosfaat en nitraat gemeten; hij had daar zonnepanelen en accu's, het zag er Spartaans maar betrouwbaar en simpel uit. Helemaal achter op het veld had je nog drie sloten met volledig vrijuit stromende drainage, dat stroomde dus gewoon vanuit de slootbodem een duiker in,

naar de overkant van de weg, en daar in een sloot. Het is allemaal een stuk groter dan bij ons, de proeven zijn echter vergelijkbaar.

Ze voeren ook metingen uit van de oogst; ze meten het totaalgewicht.

Chad Poole (de local farmer en PhD-student) heeft gegevens geanalyseerd van 1990-2011 aan zeven maïsoogsten, zes oogsten van sojabonen en vijf van granen. Nadat de drainage was geïnstalleerd, is de oogst van maïs en die van sojabonen met 10% gestegen.

Het effect van regelbare drainage verschilt van jaar tot jaar enorm door de weersomstandigheden, dat je de oogsten van meerdere jaren moet meten om iets te kunnen zeggen over het effect ervan.

Chad geeft uitleg over de inrichting en het meetprogramma van dit drainageproefveld. Het proefveld is geïnstalleerd in 2007. Ze hebben een open overlaat (V-notch) en een computerprogrammaatje om waterhoogtes om te zetten in debieten. De signalen worden geregistreerd met een frequentie die afhankelijk is van het debiet. Ze kijken hier vooral naar de oogsten.

Ze nemen hier ook watermonsters; het effect van het koelen van deze monsters is niet doorslaggevend gebleken. Voor elk gewas hebben ze een standaardwaarde voor de drainagebasis, zoals wij een pijp in een meetput hebben, zo plaatsen zij een overlaat. Zij bevelen voor elk gewas een specifieke ontwateringsdiepte aan. In feite meten ze slootafvoeren; de sloten zijn hier de drains.

Ze zouden ook een geautomatiseerde drainagesysteem willen hebben, daar hebben ze zelfs geld voor gekregen, maar dat zal een heel simpel systeem zijn: ze meten de stijghoogte van het water, als dat hoog wordt, wordt een 'gate' geopend en kan het water wegstromen. Er wordt dus gewerkt met een digitale drukopnemer die andere apparatuur kan aansturen.

Bij gecontroleerde drainage is vervolgens Wayne de belangrijke innovatie het geautomatiseerd aansturen van het systeem. Agri-drain heeft iets ontwikkeld, maar vervolgens Wayne hebben wij al iets dat bijzonder goed werkt. Je activeert het vanaf een ander continent, en dat is zeer indrukwekkend! Wayne vind het ook heel mooi dat je bij ons systeem maar één enkele pijp hoeft te verwisselen.

Opmerkingen Chad Poole:

1. Hoopt in zijn thesis opbrengsteffecten van CD op zijn eigen bedrijf aan te tonen.
2. CD op zijn bedrijf is niet met drains maar sloten op 60 m afstand.
3. Meet debieten met V-stuw en debietproportioneel N en P. Geen koeling in apparaat?

We stappen weer in de auto. We stoppen nog even bij een conventioneel drainagesysteem; geen controle. Ze nemen hier watermonsters een keer per maand, op a flow-proportional basis. Chad weet weinig van de lokale waterbalans; hij weet niet of er sprake is van wegzijging of van kwel. Wayne: ze zijn nog niet aan het modelleren, dus ik weet ook nog niet hoeveel kwel er eventueel is.

Op elk veldje wordt op twee plekken de grondwaterstand gemeten; elk uur een meting. Ze moeten de gegevens ter plekke ophalen; ze hebben niet zoiets als draadloos overseinen van gegevens. Chad is hier zelf boer, dus hij kan heel makkelijk naar het veld om allerlei gegevens op te halen en de zaken te controleren. De systemen en de meetinstallaties zijn niet zo complex als bij ons; dat maakt het gemakkelijker om het door iemand te laten onderhouden, controleren en dergelijke.

17.1.2 Site met zeven Water Quality Measuring Barns van Wayne Skaggs

Daarna zijn we doorgereden naar de klassieke site van Wayne Skaggs; de zon stond al laag. Dat is eigenlijk een soort proefboerderij. Hij heeft daar een veld dat wordt beregend met sprinklers; daar werden ook fosfaat- en nitraatuitspoeling naar drainagewater gemeten. Daar had je een soort ondergrondse bak met houtsnippers erin om nitraat te binden. Ons equivalent is wellicht de Puri-drain? Je ziet van deze bakken eigenlijk weinig; het zijn eigenlijk gewoon ingegraven goten, gevuld met houtsnippers. Dat is iets wat ook al een tijdje loopt.



Figuur 174

Wayne Skaggs voor één van de vier nog operationele 'barns' waar al decennialang de drainagewaterkwaliteit wordt geregistreerd.

Tenslotte gingen we naar een veld iets verderop, helemaal benedenstrooms, daar waren zeven schuren of kleine houten huisjes ('barns'; zie Figuur 174), zonder ramen, en in elke schuur zit een uitgebreide meetopstelling (zie Figuur 175

Bemonsteringsapparatuur in één van de barns van Wayne Skaggs; een diepe verticale buis met een diameter van circa 2 m. Hierin wordt al sinds jaar en dag drainagewater bemonsterd. Het was heel interessant om dat te kunnen zien; zie Figuur 175, Figuur 176 en Figuur 177. De metingen lopen nog steeds door, en het is ook zo'n beetje de filosofie van Wayne: hij zegt: daar moet je dus eigenlijk jaren en jaren aan meten, voordat je wat kunt gaan zeggen. Van de zeven schuurtjes zijn er nog vier in gebruik.



Figuur 175
Bemonsteringsapparatuur in één van de barns van Waye Skaggs.



Figuur 176
Detail bemonsteringsapparatuur-1.



Figuur 177

Detail bemonsteringsapparatuur-2.

17.2 8 november 2011: North Carolina State University (Raleigh, NC)

17.2.1 Discussie met Mohammed Youssef en Wayne over uitspoeling van fosfaat en nitraat

Wayne is bij deze discussie aanwezig. Mohammed Youssef neemt het woord. Hij zegt dat hij iets kan vertellen over de laatste ontwikkelingen van modellering. Hij kan ingaan op de onderzoeksvragen, gerelateerd aan drainage (waterkwaliteit), waar zij op dit moment mee bezig zijn. Wayne: tijdens het veldbezoek, gisteren, hebben we niet veel over modelleren gehad.

Youssef: DRAINMOD bestaat al heel lang. Het model simuleert het effect van Drainage Water Management op gewasopbrengst. DRAINMOD was dus eigenlijk bedoeld om het systeem waar gewasopbrengst wordt gerealiseerd (het landbouwpercelen) te maximaliseren/optimaliseren. Ontwerp een drainagesysteem waar mee goede balans wordt gevonden tussen wet stresses en dry stresses voor rain fed agriculture. Ook heb je de modeltoepassing voor de geïrrigeerde landbouw. Irrigatie welteverstaan, die wordt gedaan om het zoutprobleem te beheersen.

In 1995 hebben we een simpele Nitrogen cycle toegevoegd, waarmee stikstof kon worden gesimuleerd. Er was een verschuiving, waarin de aandacht werd gericht op waterkwaliteit. The detrimental effects of drainage on water quality. In zijn PhD heeft Youssef de eerste versie hiervan verbeterd; hierbij ontstond de tweede versie van DRAINMOD-N. Deze versie simuleert een redelijk gedetailleerde, dynamische koolstofcyclus en een zeer gedetailleerde stikstofcyclus. Het is toegepast op diverse locaties in het middenwesten, maar ook op diverse plekken in Europa. We hebben het model toegepast in Duitsland en in Zweden. Niet in Nederland. Jan: maar wij hebben ANIMO. Mohammad heeft daarover gelezen toen hij met zijn PhD die bezig was. Jan: in conceptuele zin lijken beide modellen op elkaar.

Youssef: het goede nieuws is: er zijn vele modellen, maar één van de belangrijkste eigenschappen van DRAINMOD-N is: het is heel simpel. En daarmee heeft het zeer veel populariteit verworven. Op landbouwpercelen doet het goede voorspellingen met relatief weinig modelinvoer. Er zitten geen numerieke oplossingschema's in, de op te lossen vergelijkingen zijn sterk niet-lineair en erg moeilijk op te lossen. De vergelijkingen worden soms instabiel.

In elk geval: het model is heel prettig, en relatief nauwkeurig. De laatste toevoeging is dat wij een fysiologisch gebaseerde gewasgroeimodel hebben toegevoegd. We bewegen mee met de onderzoeksagenda. Nu worden we geconfronteerd met vragen rond waterkwaliteit en waterconservering. We optimize the water as a resource.

We hebben hier veel extreem weer gehad. We hebben droogte gehad, daardoor hebben we behoorlijk wat oogstverliezen gezien. Veel land is van nature slecht gedraineerd. We kunnen een drainagesysteem van de positieve kant bekijken: we kunnen het systeem ontwerpen en gebruiken om hoge gewasopbrengsten te realiseren, om negatieve effecten op de waterkwaliteit te minimaliseren, en onder conserverende werking van drainage te maximaliseren.

Kan het model ook gebruikt worden om bijvoorbeeld de effecten van de lay-out van drainagesystemen zoals we die in Ospel hebben geïnstalleerd, op de waterkwaliteit te simuleren, na te bootsen? Heeft een drain werkelijk effect op de concentratie stikstof in het draineffluent, of moet lagere uitspoeling van stikstof alleen worden toegeschreven op het onderdrukken van de drainage-intensiteit, door de drainagebasis omhoog te zetten? Youssef: dit is een interessante vraag. Als je een veldexperiment doet, kun je zoiets vaststellen. Je kunt zien dat je de load van de measured outflow reduceert, en je meet de concentratie, en je ziet het verschil, maar het is extremely difficult en extremely expensive om dit soort experimenten volledig te doorgronden. Ik heb ik dus met het model nagebootst. Wij bestuderen het effect van regelbare drainage op de uitspoeling van stikstof op verschillende bedrijven in het Middenwesten. Daar wordt heel veel gedraineerd, we proberen het effect van deze gedraineerde gronden, in casu uitgespoelde stikstof, naar de Mississippi rivier te simuleren.

Het is het meest waarschijnlijk dat de reductie van Nitrogen Loading vrijwel geheel samenloopt met de reductie in afvoeren. Maar dit betekent niet dat de drainage geen effect heeft op de stikstofcyclus. Dankzij regelbare drainage wordt de opname van stikstof door gewassen enigszins vergroot. De verblijftijd van het grondwater neemt enigszins toe, de stikstof verblijft dus iets langer in het profiel. Er zullen ook meer denitrification losses zijn. Er zullen ook effecten zijn op de kwel/wegzijgings-situatie, omdat drukhoogte enigszins toeneemt. Maar let op: dit zijn allemaal gemodelleerde voorspellingen!

Wayne: wij hebben heel veel van dit soort simulaties gedaan. In die simulaties gebeuren drie dingen. In het algemeen voorspellen we meer denitrificatie. Maar we voorspellen lagere drainafvoeren, 10% meer oppervlakteafvoer, 10% meer downward seepage, een klein beetje meer (10%) evapotranspiratie E_t . De drainafvoer daalt met circa 10%, omdat de evapotranspiratie met 10% stijgt. Jan: in Nederland zijn die effecten kleiner. Wayne: dat heeft met het klimaat te maken; begrijpelijk. Maar alles bij elkaar betekent dit dat er een behoorlijk verschil krijgen in de drainafvoer. We krijgen, bij elkaar opgeteld, verschuivingen in de waterbalans: 30% minder drainafvoer door 10% seepage, 10% surface runoff en 10% E_t . Not the load! Youssef: de stikstofdynamiek en -kringloop wordt beïnvloed door water management en de farming practices. Hoeveel stikstof wordt jaarlijks op het perceel gebracht? Jan: ongeveer 170 kg per hectare per jaar; dat is een wettelijke maximum. Youssef: Wat is het organisch stofgehalte van de bovengrond? Jan: in dit geval, een zandige bovengrond, ongeveer 5% organic carbon. Youssef: hoeveel millimeter water wordt jaarlijks door de drainage afgevoerd? Jan: ongeveer 250mm; ca. 90% van de waterafvoer uit het perceel verdwijnt via de drainage. Youssef: als je een berekening doet: wat zou dat de concentratie in het drainagewater zijn? Jan: ongeveer 4 mg/liter. Youssef en Wayne: dat moet veel meer zijn dan 4 mg/liter: als je 250 mm drain of één

per jaar, en je hebt 170 kg per hectare dan moet die concentratie veel hoger zijn!⁵⁴ Jan: ja, dat kun je uitrekenen (1:24).

Wayne: in ons veldexperimenten gedurende al die jaren, en ook in onze modellen, gebeurt met regelbare drainage het volgende: we reduceren de subsurface drainage outflow, vergeleken met conventionele drainage. In de meeste gevallen reduceren we de totale afvoer. De stikstofconcentratie verandert tussen Regelbare drainage en conventionele drainage niet zoveel. Maar ik denk dat jouw model waarschijnlijk een groot verschil voorspelt in de stikstofconcentratie. Jan: ja. Omdat ANIMO voorspelt dat natte omstandigheden leiden tot meer denitrificatie. Maar DRAINMOD-N voorspelt een kleine verschuiving in nitraatconcentratie, maar niet zoveel.

Lodewijk: dit maakt mij heel nieuwsgierig: vanwaar dit verschil? Dat is heel belangrijk voor ons! Wayne: ons antwoord op de vraag 'Where does the Nitrogen go?' waarover ik en Youssef geregeld hebben gefilosofeerd, is: uit onze langjarige ervaringen, opgedaan in Noord en Oostelijk North Carolina, vinden we in de waterbalans dat we na introductie van regelbare drainage veel water extra verliezen door wegzijging. Immers: we onderdrukken de afvoer door middel van onze control structures, die effect hebben op zowel de oppervlakteafvoer als de afvoer via de ondergrondse drainages. We reduceren de gesommeerde afvoer (dus: oppervlakteafvoer als de afvoer via de ondergrondse drainages) met wel 40%! Dus het water dat niet tot afstroming komt, of extra verdampt kan niet anders dan via wegzijging het perceel verlaten. In onze vroegere experimenten maten we verzadigde zone beneden drainniveau, en we vonden geen nitrogen embed in that it was reduced. Dus al het grondwater dat hier doorheen kwam moest gedenitrificeerd zijn. Welnu, afhankelijk van hoe je dit modelleert, kan dit uit zo'n model rollen - of niet - want het kan een randvoorwaarde zijn van het model. Het water verlaat het modelsysteem via een gereduceerde zone.

Lodewijk: Heeft dat ook niet te maken met de manier waarop je de wegzijging simuleert? Je kunt er een vaste randvoorwaarde van maken, maar je kunt het ook door het model laten uitrekenen, op grond van potentiaalverschillen van het grondwater. Wayne: je kunt het op beide manieren doen. Maar essentieel is dat je het moet doen op een manier waar je zelf vertrouwen in hebt! Het water kan ook op grotere diepte gedenitrificeerd worden, maar dat zit er niet in je model.

In wetenschappelijke zin zou dit een aanvaardbare benadering kunnen zijn. Maar er zijn bodems in Canada waar ze dit soort dingen hebben onderzocht, en die bodems daar zijn zó compact en slechtdoorlatend dat ze weten dat ze daar geen verliezen kunnen hebben door wegzijging. En in die gevallen is de interactie tussen oppervlakteafvoer en subsurface drainage. Als ze regelbare drainage installeren neemt E_r enigszins toe, maar krijgen ze geen enkele toename in wegzijging. Wél een grote toename van oppervlakteafvoer, waar maar weinig stikstof in zit. Waar blijft in die gevallen de stikstof? Die moet dan wel denitrificeren in het bodemprofiel, als er echt sprake is van veranderingen in de stikstofbalans, en dat hebben ze ook gemeten!

Youssef: bij conventionele drainage in jullie modelstudie, zo heb ik nu even snel op grond van door jullie gegeven informatie uitgerekend, is de flow-weighted concentratie 28 mg/l. Bij regelbare drainage 8 mg/l. Wayne: in onze metingen zien wij niet dit soort verschillen. Ik neem aan dat je het model hebt gekalibreerd? Jan: uiteraard! Niet voor dit geval weliswaar, want we hebben een preliminary model research uitgevoerd. Ons ANIMO-model is uitgebreid getest; de hydrologie wordt uitgerekend door het SWAP-model.

⁵⁴ In Ospel schommelden de concentraties in het uitspoelseizoen 2010-2011 tussen 20 en 30 mg/l, wat er in het uitspoelseizoen 2011-2012 tussen 25 en 70 mg/l.

Jan: We gebruikten een standaard parameterset, we hebben het model niet apart geijkt. Je stopt er gegevens in over de bodem en het organisch stofgehalte. Dat is een probleem. Youssef: ik zou je sterk adviseren om nog eens goed te kijken naar de voorspellingen van denitrificatie in je model. Het is een zandige ondergrond, en de anaerobe condities zijn bijvoorbeeld niet vergelijkbaar met die van een zware kleigrond. En ook: je bent niet aan het overbemesten. De doseringen zijn goed.

Lodewijk vertelt over proeflocatie Ospel: we hebben drie blokken. In het 1e blok, blok A, hebben we conventionele drainage; de stikstofconcentratie van het drainagewater is ongeveer 20 mg/l. In blok C, met regelbare drainage, is de stikstofconcentratie ongeveer 30 mg/liter. Youssef: 'I can relate to this'. Want als je ongeveer dezelfde hoeveelheid stikstof aan het profiel toevoegt en de subsurface flow reduceert dan is het plausibel dat de stikstofconcentratie in het ondiepe grondwater en het drainagewater hoger wordt. (dit dus ondanks de verhalen dat regelbare drainage denitrificatie bevordert (LS)). Wayne: maar als je de drainafvoer met 50% reduceert, en de concentratie neemt met 2 mg/l toe, dan zal de load waarschijnlijk toch afnemen.

Lodewijk: in het middelste blok bleken de drains niet aan de collector zijn aangesloten. Wayne: 'that's a classic!' It happens all the time! We're trying to figure out: 'what's going on?' The drains not connected! Ik heb dat al zeker drie keer gezien, vooral rond funderingen bij gebouwen.

Youssef: het zou een goed idee zijn om de modelvoorspellingen van ANIMO eens te vergelijken met die van DRAINMOD-N. We zouden de stikstofbalansen die beide modellen voorspellen eens moeten vergelijken.

Wayne: ik wil graag terugkomen op je oorspronkelijke vraag, die te maken heeft met drains op verschillende dieptes. Tien jaar geleden was onze hypothese dat als je een hellend terrein hebt, het heel moeilijk is om regelbare drainage aan te leggen; je hebt dan heel veel control structures nodig. Dus onze hypothese was: we zouden de drains minder diep kunnen installeren en de drainafstand tegelijkertijd kunnen verkleinen waardoor de drainage-intensiteit groter zou worden. Hierdoor kun je de grondwaterstand niet zo sterk laten zakken, zodat je een dikkere gereduceerde grondwaterzone creëert en daarmee wellicht hetzelfde effect bereikt als je met regelbare drainage doet. Dit hebben ze gedaan in Minnesota en Illinois. Richard Cooke heeft dat ook gedaan (je ontmoet hem later deze week). Alle gegevens van alle experimenten bij elkaar gegooid leidt tot de conclusie, dat het inderdaad wel allemaal in deze richting werkt. Ons veldexperiment, en North Carolina, was waarschijnlijk de minst overtuigende van de drie.

Maar onze modelstudie, die we deden met DRAINMOD-N (dat was nog voordat DRAINMOD-N2 operationeel was), en de hypothese die wij hierop hadden gebaseerd voorspelde dat we een substantiële verlaging zouden gaan zien van de stikstofuitspoeling, als gevolg van het feit dat wij de grondwaterstand minder sterk 'naar beneden draineerden'. Richard zou jullie daar ook nog wat over kunnen vertellen. Alle experimenten die er gedaan zijn, er zijn tenminste drie sets van veldexperimenten die we gedaan hebben, bevestigen deze hypothese. Ik zal een aantal papers voor jullie pakken waarin een en ander beschreven is.

Jan van Bakel heeft nog een vraag aan Wayne: betekent het minder diep installeren van drainbuizen ook dat de drainagebasis navenant omhoog en omlaag gaat? Wayne: dat klopt. Ze hebben gewerkt met twee dieptes: 60 en 120 cm. Ze hebben de grondwaterstand verlaagd tot 60 cm beneden maaiveld. Het probleem was dat tussen 60 en 120 cm de grond vrijwel ondoorlatend was. Dus in theorie zou je dan vrijwel geen verschil zien, en in de praktijk zagen we dat ook niet. Misschien 10% effect.

Maar bij regelbare drainage zijn nog steeds dezelfde vragen relevant: wat gebeurt er met het water? En wat gebeurt er met het nitraat? Wat er met het water gebeurt, is: bij ondieper liggende drains krijg je ook ondieper liggende grondwaterspiegels, dus de wegzijging naar het grondwater neemt toe, vergeleken met de wegzijging naar het grondwater als de drains dieper liggen. En je E_t neemt wegens de ondieper liggende grondwaterspiegels enigszins toe, en ook de oppervlakteafvoer kan toenemen. Wat wij in Ospel doen, zegt

Wayne, is echter een ander scenario: we manipuleren de drainagebasis in de outlet structure. Wayne denkt dat er dan weinig verschillen zullen zijn tussen een draindiepte van 90 cm beneden maaiveld en één van 120 cm beneden maaiveld.

Jan: de drains liggen beneden het freatisch niveau, en de claim is dat de denitrificatie bij de diepe drains anders is dan bij de ondiepe drains. Wayne: Jim Fouss heeft precies dit gedaan; hij heeft ervoor gekozen om dit te doen, en niet hetzelfde te doen als wat ik heb gedaan, namelijk de drainagebasis gelijk maken aan de draindieptes. Bij nader inzien vertelt Wayne: Jim Fouss heeft het toch weer net iets anders gedaan: de draindiepte was overal gelijk, maar hij werkte met verschillende 'drainagebasis-sen'. 'He was holding the drainage base above it for one group, and below it for another'.

Wayne weet niet wat hier uitgekomen is; hij vond verschillen maar ik weet niet meer welke. Hij heeft dit experiment maximaal tien jaar geleden uitgevoerd. Hij weet niet of dat gepubliceerd is, hij zal er naar zoeken. Wayne: de vraag is hier natuurlijk: heeft de stroomlijn van het water dat naar de drains stroomt effect op de mate van denitrificatie? Dat zou je logischerwijs wel mogen aannemen.

Youssef: er zijn een aantal metingen die gedaan kunnen worden om meer zekerheid te krijgen, zeker als we zulke hoge waarden van denitrificatie voorspellen. Vooral het meten van de concentratie nitraat in het grondwater op verschillende diepten. Dat is heel erg belangrijk. Als het model verschillende concentraties voorspelt, dan moet je dat ook met metingen kunnen bevestigen, bijvoorbeeld tussen 75 en 125 cm beneden maaiveld, of misschien wel tot drie meter diep.

Als de stikstofconcentratie op twee meter beneden maaiveld vrijwel nul is, zelfs als er sprake is van wegzijging, dan is er geen sprake van stikstofverlies naar de diepere ondergrond. En daarmee kun je een onzekerheidsfactor uitsluiten. Wayne: dat was een deel van onze eerste experimenten in de jaren 70 van de vorige eeuw. Wij hebben toen zowel de redoxpotentiaal gemeten als de stikstofconcentraties op deze diepten. En wij vonden dat die 0 was, en dus zijn we er vrij zeker van dat we niet alleen maar de stroomrichting van het ondiepe grondwater aan het veranderen waren, maar dat we ook de chemische samenstelling van het grondwater aan het beïnvloeden waren.

Youssef: ik denk dat de denitrificatie onder jullie omstandigheden niet meer dan 10 à 15 kg per hectare per jaar zal zijn. Wayne: dat is niet zo veel.

Jan: voor de drinkwaterindustrie wordt op vele plaatsen in Nederland het nitraatgehalte van het grondwater gemeten op drie meter m beneden maaiveld. Als de concentratie hoger is dan 50 mg/l mag daar geen drinkwater meer uit worden gewonnen. Wayne: als alles zo streng gecontroleerd wordt krijg je het probleem dat de perceptie gaat ontstaan dat alles wat je doet om wegzijging te bevorderen, bijvoorbeeld regelbare drainage aan te moedigen, ertoe leidt dat het nitraatgehalte van het grondwater zal toenemen. Dat zal inderdaad zo zijn in zandgronden, maar niet noodzakelijkerwijs op slechtdoorlatende veen- en kleigronden.

Youssef heeft nog een vraag over een grafiek die Jan heeft laten zien, uit zijn modelstudie. Hoe komt het dat het blok met regelbare drainage minder nitraat afvoert dan het ongedraineerde blok? Jan: omdat het in het algemeen natter is. In het model hebben we het niveau van de regelbare drainage té ondiep gezet. Daarmee hebben we zeer natte modelomstandigheden gecreëerd. En daarom is het nitraatgehalte daar iets lager.

Wayne: dat is inderdaad een hele goeie vraag! Daar zul je het mee eens zijn? Wij kijken er als volgt tegen aan: als wij de drainagebasis in onze control structures meer en meer verhogen, dat wil zeggen: we belemmeren de afvoer, dan neigen we ertoe om het subsurface drainage regime weer om te buigen naar het natuurlijke drainage regime dat er was, vóórdat we de drainage hadden aangelegd. We keren als het ware weer terug naar ongedraineerde omstandigheden. Dus je zou niet verwachten dat regelbare drainage een effect zou

hebben dat groter zou zijn dan het effect dat er oorspronkelijk was, namelijk onder ongedraineerde omstandigheden. Zo kijken wij er tegenaan!

En dit is niet louter een academisch argument. Er is namelijk behoefte aan het kwantificeren van het effect van regelbare drainage, en dat effect is gerelateerd aan de natuurlijke drainageprocessen. Daarom is het beste wat je zou kunnen doen met regelbare drainage: terugkeren naar de natuurlijke drainageprocessen. Dat is onderzoek wat we nog moeten gaan doen. Ik denk eraan in de volgende context. Als je een programma zou ontwikkelen voor boeren, om de boeren te helpen deze methode toe te passen, dan moet je het effect van regelbare drainage kwantificeren, wellicht op een jaar-tot-jaar basis. Om zoiets te doen moet je eerst vaststellen wat de natuurlijke drainagecondities zijn: that is as far back as you are going to get! Dat stelt je in staat om vast te stellen: de totale wegzijging wordt bepaald door de natural drainage rate. Elk effect dat je daar bovenop krijgt, oftewel oppervlakteafvoer of toename van E_t , of een combinatie daarvan, wordt bepaald door ingrijpen in de drainage. Sorry: I'm getting into lecture mode!

Nog even terug naar de laatste versie van DRAINMOD. De laatste versie hiervan beschouwen wij als een model dat het hele systeem omvat. De hydrologie is het grootste deel van het model, de koolstofcyclus ('carbon dynamics'), de stikstofcyclus ('nitrogen dynamics'), en de gewasgroei. We willen dit in een goeie balans simuleren. We hebben een heel goed hydrologisch deel. En wij denken ook dat zowel koolstof als stikstof goed wordt gesimuleerd.

We hebben hiertoe aan DRAINMOD de gewasgroeimodulen van het veelgebruikte DSSAT-model⁵⁵ toegevoegd. Dit model stelt ons in staat om studies te doen naar aanpassing van de landbouw aan voorspelde klimaatverandering. Het groeiseizoen verandert met stijging van temperatuur.

Wayne: DSSAT is voor dit doel inmiddels breed geaccepteerd. In minstens 75% van de global studies naar de effecten van klimaatverandering worden voorspellingen gebaseerd op dit model als gewasgroeimodel. Jan: in NL gebruiken we al sinds jaar en dag WOFOST. Youssef: we hebben ook referenties van DRAINMOD met DSSAT. Het zou een goed idee zijn om onze beide modellen te vergelijken bij de studie van de Nederlandse 'drained crop systems': wij zouden wel eens willen weten hoe onze modellen het bij jullie doen.

Wayne: degene die DSSAT in DRAINMOD heeft ingebouwd heeft zojuist haar PhD afgerond. Er is nog geen wetenschappelijk verhaal over uitgebracht, maar we zullen nog dit jaar een manuscript beschikbaar hebben. Ik ben er persoonlijk nog niet van overtuigd dat we stress die veroorzaakt wordt door natschade wel goed in het model hebben zitten. Daar moeten we nog meer aan doen. Jan: Bartholomeus heeft een artikel geschreven, waarin hij zuurstofstress in de wortelzone in het SWAP-model beschrijft (Journal of Hydrology).

Tim Appelboom, een andere collega van de groep van Wayne, vertelt tenslotte ook nog iets over zijn werk. Het gaat over Denitrification Walls en bioreactoren aan het benedenstrooms eind van drainagesystemen. Ze experimenteren daar met houtsnippers die ze in sleuven gooien waar drains in worden geïnstalleerd. Dit om

⁵⁵ <http://www.dssat.net/> Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) is a software application program that comprises crop simulation models for over 28 crops (as of v4.5). DSSAT is supported by data base management programs for soil, weather, and crop management and experimental data, and by utilities and application programs. The crop simulation models in DSSAT simulate growth, development and yield as a function of the soil-plant-atmosphere dynamics, and they have been used for many applications ranging from on-farm and precision management to regional assessments of the impact of climate variability and climate change. It has been in use for more than 20 years by researchers, educators, consultants, extension agents, growers, and policy and decision makers in over 100 countries worldwide.

denitrificatie te bevorderen. Maar nog vaker maken ze 'denitrification walls' van houtsnippers buiten. Het is economisch niet haalbaar om dit grootschalig toe te passen, en dat gebeurt in de USA dan ook nog niet; het is nog in het onderzoekstadium.

17.3 9 november 2011: Ohio State University (Columbus, OH)

17.3.1 Prof. Dr. Larry Brown. Columbus, Ohio

In de ochtend veldbezoek aan twee locaties waar regelbare drainage is geïnstalleerd. Op de reis er naar toe veel discussie over drainage. 'Der Dutchman', waar we vanochtend met Jim Mitchell, een boer die een paar duizend acres bebouwt, hebben ontbeten, ligt in Plain City, Ohio.



Jim woont op de oorspronkelijke familieboerderij, die gaat meer dan 100 jaar terug. Zijn locatie was de allereerste waar destijds een regelbaar drainagesysteem is aangelegd. Dat was in 1990. Hij heeft het systeem af en toe wat intensiever en af en toe wat minder intensief gebruikt, maar hij kan je het beste vertellen wat hij daarvan vindt.

Er zijn blokken van zeven acres, en de drainage zit in twee daarvan, dus het is maar een klein deel van zijn totale boerderij. Maar het was aangelegd om onderzoek te kunnen doen en ook om het aan anderen te demonstreren. Zijn neef, die in de naastgelegen boerderij woont, heeft twee blokken van 3½ acres. Ze waren van plan om opbrengsten te vergelijken en ook de waterkwaliteit.

North Carolina is in de USA het langste bezig met regelbare drainage en Water Table Management. Wat is het verschil tussen die twee? Water Table Management bestaat uit elke willekeurige combinatie van drie componenten: conventionele buisdrainage, regelbare drainage en subirrigatie. Ons concept in het midden westen is dat we drainwater conserveren. We doen dat voornamelijk omwille van de waterkwaliteit. Het werk dat er de afgelopen vier tot vijf jaar gedaan hebben was voor een deel ook gericht op de potentiële vergroting van de gewasopbrengst. En we hebben gegevens: in het algemeen is er, ten gevolge van waterconservering,

sprake van een kleine toename van de gewasopbrengst. Dat was op sommige percelen - en in elke staat heb je wel een aantal van dat soort percelen - significant. Maar het was niet zoveel: in 3 à 5% van alle gevallen.

Over de noodzakelijke duur van een veldexperiment: iedereen is het er wel over eens dat een proef zeker zeven tot acht jaar moet duren voordat je een redelijke uitspraak doet. 'In three years, you can't really get a whole lot of stuff done'. Maar het probleem is dat de meeste subsidies maar drie jaar duren. Larry: met een aantal universiteiten zijn we allemaal zo ongeveer op hetzelfde moment met drainageprojecten begonnen. Dat betekent dat we nu zo'n beetje allemaal aan het afronden zijn. De ervaringen worden nu bij elkaar geschreven en in 2012 door Wayne gebundeld. De review is net vorige week begonnen en in 2012 zal het worden gepubliceerd. We hebben alles vorige week opgestuurd. Inclusief Wayne zijn de bijdragen uit zes verschillende staten, waarvan vijf uit het Middenwesten. Wayne heeft de langste gegevensreeks over de oogst en de waterkwaliteit. Larry heeft drie tot vijf jaar ervaring en gegevens. De publicatie komt in de Journal of Soil and Water Conservation⁵⁶.

Lodewijk vraagt Larry wat hij in China doet, want daar gaat hij geregeld naar toe. Larry: ik legt wetlands aan en ontwikkel rice paddy schemes. Hij kijkt ook naar drainage-, en irrigatiesystemen. Harvesting drainage water, routing it to wetland om het wat schoner te krijgen, en re-use, recycle het water. Ze zijn met dit werk in 2005 begonnen; deze projecten worden allemaal door de Chinese regering gesubsidieerd. The overall mission is to reduce non-point source pollution. De regering en de subsidiegevers zijn gek op kleinschalige wetlands.

Ik ken een teler van sojabonen, Dick Cooper (ARS), hij werkte samen met Norm Fausey aan subirrigation. Onze onderzoeker in China en een jonge Chinese boeren die ook sojabonen teelt, zochten contact met Dick Cooper. Dick vroeg mij hem te helpen; hij heeft nu een locatie waar hij subirrigation onderzoekt. Samen met drip irrigation. De afgelopen jaren heeft hij recordoogsten van sojabonen gehad.

Volgend jaar introduceren we (in China) een nieuw subirrigatiesysteem met drains. We beginnen ervaring op te bouwen. Het kán werken, als je de juiste locatie vindt en die juist de bodemomstandigheden. De onderzoekers zijn in dit geval niet zozeer bezig met de economie; ze kijken alleen hoe ze de oogst kunnen maximaliseren, ze kijken naar genetische- en zaad ontwikkeling. Ze kijken nog niet naar water use efficiency. Ze willen eerst goede ervaringen opdoen met subirrigation op geschikte percelen. Ze doen ook nog werk met trickle irrigation, met sojabonen en met mais. Er zijn dus in China een handjevol van dit soort proeflocaties waar ze wetlands met drainagesystemen combineren, drainagewater recyclen en ook aan subirrigation doen. Maar ze voeren de proeven niet zo uit als ik ze had gevraagd; dus ik weet ook niet wat ze nu met het systeem aan het doen zijn.

De boeren werken de zaak ook vaak tegen: ze krijgen meer geld voor rijst, dus willen ze geen sojabonen en geen mais op hun percelen telen. En daarmee hebben we dus andere proeven. Ze zijn wel zeer tevreden over de drainage op hun rijstpercelen. De Chinese regering wil echter geen buisdrainagesystemen subsidiëren. Dus er zijn nu sloten gegraven, en grotere kanalen. Ze hebben grote surface drainage networks aangelegd om water te transporteren. Ze willen geen buisdrainage omdat het te duur is: oppervlaktedrainage is veel goedkoper. Veel boeren kunnen sowieso geen buisdrainage betalen. Maar er is nu één man op het ministerie, die erg gecharmeerd is van buisdrainage, subirrigatie, wetland connections etc.; het kost veel tijd, je moet de mensen echt goed voorlichten, demonstraties houden en dergelijke. Ik werk met zeven of acht verschillende agencies in China.

⁵⁶ <http://www.jswnonline.org/content/current>

Larry: we hebben tenminste 6 miljoen acres aan buisdrainage in Ohio; dat is ongeveer 2 miljoen hectare; ongeveer 2½ keer zoveel als in Nederland. We hebben hier nauwelijks oppervlaktedrainage, er zijn alleen grotere sloten en vaarten die met de drainagesystemen te maken hebben. Er is nog veel kleibuizen en betonnen buizen. Rond 1900 werden al veel kleibuizen geïnstalleerd. We zijn nu bezig om op veel percelen de drainage te verbeteren. Er wordt nog steeds behoorlijk geïnvesteerd in drainage; tegenwoordig is het allemaal plastic. Er worden nog wel wat kleibuizen geproduceerd, vooral voor reparaties, en de Amish willen ook nog steeds kleibuizen! Er zijn vijf bedrijven die buizen maken. ADS (de grootste in de US) heeft vijf jaar geleden Hancor gekocht. En in Ohio hebben nog drie andere bedrijven die buisdrains maken. Wayne heeft nogal wat Hancor Arch Flow tubing op de boerderij van zijn vader.

In Ohio gebruiken ze vier inch laterals; dat is 'very common'. Een paar jaar geleden was het in Ohio goedkoper om 4 inch buizen te kopen dan 3 inch! Als de buis sleufloos moet worden geïnstalleerd, dus geen kettinggraver, raadt Larry af om kleinere buizen te installeren, te weten 2 en 3 inch diameter. Er worden heel wat verschillende, grotere diameterbuizen geïnstalleerd: 4, 5, 6, 8, 10 inch.

Larry: als wij regelbare drainage installeren, zit daar heel veel retrofit bij. Het is dus heel gebruikelijk dat ze dan de drainafstand niet veranderen. Maar als de boer denkt dat die in de toekomst misschien subirrigation zou willen gaan doen, dan kunnen we hem adviseren om meer laterals te installeren.

Er zijn verschillende gevallen waar het drainagesysteem aanwezig was met drainafstanden van 50-60 foot spacing, en die hebben ze drie keer zo klein gemaakt door tussen te draineren; drainafstanden van 15 foot zijn dan gebruikelijk. Er is dan vaak sprake van kleibuizen, die het nog steeds goed doen. Er wordt dan 'plastic' tussen gedraineerd. Maar de collectoren worden niet vergroot.

Bij nieuwe ontwerpen hebben we echter veel meer mogelijkheden, en willen de boeren ook vaak meer investeren. We kunnen het dan echt anders ontwerpen; vaak willen boeren een normaal, conventioneel drainagesysteem hebben, maar we kunnen zo'n systeem dan al zó ontwerpen dat als ze later nog een keer subirrigation willen gaan doen, we zo'n systeem dan veel gemakkelijker en beter kunnen ombouwen. De mentaliteit van de meeste boeren is nog steeds dat ze conventionele drainage willen hebben.

Er worden nauwelijks drainagefilters gebruikt. Vooral omdat onze gronden geen problemen geven. We hebben alleen wrappings als de korrelgrootteverdeling suggereert dat gronden instabiel zijn. Maar die gronden hebben wij hier in Ohio nauwelijks. We've got silt loam, silty clay loam, clays, silty clays. Sandy loams in a few places. Rond Lake Erie heb je voormalige strandwal-gronden. In deze regio's zijn speciale buizen gebruikt, die hele kleine perforaties hebben: 'knife cut'. Daar hebben we helemaal geen onderzoek naar gedaan. We hebben wat er een paar kleigronden geprobeerd, maar dat ging niet goed.

Larry: het wordt steeds duurder, en dus steeds moeilijker, om proeflocaties te vinden voor drainageproeven. Het is niet al te moeilijk om boeren te vinden die mee willen werken, ze zijn vaak geïnteresseerd, maar het is veel moeilijker om die boeren te laten doen wat jij belangrijk vindt dat ze doen. En zeker ook om ze te houden aan een redelijk strak schema om metingen te verrichten. Ze hebben ook niet al te veel tijd. Jim, however, has been very accomodating.

Jim's drainage is geïnstalleerd in 1983, de drainafstand is 50 voet (16 m). Ik heb dat alleen maar gedaan omdat ik toen het idee had dat ik wel eens subirrigatie zou kunnen gaan toepassen. ADS had een aantal specialisten. Toen we in de lente ondiepe grondwaterstanden hadden deden zij een pompproef, en vertelden ze mij dat voor subirrigation 50 voet een uitstekende drainafstand zou zijn; niet voor regelbare drainage overigens!

Zij gebruiken 4 inch buizen, en hebben geen last van luchtsloten. Jim: je kunt hier ook 3 inch buizen kopen, maar die zijn nauwelijks goedkoper dan 4 inch! 3 inch wordt dus nauwelijks gebruikt. Een 4 inch pijp kost, geïnstalleerd per voet, \$0,52.

In North Carolina is veel belangstelling voor subirrigation; die is nog toegenomen sinds daar een lange periode van droogte is geweest. In North Carolina is altijd al meer belangstelling geweest voor subirrigation dan in Ohio. Ze hebben daar nu sloten op een afstand van 300ft = 100 m. Ze kunnen daar heel makkelijk hun drainagewater in kwijt ('they can backwater up in those, just let the water feed back in, so they have a lot more efficient way to subirrigate'). North Carolina heeft dus een veel langere historie met subirrigation. Het heeft hier nu eenmaal het imago dat het te duur is; zo wordt er tegenaan gekeken. Om dit goed te kunnen doen moet je wel een hele goedkope wateraanvoermogelijkheid hebben. Het voordeel is wel dat je geen energietoevoer nodig hebt zoals bij sprinklers. Als je maar de goede bodem hebt heb je ook een betere water use efficiency. Jim: het andere ding over subirrigation hier in het noordwesten is: het is de investering niet waard ('it doesn't pay!'). We hebben hier 38 inches neerslag. Misschien dat dat met klimaatverandering gaat toenemen. Misschien hebben we wel wat subirrigatie op zandige bodems, maar in Ohio komt irrigatie vrijwel niet voor.

Jim heeft een theorie: vooral bij no till farming blijven allerlei oude wortelkanalen en pierengangen in stand, helemaal vanaf het maaiveld tot aan de drains. Daardoor is de kans van optreden van luchtbellen in drainbuizen veel kleiner! USDA heeft onderzoek gedaan naar macroporiën in de buurt van drains met behulp van tracers. Er gaan heel wat earthworm channels naar beneden, hoe verder je van de drains afkomt hoe minder van dit soort channels je vindt. Deze bevindingen worden bevestigd in het proefschrift van Lodewijk Stuyt (1992).

17.3.2 Op de Farm van Jim Mitchell

Jim Mitchell heeft al een vliegbrevet sinds 1974 en zijn eigen vliegtuig. Hij heeft een start/landingsbaan op elk van zijn twee farms; die liggen een half uur vliegen van elkaar verwijderd. Landbouw: no till all over the place: na de oogst mais wordt slechts zeer oppervlakkige bodembewerking uitgevoerd. In voorjaar tarwe inzaaien en na de oogst nog een teelt sojabonen. De drainage installaties (putten etc.) op de eerste site zijn vergelijkbaar met Nederlandse putten. Bij hevige neerslag kan maaiveld overstroomd raken vanuit hogere delen van perceel.

Op deze plek ligt een silty clay subsoil. Silty clay loam A-horizon. We gaan de allereerste put bekijken die Larry heeft aangelegd. Er worden twee verschillende zones gedraineerd; ze zijn allebei ongeveer 7 acres. Het is een hele simpele setup. Jim heeft heel wat risico genomen bij het maximaliseren van de hoeveelheid water die hij vast wil houden. Als deze grond droog is dan stroomt er vaak heel veel water door het systeem, dat water is hij dan kwijt, maar hij wil elke druppel vasthouden. Dit is helemaal vergelijkbaar met het systeem zoals we dat in Nederland maken; alleen is alles een factor groter uitgevoerd. Een grotere put; grotere buisdiameters, etc.

Op het moment dat we hier zijn wordt er mais geoogst. Jim heeft een collectorbuis lopen langs de weg. Larry wil eigenlijk nog meer proefveldblokken op deze collector aansluiten, om verschillende soorten management te kunnen vergelijken. Alles is hier conventioneel gedraineerd met een drainafstand van 50 feet, behalve die twee speciale percelen. Hij kan de drainage stilleggen door een schuif in een grote metalen 'uitloop'-duiker te steken. Deze duiker zit ergens in de hoek van zijn perceel en watert af op een sloot. Dat is zijn manier van Controlled Drainage. We kunnen het niet goed zien want het is wellicht overwoekerd, zegt Larry. Daar is dus geen put, maar alleen een pijp. Larry vertelt dat hij ongeveer 20 jaar geleden een aantal waterkwaliteitsmonsters heeft genomen. Afvoeren werden gemeten met emmers en stopwatch.

We stappen weer in de auto en vertrekken naar de volgende plek; die is ook onderdeel van het bedrijf van Jim Mitchell. We rijden langs de put voor het tweede veldje; Larry zegt dat de systemen maar matig onderhouden zijn; dus hoog tijd om daar meer aandacht aan te besteden. Hij wil deze cirkelvormige manholes eigenlijk

vervangen door standard control structures. Ze lekken namelijk, en ze willen Jim meer opties geven 'on control level'. Op dit moment heeft hij drie pijpen, dus hij kan de drainagebasis op drie verschillende niveaus instellen. We rijden nu langs twee zones van 3½ acres; wij hebben in Nederland exact dezelfde control structures, alleen een factor kleiner. In de zomer van 2012 zal Larry terugkomen om de deksels te vervangen. We stappen even uit om de putten even goed te bekijken.

All environmental things are not viewed as positively by younger people. Die jonge medewerkers van de faculteit vinden The Drainage Hall of Fame eigenlijk ook maar niks; die kast staat daar veel te prominent in de hal van het faculteitsgebouw. The wetlands people don't like to see it. Maar drainage is wel degelijk ook ingezet met positieve effecten op het milieu. Het is belangrijk om dat ook te blijven benadrukken, ook voor de aanstormende generatie. 90% van alle wetlands in Ohio zijn inmiddels verdwenen, want gedraineerd. In heel continentaal USA is zeker 85% op deze manier verdwenen.

Boeren hebben een leidraad voor het instellen van het peil. Dit luistert vrij nauw in verband met het bereiken van reductiedoelstellingen. Draindiameter overwegend 10 cm (NL 6 cm) en zonder omhulling. Heeft te maken met loamy soil (sand deposits over glacial till). Moeten we niet pleiten voor grotere diameter in NL?

17.3.3 Rondlopen op de tweede site van Larry Brown

Op de tweede plek die we vanmorgen hebben bezocht werd water uit twee wetlands verzameld, en via een collectieve buis naar landbouwpercelen vervoerd, om daar te infiltreren. Deze site is interessant: water, afkomstig uit een hellend perceelgedeelte wordt via interceptiedrains naar het wetland geleid. Een deel is uitgegraven; water stroomt in controlled systeem met meerdere niveaus.

In de Midwest zijn wetlands te gebruiken voor opslag als ze maar nat zijn. Het zijn vrijwel allemaal constructed wetlands. Daarnaast is langs elke waterloop een riparian zone. Omdat alles is gedraineerd zijn dat er niet zo veel.

De boer die wij nu gaan bezoeken informeert collega boeren over waterkwaliteit issues. Hij sprak jaren geleden alleen over waterconservering. Later introduceerde hij ook waterkwaliteit. Hij hoorde destijds een aantal verhalen die Norm Fausey en ik hebben gehouden voor draineurs, en ik denk dat hij daar een markt in heeft gezien. Iemand anders, een 'County Extension person' kreeg subsidie om iets te doen met hydrologie en drainage, kon een demonstratieproject opzetten, en toen kregen wij ook wat geld voor de locatie die we nu gaan bezoeken. De site bij Jim was opgezet met geld dat ik weer ergens vandaan had gehaald op OSU (=Ohio State University).

Larry: als de drains water afvoeren, is er een gereede kans dat er nitraat in zit. We hebben niet zoveel behoefte om dat allemaal precies te meten; ik zeg altijd: als de drains water afvoeren zal er wel nitraat in zitten. De kans is aanwezig dat de concentratie hoog is, maar hij kan ook laag zijn. Het kan 10 ppm zijn, maar het is er. Maar het gedeelte dat veroorzaakt wordt door mest wordt zichtbaar afgevoerd door de stream of door de outlet structure. Het is donker gekleurd: grijsachtig, bruinachtig. Je kunt het heel makkelijk ontdekken.

Jan: als je dit drainagewater wilt hergebruiken (voor de wetlands), hoe kan dat dan als het zo vuil is? Larry: ze proberen daarbij de mestgift rekening mee te houden; dat gaan ze bij voorkeur doen als er niet al teveel water in het bodemprofiel zit. De boeren zouden gebruik kunnen maken van heel veel wetenschap en van bestaande kennis, maar meestal doen de boeren het op grond van hun eigen ervaring ('hands on experience'); ze maken hun eigen afwegingen en doen wat zij denken te kunnen doen. Als ze dus mest hebben opgebracht, en als het water bij de outlet komt, en ze willen dat vasthouden dan pompen ze dat water terug in de sprayer van de land

application equipment to re-apply it. Ze moeten het dan wel fysiek uit de drainagesystemen pompen. Maar dat kost meer tijd, en het is ook wel weer wat duurder.

Als ze veel afvoer hebben, en er heel wat vis doodgaat krijgen ze enorm hoge boetes van de rechter ('very hefty fines'). US Fish & Wildlife controleren geregeld de waterkwaliteit van open water, maar ze komen alleen in actie als iemand klaagt. Er zijn dus vrij veel wildlife field officers, zij rijden voortdurend rond, en ze letten ook op jagende mensen. Ze moeten ook visaktes controleren, dus ze zijn heel vaak in de omgeving. Ze zoeken dus niet naar boeren die mest opbrengen, maar als ze dat zien gaan ze controleren.

Er zijn nog steeds veel environmentalists: burgers die optreden als watchdogs. Die kunnen soms heel erg lastig zijn, en een boerderij bijvoorbeeld elke dag weer controleren. De manier waarop ze het doen waardeert ik niet altijd, maar ze stellen wel zaken aan de kaak. Soms lijkt het ook een beetje op stalking. Maar uiteindelijk worden kwaadwillende boeren voortdurend gecontroleerd, en dat levert wel verbetering voor het milieu op.

We komen nu in de buurt van de tweede locatie. Veel gronden in deze buurt zijn silt loams, silty clay loams, maar lagergelegen gebieden zijn zandiger, of silt loam over sandy loam. Dat zijn 'droughty flat plains.'

We arriveren op een soort familiebedrijf, met een aantal broers. Zij verzamelen ook modellen van oude trekkers en ander landbouwvoertuigen. Ook dit is een plek met 'no till'. Dat is hier wijd verspreid. We gaan eerst naar binnen, en bekijken allerlei landbouwmachines in een grote schuur. Daarmee gaan we ook het veld in.

We rijden langs een klein wetland dat 'hydrologisch in verbinding staat met het gedraineerde boerenland, ernaast'. Ze hebben control structures van Agri Drain. Die zijn al een beetje roestig. Veel meer komen hiervan nu niet te weten. Het systeem bestaat behoorlijk hoog opgestuwd. Het systeem is geïnstalleerd in 1999-2000, en werkt nog steeds uitstekend. Hier en daar begint het systeem een beetje te lekken, maar je hoeft eigenlijk geen onderhoud te plegen. De control structures worden alleen in standaardafmetingen geleverd. Binnenin elke control structure zit een hele serie ijzeren stijlen. Zij dienen ter versteviging. Larry geeft aan dat ze echt ter versteviging zijn: als ze er niet in zouden zitten zou de structuur op termijn wegens gronddruk in elkaar gedrukt kunnen worden. De stijlen zijn aangebracht op elke 1 à 1½ foot depth.

De eerste keer dat Larry in Ohio kwam, in januari 1989, kwam hij in een vergadering met boeren terecht. In elke County heb je Soil and Water Conservation Districts. Ik hield een verhaal voor de supervisors, ongeveer 300 boeren. Ik sprak daarover Controlled Drainage. Iemand zei tegen mij 'wanneer ga je mijn percelen onder water zetten?' When are you gonna block our tile? En dat wilden we dus niet. That ruined the whole talk, even before I started. Het heeft ons vervolgens tien jaar gekost van voortdurende gesprekken, voordat mensen weer eens serieus over wilden nadenken. En nu we eindelijk gegevens hebben over oogstvermeerdering ten gevolge van Controlled Drainage, van mais en sojabonen, kunnen iets zeggen over de terugverdientijd van Controlled Drainage. Nu neemt de belangstelling voor regelbare drainage bij de boeren toe. Illinois heeft een veel groter en agressiever programma, meer boeren zijn er daar mee bezig, bouwen ervaring op, in North Carolina zijn ze er al zo ontzettend lang mee bezig, dat veel boeren de voordelen al lang onderkennen. Als Larry praatjes houdt voor groepen, praat hij nooit meer over regelbare drainage, maar over 'drainage water management': hij vertelt zijn gehoor dat ze de drainage niet controleren; we're just controlling the outlet elevation. Hij zegt: 'we do not plug the tile'. We do not shut it off. Hij moet hierover dus voortdurend op deze manier spreken. Een slecht imago ligt altijd op de loer: als iemand een slechte ervaring heeft worden breed uitgemeten en zal een boer terug gaan naar conventionele drainage. Als we met mensen werken proberen we terughoudend te zijn met onze programma's, we laten de boeren vertrouwen krijgen terwijl ze met hun systeem ervaring opdoen.

Vanmorgen was er ook een County Educator aanwezig (Harold Waters): vroeger werden deze mensen County Agents genoemd, maar dat klinkt niets positiever. Deze mensen worden betaald door de County en OSU. Dat

betekent dat OSU sterk bij de drainagepraktijk betrokken is. Er is steeds minder geld voor dit soort voorlichtingsmensen. In heel wat staten is de voorlichting gewoon beëindigd omdat er geen geld meer was. Na de lunch in Mechanicsburg zijn we naar de universiteit gegaan, waar Jan en Lodewijk voor een geïnteresseerd publiek een verhaal hebben gehouden.

17.4 10 november 2011: The University of Illinois (Champaign-Urbana, IL)

17.4.1 Discussie met Prof. Dr. Richard Cooke in de auto

Richard Cooke vertelt iets over het Cost Sharing Program. Een boer moet eerst komen met een Drainage Water Management Plan. Dan betaalt de NRCS (=Natural Resources Conservation Programme; motto: 'Helping People Help the Land') van het USDA (=United States Department of Agriculture) met de verwezenlijking van dit plan; de subsidie bedraagt ongeveer \$32/acre.

Je moet vertellen hoe groot je te draineren areaal is, hoe je het gaat inrichten en beheren etc. De universiteit heeft een invulformulier op het web staan: een Drainage Guide. Voorwaarde is wel dat er regelbare drainage wordt aangelegd. Water Table Managed. Je moet bij aanvraag in je plan melden, wanneer je de peilen gaat opzetten en wanneer je ze weer naar beneden gaat zetten. After harvest, around November 1, you would raise the outlet level to within six inches of the soil surface, and two weeks before planting you would lower the boards again. Ze zijn nog wel aan het praten over hoe ze deze verplichte handelingen moeten afdwingen/handhaven. We zijn nu op onze eerste locatie gearriveerd.

17.4.2 Bezoek bij de eerste boer bij Champaign/Urbana

Het is schitterend, zonnig weer als we 's ochtends bij deze boer aankomen. De vader van deze boer heeft deze boerderij in 1953 gekocht. De boerderij zelf 575 acres, en zijn zoon heeft ook 575 acres. Hier worden sojabonen verbouwd. Hij verbouwt ook oats (haver) en alfalfa (luzerne). We cut our nitrates in-rates in half, because of alfalfa.

In de drainage van deze boer worden verschillende buisdiameters toegepast: bovenstrooms 8 inch diameter; meer benedenstrooms 10. Hij heeft zijn drainage mogen aansluiten op veel grotere wegdrainagecollector; van harte ging dat niet, maar uiteindelijk waren ze akkoord. Er zijn twee aparte gedraineerde stukken, met twee control structures. In 1984 is deze drainage geïnstalleerd; toen was het nog conventionele, 'free drainage'. Het ging om 85,000 feet; dat kostte \$85,000. De draandiepte is 3 à 4 feet; de drainafstand is 120 à 125 feet. Maar tegenwoordig is de drainafstand meer dan gehalveerd; gemiddeld bedraagt die 57 feet. Dat wordt gedaan om de respons van het drainagesysteem te versnellen.

De Control Structures voor regelbare drainage zijn pas vijf jaar geleden geïnstalleerd, in het kader van het NRCS Cost Share Program. De boer heeft een kaartje van zijn drainage, hij legt uit hoe het allemaal is aangelegd, en daarna gaan we wat rondlopen over zijn perceel.

Richard: de installatiekosten van drainage zijn een tijdlang gezakt, maar de laatste tijd stijgt deze weer, want de vraag neemt weer toe.

Hij vertelt dat hij op een gegeven moment last had van wateroverlast. Hij wist niet waar dat door veroorzaakt werd. Hij heeft de oorzaak alleen maar door puur geluk gevonden. In beide Control Structures stond het water boven de outlet. Dus moest het probleem zitten tussen die Control Structures en de laatste stukken tile. Hij is

gaten gaan graven; hij kwam erachter dat het probleem werd veroorzaakt door een boomwortel die in een drainbuis was gegroeid. Hij heeft de boom (Mulberry tree) omgehakt.

De boer vertelt dat hij deze fout alleen kunnen vinden dankzij het feit dat hij twee Control Structures in zijn veld heeft staan; had hij die niet gehad, dan had hij de fout waarschijnlijk nooit kunnen vinden, omdat hij nergens een stijghoogtefout in zijn drainage had kunnen ontdekken.

De zoon van deze boer heeft een boerderij ten oosten van Urbana. Afgelopen voorjaar werkte de drainage op een deel van zijn boerderij niet meer. Hij is gaan zoeken naar de oorzaak, en vond een dode wasbeer (raccoon) in één van zijn collectoren: die was ongeveer 1 mijl door die collector gelopen! Richard Cooke heeft wel eens een Coyote (prairiewolf) in een Control Structure aangetroffen. Die was overleden; de boer en zijn familie hebben daar nog lekker van gegeten!

Een belangrijke constatering is nog wel dat deze boer geen filosofie heeft op grond waarvan hij de peilen actief omhoog en omlaag zet; hij denkt daar eigenlijk niet over na. Hij beschouwt de Control Structures wel als het heel belangrijk hulpmiddel om te zien hoe het met zijn drainage gaat. Elke keer als hij hier op zijn percelen bezig is, gaat hij even bij zijn Control Structures langs, om te kijken of alles nog goed werkt. Dit is ook een belangrijk argument om te kiezen voor regelbare drainage.

17.4.3 In de auto met Richard Cooke - praten over drainage

Ook hier is de kreet 'Controlled Drainage' verlaten, omdat de boeren zeer achterdochtig werden, en daar niets mee te maken willen hebben. Ze hebben de naam veranderd, en toen werd het drainagesysteem gewoon geaccepteerd ('what's in a name!').

Er is hier veel expertise op het (belangrijke) gebied van de bodemstructuur; ze hebben veel pierengangen onderzocht. Er is ook een onderzoek gedaan waarin een perceel werd vergeleken waar conventionele drainage was geïnstalleerd, met een perceel met Controlled Drainage. Het opvallende resultaat was, dat er meer pierengangen waren op het perceel met regelbare drainage dan op het perceel met conventionele drainage. Daar is een rapport over verschenen, maar niemand weet waarom dat zo is. Dit feit heeft wel geholpen om regelbare drainage gemakkelijker door boeren geaccepteerd te krijgen.

Een andere bron van achterdocht van de boeren was het feit dat zij vermoedden dat ze met regelbare drainage niet in staat zouden zijn om in het voorjaar, op het moment dat het nodig zou zijn, met hun zware machines op hun percelen terecht zouden kunnen. Maar wij hadden aangetoond dat je met regelbare drainage de grondwaterstand binnen acht dagen voldoende omlaag zou kunnen krijgen. En het Illinois Program schrijft voor, dat je in de lente pas op zijn vroegst twee weken voordat je je percelen wilt gaan bewerken, de drainagebasis mag verlagen. Niet eerder.

Wat is de reden dat de drainafstanden door de contracters gehalveerd zijn? Richard: op basis van onze informatie kunnen we niet direct zeggen dat dat nou veel voordelen heeft. Je krijgt daardoor misschien een klein beetje meer gewasopbrengst; maximaal 1 à 1½ bushel (schepel, korenmaat), maar deze investering verdient je nooit terug.

Richard is ook niet overtuigd van voordelen in de dynamische respons van drainagesystemen: hij neemt nauwelijks toe door de drainafstand te halveren, want op de slechtste gronden duurt het maximaal 9 dagen voordat een ingreep in de drainagebasis, bijvoorbeeld het verlagen ervan, doorwerkt in de gemiddelde grondwaterstand. En dat is snel genoeg. Als je dit geen afstand halveert gaat het natuurlijk een stuk sneller;

dan duurt het 4 à 5 dagen, maar dat is niet echt nodig, en voor deze snelheid moet wel heel diep in de buidel worden getast!

Richard denkt dus dat Amerikaanse (en wellicht ook Nederlandse) draineurs destijds het initiatief hebben genomen om de drainafstand te halveren omdat ze daar zelf financieel een stuk beter van worden, terwijl het achteraf allemaal wordt goedgepraat, door te praten over weersvoorspellingen en dergelijke.

Richard: er zijn zelfs draineurs geweest die drainages hebben gelegd met een drainafstand van 15 feet (5m)! En dan denk ik: dat is belachelijk. En het punt is: als wij onze simulaties doen met DRAINMOD dan voorspelt het model zoals een oogstafname als de drainafstanden te klein worden! Dat komt omdat je in de zomer water te snel uit het profiel haalt. De mais gebruikt in de zomer ongeveer 6 mm water per dag, maar de intensieve drainage haalt dat water te snel uit het profiel. Ik kan je deze resultaten laten zien als je wilt.

We keren terug naar de faculteit. Richard legt nog uit: als een boer met behulp van het invulformulier op internet subsidie heeft aangevraagd, wordt 66 à 80% van de investering in een Control structure door de NRCS vergoed, inclusief het installeren ervan. Op de drainbuizen zelf wordt geen subsidie verstrekt. En dan krijgen ze ook nog geld voor het beheren van regelbare drainage volgens het voorgeschreven protocol; dat is volgens Richard ongeveer \$14 per hectare.

De gronden waar we nu rijden zijn slecht doorlatend. Op ongeveer 6 voet diepte zit keileem (glacial till); als je deze gronden niet draineert kun je ze nauwelijks bewerken, want dan krijg je perched water tables. We zien veel surface inlets for tile drains.

Veel van de percelen rondom Champaign/Urbana zijn in handen van de universiteit; het is eigenlijk één grote experimental farm. Farming is hier ongeveer in 1850 begonnen. Nu worden er vier verschillende soorten 'energiegrassen' geteeld.

Hier zijn veel voormalige landbouwgronden, ze zijn inmiddels teruggegeven aan de natuur (developing into prairieland), maar de drainage zit er nog steeds en werkt nog. Richard: het is hier heel makkelijk: ze sluiten de drainage gewoon af door alle schotten in de Control Structures omhoog te zetten, waardoor de drainage niet meer werkt.

We hebben dit gezien en stappen weer in de auto. Na een heel kort ritje stappen we toch nog even uit, om iets te zien van reclaimed soils. We maken een aantal foto's, waarna we naar het departement van de universiteit vertrekken.

17.4.4 In het kantoor van Richard Cooke; praten over 'digital drainage support'

Richard informeert ons over de Illinois Drainage Guide op internet:
<http://www.wq.illinois.edu/DG/DrainageGuide.html>.



Daar is heel wat op te vinden: [Drainage Guidelines](#); [Outlets for Drainage Systems](#); [Surface Drainage](#); [Subsurface Drainage](#); [Conservation Drainage](#) [Grassed Waterway Design](#); [Economic Considerations](#); [History of Drainage in Illinois](#); [Printable Tables and Charts](#); [Related Information](#); [Basic Terminology](#) etc. Elke link die je aanklikt bevat heel veel nuttige informatie.

Er zitten veel interactieve programma's op; je kunt ook een aantal onderdelen van je nieuwe drainagesysteem zelf mee ontwerpen. Er is ook een database voor County Specific Simulations. Een boer vertelt het systeem waar hij woont; het systeem kijkt dan wat voor bodemtypen daar voorkomen, en je kunt je drainage simuleren met verschillende drainafstanden en diepten; DRAINMOD draait hiervoor online. Je kunt dat bijvoorbeeld ook doen voor regelbare: dynamische simulaties zijn beschikbaar. Hooghoudt en Kirkham.

Richard Cooke vindt DRAINMOD zo krachtig omdat daar zowel Hooghoudt als Kirkham in zitten. Ook zitten er Q-h-relaties in, waarmee je de afvoer vanuit de AgriDrain Control Structures kunt vaststellen; die zit erin als een Excel-file. Je kunt vervolgens ook kijken naar je oogst: wat gebeurt daarmee als je niet zou draineren? Wat is het effect van droogtestress op mais, sojabonen etc.? Je kunt resultaten krijgen in de vorm van tabellen en grafieken. Je kunt ook economische analyses doen. Je moet zelf wel zorgen voor weather data, van Illinois in dit geval. De applicaties zijn modulair opgebouwd, en erg populair. Ook het invulformulier voor subsidie door de NRCS is op de site te vinden. Richard Cooke is goed bekend met de drainageformules van Ernst en De Zeeuw-Hellinga. Ze hebben verschillende vergelijkingen in een model gestopt: 'Sysdraina'. Dit model is niet te vinden op internet. Het is ontwikkeld in Brazilië.

17.5 11 november 2011: The University of Illinois (Champaign-Urbana, IL)

We gaan op veldbezoek bij een boer: Mr. Spannagel. Hij geeft ons een artikeltje over drainage. Het drainagesysteem ligt er al 25 à 30 jaar in. De meeste buizen zijn van kunststof, maar er zijn ook nog wat kleibuizen; ze hebben die destijds netjes aan elkaar verbonden. Ongeveer tien jaar geleden hebben ze daar Control Structures aan toegevoegd; de boer heeft die destijds zelf geïnstalleerd. Hij kon toen profiteren van een subsidie.

Met het drainagesysteem hier wordt 20 acres door de put gecontroleerd, maar er ligt nog aardig wat meer drainage in en die wordt door de put niet beïnvloed. Hij gaat het systeem binnenkort dichtzetten; het gaat tijdens de winter dicht en in de lente weer open ('I'm gonna shut it down soon'). Hij heeft op dit moment de schuiven allemaal omhoog gezet, zodat het water onder de onderste schuif vrij kan afstormen ('I basically got the bottom up, so I got all the doors slid up a little bit, so the water can flow straight through').

Deze boer is zich heel goed bewust van wat hij met zijn schuiven doet; goede groeiomstandigheden van zijn gewassen is zijn topprioriteit: als het erg nat is zet hij de drainagebasis meer naar beneden, dat wil zeggen: hij trekt een groter aantal schuiven naar boven en vice versa. Hij is dus heel flexibel, en houdt altijd rekening met de weersomstandigheden. Hij heeft verder geen numerieke gegevens op grond waarvan hij beslissingen neemt; hij loopt gewoon over zijn percelen en maakt zijn inschattingen, en vervolgens besluit hij iets aan zijn drainageinstellingen te veranderen.

De boer is blij met het systeem, vooral omdat het zo simpel is: 'it's crude; no hi tech!' Het is zo simpel; je weet precies wat je aan het doen bent.

In deze omgeving zijn nog maar weinig regelbare drainagesystemen aangelegd. De boer heeft de indruk dat, sinds hij regelbare drainage heeft geïntroduceerd, zijn gewasopbrengsten iets zijn toegenomen. Hij heeft dat al een beetje gevoel voor het milieu; en hij heeft de indruk dat hij ook meer nutriënten vasthoudt met zijn drainage; hij heeft niets laten testen om dat te bewijzen, maar als het weer lente is denkt hij: 'ik heb de afgelopen winter toch maar mooi wat extra nutriënten kunnen vasthouden'.

Hij heeft ook af en toe, als het heel droog was, de drainagebasis aanzienlijk verhoogd. Een boer die hier een paar mijl vandaan woont, Jerry Watson, pompt wel eens de water uit de rivier het systeem in (subirrigation); de boer weet niet of je daar speciale toestemming voor moet hebben.

Algemene indruk aan het einde van dit bezoek. Wayne Skaggs is het intellectuele brein. Zowel Columbus als Champaign zijn volgend en doen goede toepassingsgerichte experimenten; niet spectaculair maar wel degelijk. In Illinois is van de 10 miljoen ha landbouwgrond 4 miljoen ha gedraineerd. Het zijn voormalige prairies die in de 19e eeuw zijn omgezet in landbouwgrond, en swamps die zijn ontwaterd en gedraineerd. Zwarte zeer goede gronden met grote percelen: het hart van de corn belt.

Het seminar van Lodewijk Stuyt en Jan van Bakel is bezocht door ca. 70 mensen. Vooral belangstelling voor op afstand stuurbare drainagesystemen (KAD). De Amerikaanse firma 'Agri-Drain' heeft een systeem ontwikkeld waarmee je op afstand twee drainageniveaus in kunt stellen maar dat is geen succes. Wij denken dat ons systeem beter is c.q. exportabel is. Ook de KAD vlotterput die we in 2011 in Nederland ontwikkeld hebben en die nu wordt getest achten wij superieur aan de 'Gradiënt Reducer' van 'Agri-Drain', want hij is zichtbaar, gemakkelijker te onderhouden en stabiel. Medewerkers van John Deere vroegen al of er op KAD-drainagesystemen octrooien zitten.

17.6 Kennis, opgedaan in Noord-Amerikaanse projecten

In de Verenigde Staten (Midwest) en Canada wordt al decennialang onderzoek gedaan naar effecten van regelbare drainage op waterkwaliteit en -kwantiteit. In deze paragraaf worden de belangrijkste onderzoeksresultaten die zijn beschreven in een serie - inmiddels wat oudere - publicaties op een rij gezet, en wordt vastgesteld in hoeverre de bevindingen relevant zijn voor de in Nederland voorkomende situaties. Tijdens het werkbezoek van Lodewijk Stuyt en Jan van Bakel heeft Prof. Skaggs voor onderstaande publicaties aandacht gevraagd.

EFFECT OF DRAINAGE INTENSITY ON NITROGEN LOSSES FROM DRAINED LANDS

R. W. Skaggs, M. A. Youssef, G. M. Chescheir, J. W. Gilliam

Transactions of the ASAE Vol. 48(6): 2169-2177 _ 2005 American Society of Agricultural Engineers ISSN 0001-2351 2169

Dit is een uitgebreide MODFLOW-studie, waarin ze de drainageintensiteit DI, gekoppeld aan effecten van de drainage, relateren aan de uitspoeling van N. het is een soort opschaling uit drie proefvelden met behulp van MODFLOW.

ABSTRACT

- The purpose of this article is to examine the effects of drainage system design on NO₃-N losses to surface waters. Published results of NO₃-N loss will be plotted as a function of drainage intensity, and simulation analyses will be used to relate drainage intensity to factors and processes impacting NO₃-N loss from drained lands.
- Effects of drainage design parameters (and hence DI) on N loss depends very much on mineralization and denitrification, which are, in turn, dependent on complex processes involving N storage in the organic form and turnover in the soil profile. These processes are affected by water table depth and the soil water regime, as well as the availability of organic carbon. The new DRAINMOD-NII (Youssef, 2003; Youssef et al., 2005) considers these processes in much more detail and can be used to examine the effect of drainage

design on net mineralization and denitrification. This is the next logical step and will be done in a future study.

- Field data from Indiana and North Carolina.
- Nitrogen loss is dependent on the amount and route of drainage water leaving the field. The magnitude of $\text{NO}_3\text{-N}$ loss in drainage waters is strongly dependent on DI. In addition to DI, drain depth appears to have a significant impact on $\text{NO}_3\text{-N}$ losses.
- Drainage intensity (DI) is the steady-state drainage rate when the water table at a point midway between the drains is coincident with the surface. Drainage intensity may be defined as the drainage rate that occurs when the water table is at the soil surface; it increases with drain depth and decreases with drain spacing.
- Simulations were conducted to examine effects of drain depth, spacing, and soil properties on processes that affect $\text{NO}_3\text{-N}$ loss from drained soils.
- Uitspoeling verminderen door wetlands en bufferstroken te creëren:
- Improved subsurface drainage generally decreases losses of P, sediment, and other constituents, including some pesticides (Skaggs et al., 1994; Bengtson et al., 1988; Bottcher et al., 1981).
- Er zijn tegenstrijdige (model) resultaten; L en diepte hebben in meerdere studies geen effect op uitspoeling van N.
- The soils were similar, but the effective hydraulic conductivities of the sites were 7.0 cm/h for the 33 m site and 34, 4.3, and 1.7 cm/h for the three sites with 100 m drain spacings. While the drain spacings for the three latter sites were the same, the drainage rates and annual $\text{NO}_3\text{-N}$ losses were very different (fig. 1).
- Drain diameter, drain envelopes, and the size and configuration of openings in the drain tube walls may affect head losses near the drain and thus drainage rates (Dierickx, 1999; Stuyt and Willardson, 1999).
- Drainage rates may also be affected by the hydraulic capacity of the drainage network to remove water from the field (commonly called the drainage coefficient). For example, if drainage water is removed from a field by a pump with a capacity of 10mm/day, drainage rates are limited to 10mm/day, regardless of the drain depth and spacing in the field.
- Finally, drainage rates may be purposely reduced by “managing” the drainage outlet to conserve water and reduce N loads in the drainage effluent. This controlled drainage practice (Gilliam et al., 1979, 1999; Evans and Skaggs, 1989; Skaggs, 1999b) involves the use of weirs or “stop-log” structures to raise the water level in the drainage outlet, thereby reducing drainage rates.
- Skaggs gebruikt Hooghoudt om de drainage intensity uit te rekenen: One alternative is to use the Hooghoudt equation (van der Ploeg et al., 1999) to define drainage intensity as the steady-state drainage rate that would occur when the water table midway between drains is at some reference depth, or elevation, above the drains (fig. 2). We will express drainage intensity (DI) as the steady-state drainage rate (cm/day) that would result if the water table midway between the drains was at the surface.
- The above equation would require modification if controlled drainage is used to essentially reduce the effective depth of the drains. Als de effectieve draandiepte wegens controlled drainage wordt verkleind (ondiepere drainagebasis), dan leidt dit tot lagere uitspoeling van $\text{NO}_3\text{-N}$.

FACTORS AFFECTING NITROGEN LOSS FROM DRAINED LANDS

Boodschap: er zijn zoveel factoren die invloed hebben op uitspoeling van N, dat het moeilijk is om de uitspoeling alleen te associëren met het drainageontwerp.

- Denitrification is a biochemical process that reduces $\text{NO}_3\text{-N}$, which is mobile and readily lost in drainage water, to nitrogen gas.
- Nitrogen loss from drained lands is dependent on several factors and processes. Some of those processes are greatly affected by drainage design and management, and others less so.
- Nitrogen loss is clearly dependent on fertilization rates and crop rotation; these effects can be measured regardless of drainage design.

- Drainage design may have a big impact on crop yield. Higher yields result in more N being removed in the harvest, leaving less available for loss to surface waters.
- Drainage design impacts the amount of drainage water and the proportion of it that leaves the field as surface runoff and subsurface drainage. These processes can have an impact on N loss.
- Drainage design affects water table depths and soil water contents and their variability over the year. These conditions are important, as they affect the processes of mineralization of N from organic matter, and denitrification.
- We will discuss *the effect of drainage design* on: yield, subsurface drainage, surface runoff and water table depth.
- We will also examine the relationship between these variables and DI to determine if this simple concept can be used to normalize responses among soils and design parameters.
- Conclusie uit DRAINMOD-simulaties: for three soils from the North Carolina coastal plain, DRAINMOD simulations were conducted for a range of drain spacings and depths for a 50-year period (1951-2000) of climatological record from Plymouth, North Carolina.
- The effect of yield on NO₃-N losses could be largely explained by the use of the DI concept. (Is niet verwonderlijk, maar goed om dit vast te stellen).
- The effect of drain depth and DI on predicted annual subsurface drainage and surface RO is shown in figure 10 for the Portsmouth soil. Based on these results, we would not expect NO₃-N losses to be the same from fields having the same DI but different drain depths.
- While the differences in the outflow-DI relationships for different drain depths are not as great as obtained when drain spacing (*L*) was used as the dependent variable (not shown), they are still substantial.
- In general, predicted annual subsurface *drainage increased* and *RO decreased* with increases in DI and drain depth. Other factors being equal, we would expect *the magnitude of NO₃-N loss* to follow the same trend.

EFFECTS OF SURFACE DRAINAGE

Other factors being equal, NO₃-N losses could be reduced by improving surface drainage.

EFFECT OF DRAINAGE INTENSITY ON WATER TABLE DEPTH

- The water table is defined as the position where soil water pressure is atmospheric; in drained soils, it is generally assumed to be the top of the saturated zone.
- Water table depth and soil water contents in the zone above the water table affect processes that are important to the fate of N in the soil profile.
- The rate of conversion of organic N to NO₃-N generally increases with water table depth and is maximum for deep, well drained profiles.
- Shallow water table conditions decrease mineralization so that there is less NH₄ available for oxidation to NO₃, and therefore less NO₃-N available for leaching via subsurface drainage to surface waters.
- Another important process affected by water table depth is denitrification. A reduced zone developed about 1 m or less below the water table of drained eastern North Carolina soils. Water passing through this reduced zone was denitrified such that NO₃-N concentrations within or below the zone were negligible.
- ↑Controlled drainage can be used to raise the water table, increase thickness of the reduced zone, decrease drainage rates, and substantially reduce losses of NO₃-N to surface waters.
- ↓Drainage designs that lower the water table depth would tend to reduce denitrification and increase mineralization, both of which would increase losses of NO₃-N with drainage waters.
Dus: minder denitrificatie bij diepe grondwaterstanden.
- In some respects, use of shallow drains is similar to controlled drainage in that the thickness of the saturated zone is increased, providing the potential for increased denitrification.
- There is insufficient field data to experimentally verify the predicted effect of drain depth on N loss. Therefore, the predicted impact of shallow drains on NO₃-N loss should be considered as a hypothesis until field studies can be conducted to test the concept.

EFFECT OF CONTROLLED DRAINAGE ON WATER AND NITROGEN BALANCES IN DRAINED LANDS

R. W. Skaggs, M. A. Youssef, J. W. Gilliam, R. O. Evans

Transactions of the ASABE

Vol. 53(6): 1843-1850 _ 2010 American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 2151-0032 1843

- Research has shown that drainage volumes and nitrogen losses via drainage water can be substantially reduced by a practice called controlled drainage (CD). This practice, which is also referred to by the more general term drainage water management (DWM), involves the use of a weir or an overflow device to raise the water level in the drainage outlet.
- CD reduces the hydraulic gradient to the drain, subsurface drainage rates, and annual subsurface drainage volumes. Since drainage requirements for crop production vary with season, CD can be used to reduce drainage rates during periods when intensive drainage is not necessary, such as the winter months.
- CD was accepted as a best management practice (BMP) in North Carolina for reducing N and phosphorus (P) loads to surface waters and has been cost shared for many years by both state and federal programs to support its implementation. It is now being promoted and applied in the U.S. Midwest for water conservation and the reduction of N losses to the environment.
- In all cases studied, CD reduced drainage volumes, as compared to conventional or uncontrolled drainage. The amount of reduction has varied from 17% to over 90%. In some cases, the reduction of N losses to surface and ground water is nearly equal on a percentage basis to the reduction in drainage volume. In other cases, it is clear that the route of N loss has been changed, but the magnitude of reduction is uncertain.
- DWM may also include subirrigation, where water is pumped into the drainage outlet to hold the water table high and supply irrigation water during dry periods.
- Results published in the literature show that CD has reduced drainage volumes and N losses in drainage waters by 17% to over 80%, depending on soil properties, crops, drainage intensities, control strategies, and location.
- CD reduces N losses in drainage water by about the same percentage as its effect on subsurface drainage volume in most cases.
- The effect of CD on N loss to surface waters depends on denitrification, both in the profile and in reduced zones along seepage paths.
- For soils that do not develop reduced zones, the effect of CD on N loss may be substantially less than its effect on drainage volume. Reductie van bodemwater is dus nodig voor denitrificatie.
- In the U.S., the Agricultural Drainage Management Systems (ADMS) Task Force (www.ag.ohio-state.edu/~usdasdru/ADMS/ADMSindex.htm) was organized in 2002 with the objective of developing and implementing methods to reduce nutrient losses to surface waters from drained lands. The Task Force consists of drainage professionals from the USDA Agricultural Research Service, the USDA Natural Resources Conservation Service, the U.S. Environmental Protection Agency, as well as university researchers, extension specialists, environmental and agricultural experts from state and local agencies, and representatives from the drainage industry. The initial focus of the Task Force is to reduce N losses from drained lands to the Mississippi River and Gulf of Mexico.
- A number of experimental studies on the effects of a combination of subirrigation and controlled drainage have been reported in the literature. Those studies typically involved the use of controlled drainage during the winter months, conventional drainage during planting and harvest periods, and subirrigation during the growing season. While this degree of drainage water management may produce increased yields and reduce N losses, it requires a water supply and considerably more investment than the simpler use of CD for water conservation and reduction of N losses in drainage outflows.

EFFECT OF CONTROLLED DRAINAGE ON NITROGEN LOSSES

- CD did not have a significant effect on the nitrate concentration in drainage water in the large majority of field studies conducted.
- In all other studies referenced (table 1), drainage water nitrate concentrations under CD were not significantly different from those under conventional drainage. As a result, the effectiveness of CD in reducing N losses in drainage water was nearly the same, on a percentage basis, as its effect in reducing drain flows (table 1).
- What happens to the nitrogen that would have been lost in drainage water in the absence of CD? The effectiveness of CD in reducing N losses to surface and ground waters depends on both its effect on hydrology and on nitrogen dynamics in the soil profile. Field studies have shown that CD reduces drain flows and increases seepage. In cases where the bottom of the profile is reduced or the seepage water passes through reduced zones, CD is a very effective practice for reducing N losses to the environment. For moderately well drained soils, CD may be equally or more effective in reducing drain flows, but it may have limited effectiveness in reducing N losses. BELANGRIJKE CONCLUSIES 2!
- A review of these studies shows that CD, practiced during both the growing season and fallow months, reduced observed drainage outflows by 17% to over 80%, depending on soil properties, drainage system intensity, strategy of drainage control, and location.
- N losses in drainage water were reduced by about the same percentage as subsurface drainage volume in most cases. DRAINMOD simulations and field observations showed that, in general, CD reduces subsurface drainage rates and raises water tables, while increasing ET, seepage, and surface runoff. The magnitude of the impact of CD on each of these hydrologic components depends on subsurface drainage intensity, soil properties, site parameters, weather variables, and control strategy.

CONCLUSIONS

- CD conserves water, reduces subsurface drainage, and increases ET and surface runoff. Its effect on annual ET depends on weather, soil properties, site conditions and crop, but will be less than 10% for most cases. _ Beyond the influence of increasing ET, the impact of CD on drainage outflow volume (subsurface drainage plus surface runoff) will be proportional to its effect on seepage.
- CD increases seepage, both lateral and vertical. In the limit, seepage rates will approach the natural rate of drainage that occurred prior to installation of the fieldscale drainage network. CD on fields with slow natural drainage rates (tight soils and/or long distances to seepage outlets) will have a much smaller effect on drainage outflows (subsurface drainage plus surface runoff) than on fields with greater potential for seepage. CD on these fields will decrease subsurface drainage while increasing surface runoff.
- CD reduces subsurface drainage volumes by three mechanisms: increasing ET, increasing seepage, and increasing surface runoff.
- Experiments to determine the effect of CD on drainage volumes and N losses should be conducted on field or watershed scale, so that seepage related impacts are properly represented.
- The effect of CD on N losses depends on its effect on both subsurface drainage rates and the processes of denitrification and net mineralization in the profile and along the seepage paths exiting the field. CD usually increases denitrification in the profile. For North Carolina soils classified as poorly or very poorly drained, CD increased the thickness of reduced zones at the bottom of the profile (below a depth of ~1.2 m). Both lateral and vertical seepage passing through this zone was denitrified.
- For soils that do not have reduced zones, such as the North Carolina soil classified as moderately well drained, the effect of CD on N loss may be substantially less than its effect on subsurface drainage volume.

CONTROLLED VERSUS CONVENTIONAL DRAINAGE EFFECTS ON WATER QUALITY

By Robert O. Evans¹, Member, ASCE, R. Wayne Skaggs², and J. Wendell Gilliam³

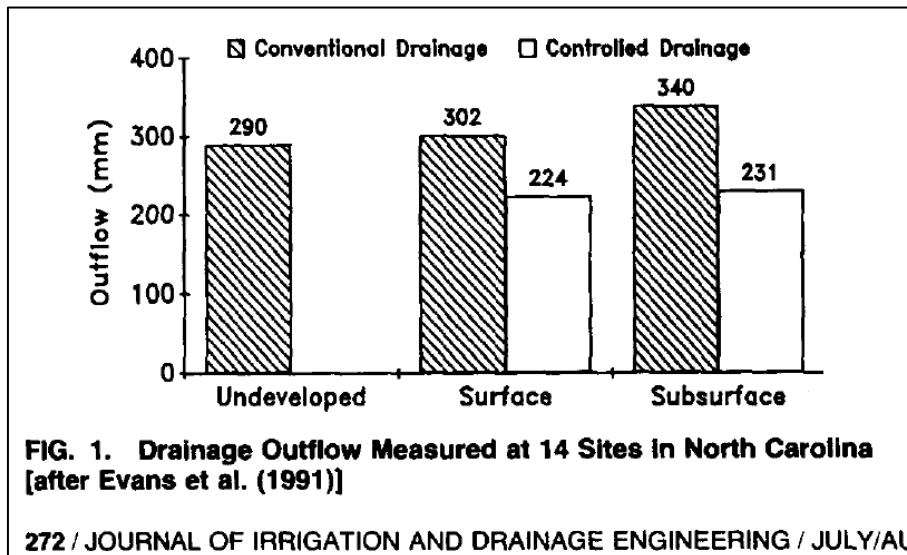
JOURNAL OF IRRIGATION AND DRAINAGE ENGINEERING / JULY/AUGUST 1995/271

Controlled drainage has been recognized in some states as a best management practice to reduce the transport and delivery of nitrogen and phosphorus to sensitive surface waters.

Nitrogen and phosphorus reductions of 30% to 50% resulting from controlled drainage are reported in several studies.

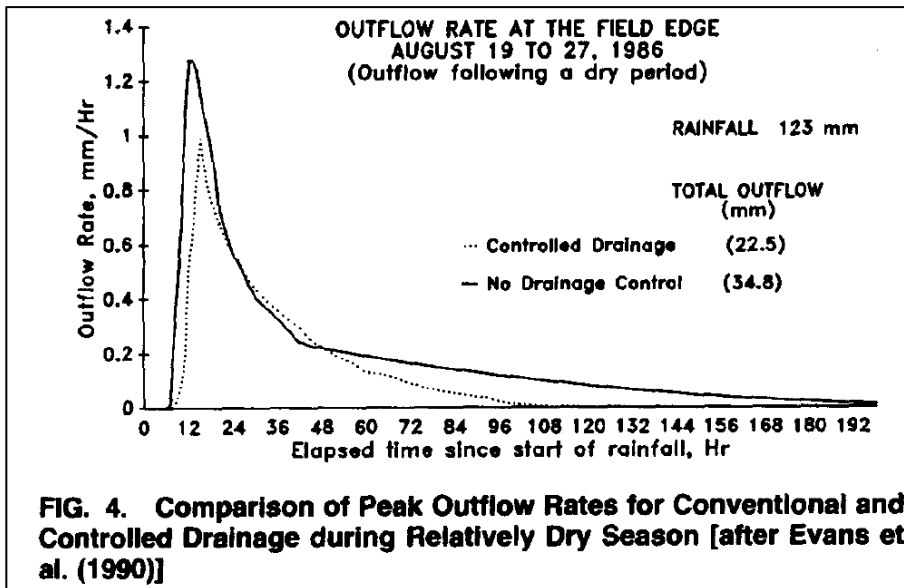
Evans et al. (1991) summarized drainage water-quality studies representing approximately 125 site years of drainage and controlled drainage water-quality data collected at fourteen locations in North Carolina.

Controlled drainage—a technique in which a structure such as a flash board riser is used to manage the water level in the drainage outlet—may reduce total outflow by approximately 30% when managed all year compared with uncontrolled (conventional) systems (figure 1).

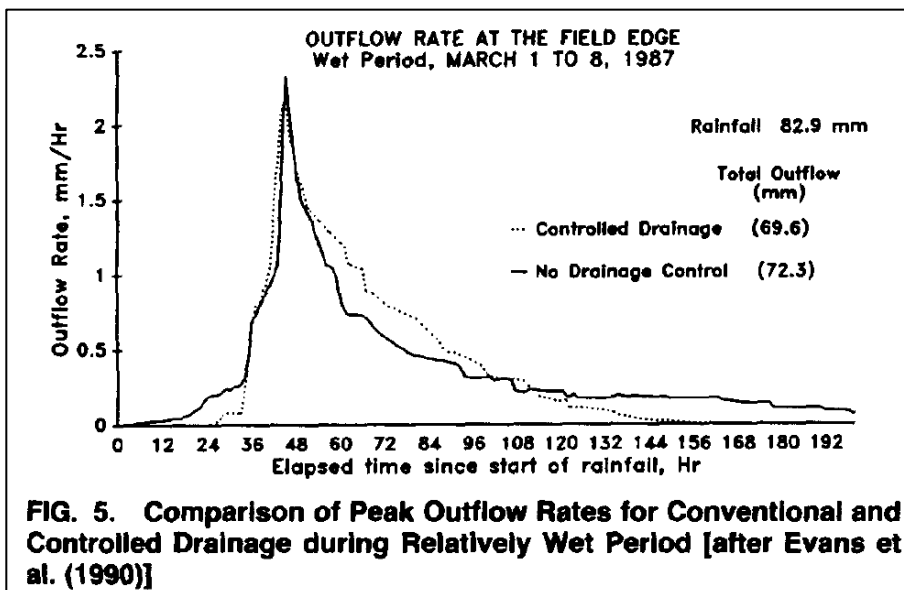


However, outflows vary widely depending on soil type, rainfall, type of drainage system, and management intensity. During very dry years, controlled drainage may totally eliminate outflow, although this seldom occurs. In wet years, control may have little or no effect on total outflow. Drainage control during only the growing season typically lowers outflow by less than 15%. Thus, much of the outflow reduction occurred during the winter and early spring, a nongrowing period.

The effect of controlled drainage on peak outflow rates varies seasonally. During a dry period or season such as that shown in figure 4, drainage control typically reduces peak outflow rates, sometimes totally eliminating outflow for some storm events.



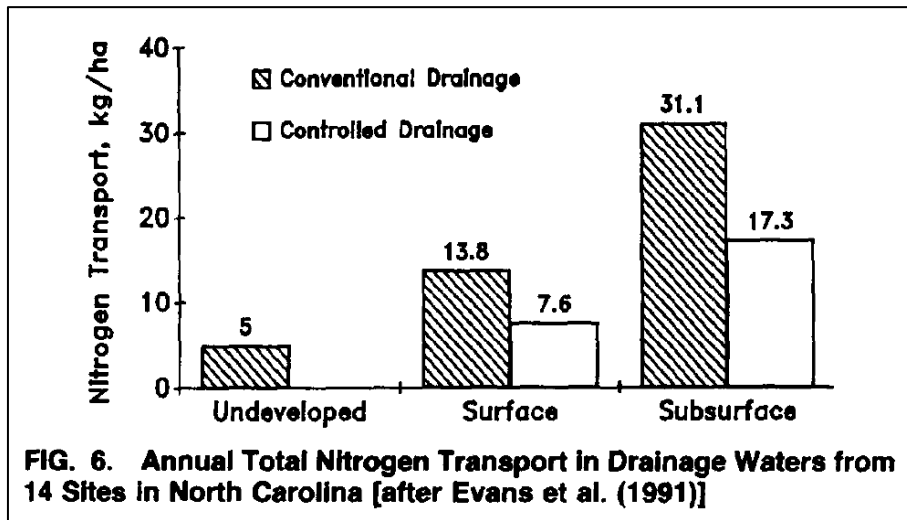
During wetter periods such as that shown in figure 5, drainage control may have little effect or in some cases may even increase peak outflows.



Subsurface drainage typically contains very little sediment, but contains high concentrations of soluble constituents such as nitrate. Results summarized from studies in North Carolina (Evans et al. 1991), figure 6 showed a threefold and sixfold increase in total nitrogen transport at the field edge in surface and subsurface drainage, respectively, compared with natural conditions.

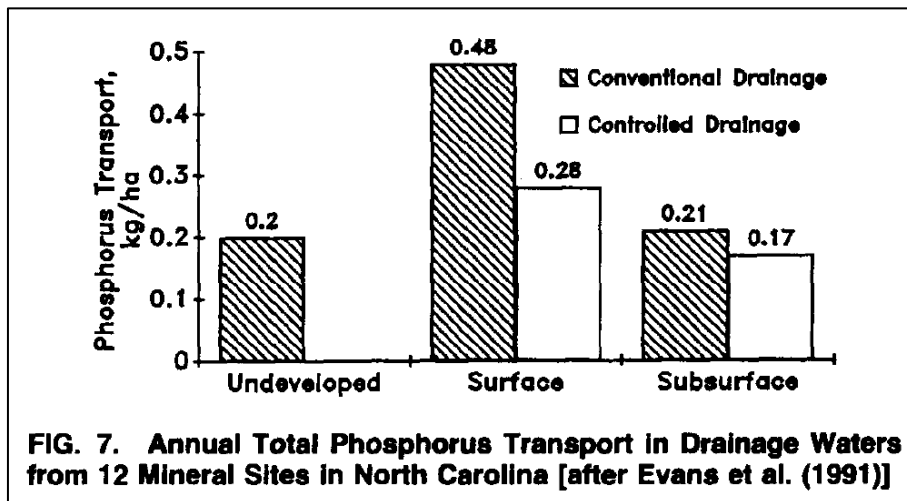
Drainage control reduced the annual transport of total nitrogen (NO₃-N and TKN) in drainage water leaving the field edge by about 45% in studies in North Carolina (figure 6).

In studies conducted in North Carolina, controlled drainage reduced nitrogen transport in drainage waters by about 10 kg/ha/yr on an average (refer to figure 6).



Subsurface drainage had little effect on phosphorus transport when compared with undeveloped sites, but decreased P transport by 40% to 50% when compared with surface drainage (figure 7).

Drainage control reduced phosphorus transport in surface runoff by about 40%, figure 7, but had little effect on transport in subsurface flow. Phosphorus transport was relatively low $\ll 0.5\text{ kg/ha/yr}$ for all four drainage strategies—surface, subsurface, controlled, and uncontrolled.



The increase in nitrogen and phosphorus transport in drainage outflow is primarily due to the addition of fertilizer, which results from the change in land use following drainage, instead of from the mere installation of drainage.

Controlled drainage has shown little net effect on total nitrogen and phosphorus concentrations in drainage outflow. In some cases, nitrate-nitrogen concentrations have been 10% to 20% lower in outflow from controlled systems compared with conventional drainage management. Nitrate reduction has been attributed to higher rates of denitrification thought to be associated with higher water-table levels.

Controlled drainage has shown significant reductions in nitrogen and phosphorus transport at the field edge. Total nitrogen concentrations in outlet ditches have been about the same regardless of control strategy. Thus, the mass reduction in nitrogen and phosphorus in drainage water leaving the field edge was primarily because of the reduction in outflow volume.

POTENTIAL IMPACT OF CONTROLLED DRAINAGE ON SURFACE WATER QUALITY

Controlled drainage can be easily implemented in poorly drained areas where conventional drainage improvements have been made in the past. Soils that can support water-table management systems are usually relatively flat, rarely occupying landscape positions with more than a 1% slope (Evans and Skaggs., 1989; Evans et al., 1992; Shirmohammadi et al., 1992).

Of the approximately 28,000,000 ha of drained cropland in humid regions of the United States, approx 30%, 8,500,000 ha, are estimated to have potential for the adoption and application of controlled drainage practices (table 1).

TABLE 1. Status of Conventional and Controlled Drainage in Humid Region States with More Than 1% of Total Land Area Drained

State ^a (1)	Total cropland ^{b,d} (ha) (2)	Drained cropland ^{c,d} (ha) (3)	Cropland with potential for controlled drainage ^e (ha) (4)	Cropland with controlled drainage installed ^e (ha) (5)
Illinois	10,011,000	3,569,000	400,000	2,000
Indiana	5,579,000	2,782,000	600,000	1,200
Iowa	10,705,000	2,834,000	400,000	8,000
Ohio	5,039,000	2,397,000	1,100,000	100
Arkansas	3,280,000	2,151,000	160,000	400
Louisiana	2,595,000	1,562,000	500,000	400
Minnesota	9,321,000	1,934,000	610,000	400
Florida	1,440,000	1,146,000	1,000,000	610,000
Mississippi	3,002,000	1,440,000	1,000,000	60,000
Texas	13,490,000	1,283,000	225,000	0
Michigan	3,823,000	1,563,000	80,000	12,000
North Carolina	2,710,000	984,000	500,000	100,000
Missouri	6,072,000	1,202,000	850,000	0
North Dakota	10,947,000	910,000	10,000	2,000
Wisconsin	4,638,000	409,000	325,000	800
South Carolina	1,449,000	426,000	175,000	1,200
Georgia	2,659,000	219,000	80,000	200
Maryland	726,000	367,000	200,000	600
Tennessee	2,264,000	256,000	120,000	00
New York	2,394,000	333,000	40,000	100
Delaware	210,000	130,000	100,000	800
Total	102,356,000	27,868,000	8,475,000	800,200

Although the implementation of controlled drainage is on the increase nationally, the total acres installed so far represents less than 10%, 800,000 ha, of the potential acreage that may be suitable for controlled drainage. Extrapolating this result to the total cropland area currently using controlled drainage (table 1), an estimated 8,000,000 kg of N are no longer getting into surface waters because of drainage. With the full implementation of controlled drainage to areas that are physically suited to the practice, nitrogen loading to surface water could potentially be reduced by nearly 100,000,000 kg annually.

SUMMARY AND CONCLUSIONS

Research has shown that controlled drainage can reduce N and P transport in drainage water by 30% to 50% when compared with no control under conventional drainage practices. As more acreage of land comes under the influence of controlled drainage, impaired surface water, where the cause of degradation is primarily agricultural drainage, should begin to experience water-quality improvement.

Even with the installation of controlled drainage, considerable N transport from agricultural cropland is possible compared with that from undeveloped sites. Further reductions in N transport are believed possible by carefully managing fertilization rates and timing to match crop uptake.

Good understanding of the impact of drainage control on pesticide transport is severely lacking.

To further minimize the off-site impact of agricultural production will require a better understanding of the mechanisms of fate and transport of nutrients and pesticides and their interaction with drainage and other water-management alternatives such as controlled drainage.

Effect of Water Table Management on Water Quality and Crop Yield at the Plot and Farm Scale Fields

C.S. Tan, C.F. Drury, J.D. Gaynor, W.D. Reynolds, T.W. Welacky and T. Q. Zhang
Agriculture & Agri-Food Canada, GPCRC, Harrow, Ont. Canada, N0R 1G0

**Written for presentation at the
2004 ASAE Annual International Meeting**

**Sponsored by ASAE
Fairmount Chateau Laurier
The Westin, government Centre
Ottawa, Ontario, Canada
1-4 August 2004**

Abstract. There is mounting evidence that water management systems which combine controlled drainage and subsurface irrigation (subirrigation) can mitigate growing-season water deficits and reduce nitrate leaching losses in tile drainage water. This may in turn improve both crop yields and environmental quality. A 4-ha farm scale field on a sandy loam soil and a 0.4-ha plot scale field on a clay loam soil in southwestern Ontario were instrumented with two water management systems: controlled tile drainage with subirrigation (CDS), and traditional "free outlet" tile drainage (DR). The objectives of the study were to compare the CDS and DR systems with respect to tile drainage volume, nitrate concentration in tile drainage water, total nitrate loss in tile drainage water, and yield of tomato, corn and soybean.

From May, 1995, to April, 1997, the farm-scale CDS system in the sandy loam soil reduced flow weighted mean nitrate concentration in tile drainage water by 38 % and total nitrate loss in tile drainage water by 37 %, relative to the DR system. Total tile drainage volume was similar for both systems. In 1995, marketable tomato yield on this soil was increased by 11 % under CDS relative to DR (64.9 t ha⁻¹ for CDS, 58.4 t ha⁻¹ for DR), while in 1996 corn yield under CDS was increased by 64 % relative to DR (11.0 t ha⁻¹ for CDS, 6.7 t ha⁻¹ for DR).

Between May, 1995, and April, 1997, the plot-scale CDS system in the clay loam soil reduced total tile drainage volume by 50 %, flow weighted mean nitrate concentration in tile drainage water by 32 %, and total nitrate loss in tile drainage water by 66 %, relative to DR. In 1995, soybean yield under CDS on the clay loam was increased by 17 % relative to DR (4.2 t ha⁻¹ for CDS, 3.6 t ha⁻¹ for DR), and in 1996 corn yield was increased by 9 % relative to DR (8.6 t ha⁻¹ for CDS, 7.9 t ha⁻¹ for DR).

Modeling Impacts of Tile Drain Spacing and Depth on Nitrate-Nitrogen Losses

V. Nangia, P. H. Gowda, D. J. Mulla,* and G. R. Sands

Subsurface tile drainage is a major contributor of $\text{NO}_3\text{-N}$ from cropland in the Upper Midwest to the hypoxic zone in the Gulf of Mexico. Strategies to reduce $\text{NO}_3\text{-N}$ loadings to the Gulf of Mexico require better understanding of the effects of tile spacing and depth on subsurface tile drainage and $\text{NO}_3\text{-N}$ losses from subsurface tile drained fields. This study evaluated the sensitivity of $\text{NO}_3\text{-N}$ losses to changes in the spacing and depth of subsurface tile drainage systems. For this purpose, the Agricultural Drainage and Pesticide Transport (ADAPT) model was calibrated and validated using monthly subsurface tile drainage and $\text{NO}_3\text{-N}$ losses measured in tile drains during 1999 to 2003 from two commercial fields (west and east) in south-central Minnesota. For the calibration period, there was good agreement between observed and predicted subsurface tile drainage and $\text{NO}_3\text{-N}$ losses, with Nash–Sutcliffe modelling efficiencies of 0.75 and 0.56, respectively.

Better agreements were observed for the validation periods. The calibrated model was used to evaluate the effects of tile drain spacing and depth with a 50-yr record (1954–2003) of daily precipitation. Simulation results indicated that reductions in $\text{NO}_3\text{-N}$ losses are possible by decreasing the depth or increasing the spacing of tile drains. For instance, for a tile drain spacing of 40 m, reducing the drain depth from 1.5 to 0.9 m reduced $\text{NO}_3\text{-N}$ losses by 31% (but reduced crop yield by 60%), while for a tile drain depth of 1.5 m, increasing the tile drain spacing from 27 to 40 m reduced $\text{NO}_3\text{-N}$ losses by 50% (while reducing crop yield by 7%). Increased tile drain spacing or decreased tile drain depth could be a potential remedy for excess $\text{NO}_3\text{-N}$ loadings entering the Gulf of Mexico.

This study evaluated the sensitivity of $\text{NO}_3\text{-N}$ losses to changes in the spacing and depth of subsurface tile drainage systems. For this purpose, the Agricultural Drainage and Pesticide Transport (ADAPT) model was calibrated and validated using monthly subsurface tile drainage and $\text{NO}_3\text{-N}$ losses measured in tile drains during 1999 to 2003 from two commercial fields (west and east) in south-central Minnesota. For the calibration period, there was good agreement between observed and predicted subsurface tile drainage and $\text{NO}_3\text{-N}$ losses, with Nash–Sutcliffe modeling efficiencies of 0.75 and 0.56, respectively. Better agreements were observed for the validation periods.

The calibrated model was used to evaluate the effects of tile drain spacing and depth with a 50-yr record (1954–2003) of daily precipitation. Simulation results indicated that reductions in $\text{NO}_3\text{-N}$ losses are possible by decreasing the depth or increasing the spacing of tile drains. For instance, for a tile drain spacing of 40 m, reducing the drain depth from 1.5 to 0.9 m reduced $\text{NO}_3\text{-N}$ losses by 31% (but reduced crop yield by 60%), while for a tile drain depth of 1.5 m, increasing the tile drain spacing from 27 to 40 m reduced $\text{NO}_3\text{-N}$ losses by 50% (while reducing crop yield by 7%). Increased tile drain spacing or decreased tile drain depth could be a potential remedy for excess $\text{NO}_3\text{-N}$ loadings entering the Gulf of Mexico.

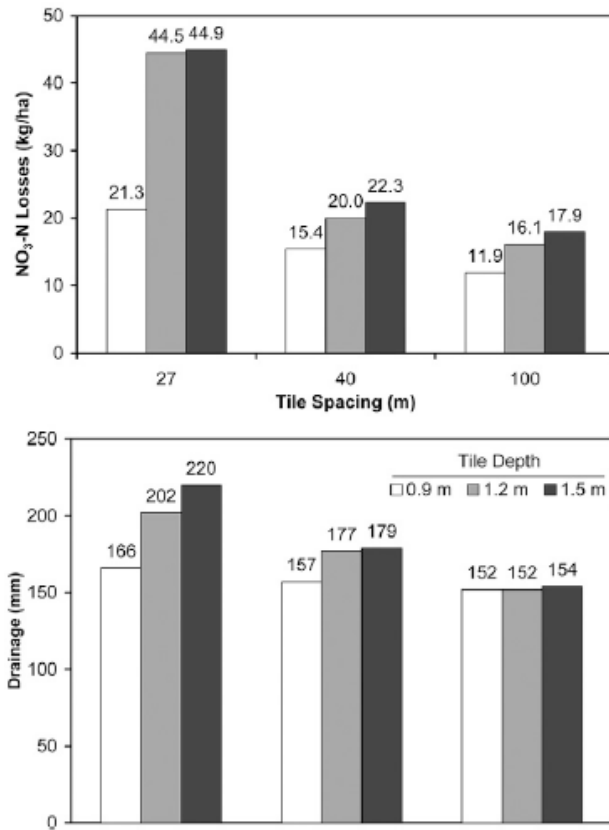


FIG. 6. Comparisons of predicted long-term (50-yr) annual (a) sub-surface tile drainage and (b) NO₃-N losses in response to changes in tile drain spacing and depth.

Bijlage 1 Verslag Eindsymposium regelbare drainage op 11 oktober 2012 in Wageningen

Auteur(s):	A.J. De Buck en J.R. van der Schoot (Wageningen UR-PPO)
Jaar van publicatie:	2012
Titel publicatie:	Verslag Eindsymposium regelbare drainage op 11 oktober 2012 in Wageningen
Gepubliceerd als/in:	n.v.t.

Introductie

Samengestelde regelbare drainage (voorheen samengestelde peilgestuurde drainage) staat de laatste jaren steeds meer in de belangstelling. Wageningen UR (Alterra en PPO) heeft in een vierjarig project de effecten van dit systeem onderzocht op het vasthouden van water en op de emissie van nutriënten. Op 11 oktober is het project afgesloten met een eindsymposium op de campus van Wageningen UR.



Het project is gefinancierd door de STOWA (opening door Michelle Talsma, foto links) in opdracht van I&M. Medefinanciers in dit project waren de waterschappen Brabantse Delta en Peel en Maasvallei, de provincie Zeeland, de Europese Unie, Interactief Waterbeheer en de Rabobank.

De dag was met name bedoeld voor bestuurders en beleidsmedewerkers van de waterschappen, de provincies, de ministeries van EL&I en I&M en de belangenorganisaties voor landbouw en natuur. Van de ca. 115 deelnemers waren er ca. 15% vanuit landelijke en provinciale overheden, ca. 25% van waterschappen en waren landbouw en natuur met respectievelijk 9 en 3% vertegenwoordigd. Daarnaast ca. 25% bedrijfsleven en advies en ca. 15% onderzoekers.

De dagvoorzitter Job van den Berg (Royal Haskoning/DHV, foto rechts) gaf aan dat een belangrijk doel van deze dag was de deelnemers mee te geven hoe het systeem werkt en wat de voor- en nadelen zijn. De deelnemers werd nadrukkelijk gevraagd mee te doen aan de discussie door zelf statements af te geven of vragen te stellen die later in de forumdiscussie terug zouden komen. Aanvullende informatie was op posters gepresenteerd, welke in de pauzes konden worden bekeken.



Presentatie vanuit het onderzoek



Lodewijk Stuyt (Alterra, foto links) gaf een samenvatting van de technische resultaten van diverse veldexperimenten met Regelbare drainage en ervaringen uit het buitenland. Uitgelegd is hoe het systeem werkt, wat de mogelijkheden en onmogelijkheden zijn en tevens zijn de voor- en nadelen van systeem benoemd. In het later op de middag gepresenteerde rapport 'Meer water met regelbare drainage' met als

ondertitel 'werking, praktijkervaringen, kansen en risico's' is de beschikbare informatie uitgewerkt en overzichtelijk weergegeven.

Regelbare drainage kan een duurzamere vorm van drainage zijn dan conventionele drainage. Het kan de realisatie van beleidsdoelen bevorderen en gunstig zijn voor de bedrijfsvoering van agrariërs. De aanleg komt preciezer in vergelijking met conventionele drainage en het systeem moet goed worden beheerd om het gewenste effect te bereiken. 80 tot 90% van de hooggelegen zandgronden zijn ongedraineerd. Hier zal regelbare drainage eerder verdrogend werken. Omdat Regelbare drainage alleen effectief is op percelen waar geen sprake is van wegzijging van grondwater, wordt gewerkt aan drainagegeschiktheidskaarten. De kosten van aanleg zijn hoger en er moeten dus baten voor de agrariër of milieu tegenover staan. Voor waterschappen is een belangrijke vraag hoe de beleidsdoelen te vertalen naar technische eisen voor aanleg en gebruik. Kennisontwikkeling voor agrariërs, als gebruikers van de systemen, is belangrijk omdat het instellen van de drainagepeilen afhankelijk is van de omstandigheden.

Bij de uitgevoerde praktijkproeven bleek het nog lastiger te zijn dan vooraf ingeschat de waargenomen effecten te verklaren.

Pitches van forumleden

De uitgenodigde forumleden gaven vervolgens vanuit hun perspectief hun visie op Regelbare drainage.



Siem-Jan Schenk (voorzitter LTO-noord, foto links) merkt op dat het denken over water in de landbouw is veranderd; goed water is een belangrijk en kostbaar productiemiddel, daar moet je zuinig mee omgaan. Regelbare drainage geeft de boer een regelmogelijkheid om het watermanagement beter te doen en dat is gunstig voor alle partijen.

Stefan Kuks (Watergraaf WS Regge en Dinkel, Unie van Waterschappen) is van mening dat water vasthouden met regelbare drainage bijdraagt aan de zelfvoorzienendheid (het benutten van het neerslagoverschot) van een gebied, zonder dat de landbouw daar in natte perioden last van heeft. De boer doet met Regelbare drainage de fijnregeling in een watersysteem en is daarmee minder afhankelijk van de waterschappen. Er is, kortom, geen overtuigend bewijs om

samengestelde regelbare drainage niet toe te passen. De positieve effecten van regelbare drainage moeten met name als buffer voor natuurgebieden nog wel worden bewezen.

Jan Busstra (Ministerie van Infrastructuur en Milieu) ziet qua hydrologie en mineralenuitspoeling voordelen voor verschillende beleidsdossiers (bv. KRW, Natura 2000, Groen Blauwe diensten onder het Gemeenschappelijk Landbouw Beleid) en wil inzetten op het ontwikkelen van regionale cases, waarbinnen regelbare drainage een mogelijke maatregel is. In discussies over het eventueel verplaatsen van bedrijven en natuurvraagstukken is een flexibel peilbeheer een instrument een betere vochthuishouding te realiseren.

Arjan van der Zee (Staatsbosbeheer, foto rechts) schetst dat er risico's voor natuurgebieden zijn aan stimuleren van regelbare drainage als generieke maatregel. Regelbare drainage kan immers zo worden ingesteld dat juist meer water wordt afgevoerd. Ook wordt de in het voorjaar opgebouwde voorraad vaak weggevoerd, waarna er na de grondbewerkingen en zaaien weer water nodig is. Regelbare drainage is maatwerk en kan in combinatie met bijvoorbeeld het dempen van sloten of het verhogen van slooppeilen goed uitpakken. Het moet wel door de agrariër



worden gebruikt zoals bedoeld en controle op handhaving van de gewenste peilen is nodig. Op lokaal niveau kunnen natuur/waterschap en agrariër samen kiezen voor regelbare drainage als een goede oplossing.

Marijn Dekkers (Rabobank, foto links) voorziet in de toekomst een intensievere landbouw met hogere opbrengsten. Een maatregel als Regelbare drainage kan bij goed gebruik op het gebied van beregenen en drainage een bouwsteen zijn tot verdere verduurzaming van de landbouw.

Conclusies

Ondanks de tegengestelde belangen waren de forumleden het eens dat Regelbare drainage onder bepaalde voorwaarden een goede maatregel kan zijn met een brede toepassing in de praktijk. Regelbare drainage moet altijd maatwerk zijn en mag geen generieke maatregel worden. Het kan na zorgvuldig overleg met agrariërs en terreinbeheerders worden toegevoegd als mogelijke maatregel in het peilbesluit. Daarbij hoort duidelijk een goede monitoring en handhaving en kan weersafhankelijke op afstand bestuurde drainage (KAD: klimaat adaptieve drainage) bijdragen aan een fijnere regeling van het peil.

Vragen en discussie

Vanuit de zaal werd o.a. gevraagd naar de effecten op de opbrengst van gewassen, wat inlaten van water betekent voor de kwaliteit van de drainage en of het maai beleid bij hogere peilen moet worden aangepast. Vanuit de zaal werd genoemd dat regelbare drainage goed is in te zetten in lagere stukken, KAD een betere oplossing is en het lastig is de hele water- en stoffenbalans te monitoren.

Uit de forumdiscussie kwamen de volgende punten naar voren bij het toepassen van Regelbare drainage:

1. Bekijk op kleine schaal of de belangen van natuur en landbouw hetzelfde zijn of tegengesteld.
2. Let bij het maken van vergelijkingen goed op de nul-situatie; gedraineerd of niet gedraineerd.
3. Geef de agrariër een eigen verantwoordelijkheid, maar wel in overleg met de waterbeheerder.
4. Stel de vraag of het beoogde effect in de praktijk kan worden bereikt; kan het peil wel worden gestuurd en is bijvoorbeeld wateraanvoer noodzakelijk.
5. Just do it, maar wel met een goede monitoring.

Tenslotte werd uit de zaal opgemerkt dat op het slotsymposium een genuanceerd beeld is neergezet van wat we wel en wat we niet mogen verwachten van regelbare drainage. Jan van Bakel waarschuwde voor te hooggespannen verwachtingen van het effect van regelbare drainage. Het kan hooguit een aanvulling zijn in een pakket van maatregelen om water te conserveren of nutriëntenuitspoeling te verminderen.



Dit symposium was zeker niet de afsluiting van het onderwerp regelbare drainage. De beide ministeries (EL&I en I&M) gaven aan dat dit onderzoek een goede start was om gebiedsgerichte initiatieven te ondersteunen met als mogelijk in te zetten maatregel regelbare drainage. Ze willen dit verder financieren zonder een subsidieverslaving te gaan creëren. Beide ministers overhandigden de initiatiefnemer van regelbare drainage, de heer Ad van Iersel, het eerste exemplaar van het rapport 'Meer water met regelbare drainage'.



Bijlage 2 Aanleg proeflocatie Ospel (mei 2008)

Auteur: L.C.P.M. Stuyt

Op 22 februari 2008 wordt de proeflocatie bezocht door medewerkers van opdrachtnemer Wageningen UR en opdrachtgever Waterschap Peel en Maasvallei. De perceelssloot waarin de drains uiteindelijk zullen uitmonden, is zojuist gegraven. De bodem bestaat uit dekzand met in de ondergrond lössleem: uiterst fijnzandig materiaal met een leemgehalte van 50 - 70%. De bovenste deel van het nieuwe slootprofiel is op de meeste plaatsen door de bewerking versmeerd; dicht bij de waterspiegel is op vele plaatsen sprake van afkalving; zie Figuur 178.



Figuur 178

De zojuist gegraven perceelssloot wordt geïnspecteerd door Jacques Peerboom (Waterschap Peel en Maasvallei), Jan van Bakel (Wageningen UR) en Wim van Dijk (Wageningen UR).

Op 13 mei 2008 zijn 44 drains geïnstalleerd met een drainafstand van 6 m en op twee verschillende diepten, namelijk 0,8 en 1,3 m beneden maaiveld. De drains werden geïnstalleerd in 22 denkbeeldige, langwerpige blokken, met in elk blok één diepe en één ondiepe drain. Op het perceel wisselen diepe en ondiepe gelegde

drains elkaar af. Bij het maken van het ontwerp van het drainagesysteem is rekening gehouden met het feit dat dit systeem in het najaar van 2009 omgebouwd zou moeten worden tot drie verschillende blokken. Ombouwen van een bestaande drainage systeem is altijd bezwaarlijk, omdat er in de grond gespit en geroerd gaat worden, waardoor de bodemstructuur achteruit kan gaan en de waterdoorlatendheid afneemt. Bovendien kan de oorspronkelijk correcte ligging van draineerbuizen in negatieve zin worden beïnvloed, waardoor de drainerende werking van het systeem aanzienlijk slechter kan worden. Om de ingreep in het najaar van 2009 zo klein mogelijk te doen zijn alle drains door zogenoemde T-stukken aangesloten op twee 125 mm collectorbuizen. In het veld zijn vier parallel gelegen collectorbuizen geïnstalleerd; twee daarvan zijn diep gelegen, en twee ondiep. De ontwerpafstand tussen beide collectorbuizen is steeds 1,5 meter en ze lopen parallel aan de collectorsloot. Elke collectorbuis eindigt in een verticale put, gelegen aan de kant van de Venloseweg. Met vier collectorbuizen er zijn ook vier van dit soort putten geïnstalleerd. Deze putten zijn vooralsnog afvoerloos; zij zullen pas worden gebruikt nadat de drainages in het najaar van 2009 zijn omgebouwd.

Elk van de 44 draineerbuizen is dus via een T-stuk aan de bovenkant verbonden met twee collectorbuizen, maar omdat deze collectorbuizen nog geen water kunnen afvoeren, hebben alle drains een conventionele uitmonding gekregen in de collectorsloot. Hierbij is er voor gezorgd dat alle uitmondingen op hetzelfde niveau in het talud van de collectorsloot uitmonden: dit is het niveau van de ondiepe drains, en dat betekent dan ook dat de diepe drains op enige afstand van de collectorsloot een gedeelte hebben met een sterk negatieve gradiënt. Dit is voor de werking van zo'n drain geen bezwaar, omdat zeker de diepgelegen drains onder drainerende omstandigheden vrijwel geheel onder de grondwaterspiegel zullen liggen.

Samengevat betekent dit ontwerp dat elke draineerbuis fysiek verbonden is met twee collectorbuizen, daar via een T-stuk overheen loopt, voordat de drain ontwatert in de collectorsloot. Deze configuratie heeft als nadeel dat het drainagewater van elke drainbuis zich in beginsel kan verspreiden via beide collectorbuizen, in plaats van dat het water wordt afgevoerd via de uitmonden in de collectorsloot. Omgekeerd betekent dit dat de herkomst van drainagewater dat wordt opgevangen bij de drie uitmonding in de collectorsloot onzeker is. Het zou kunnen zijn, dat relatief veel drainagewater bovenstrooms wordt aangevoerd via een handjevol drainbuizen, en dat dit water zich min of meer uniform verspreidt via één of beide collectorbuizen, en dan vervolgens via meerdere uitmonden er in de collectorsloot terecht komt. Dit nadeel, namelijk, dat we minder goed kunnen vaststellen in hoeverre we te maken hebben met een homogeen drainageproefveld, hebben we moeten accepteren omdat hiertegenover staat dat het ombouwen van de drainage met deze configuratie het minst schadelijk is.

Verslag van het aanbrengen van de drainage op het proefveld van Frank Loijen te Ospel op dinsdag 13 mei en woensdag 14 mei 2008⁵⁷.

1. Goede weersomstandigheden, zon en wind. Perceel is droog. Grondwaterstand beneden de onderste hoofddrain.
2. Dinsdagochtend om 7.00 uur aanwezig, drainagebedrijf Rutten (H. Rutten) heeft de laser aangepast, machine en drains zijn aanwezig. De uitgangspunten en hoogten van het ontwerp worden met Rutten doorgenomen.
3. Lodewijk Stuyt, Jan van Bakel en Gert Jan Nooij van Alterra aanwezig.
4. Plaatsen van twee putten op insteek Sluppenven; van hieruit aanbrengen twee diepe hoofddrains 125 mm 'blind'.

⁵⁷ Verslag opgesteld door H. Houben, Waterschap Peel & Maasvallei, aangevuld met informatie van L.C.P.M. Stuyt

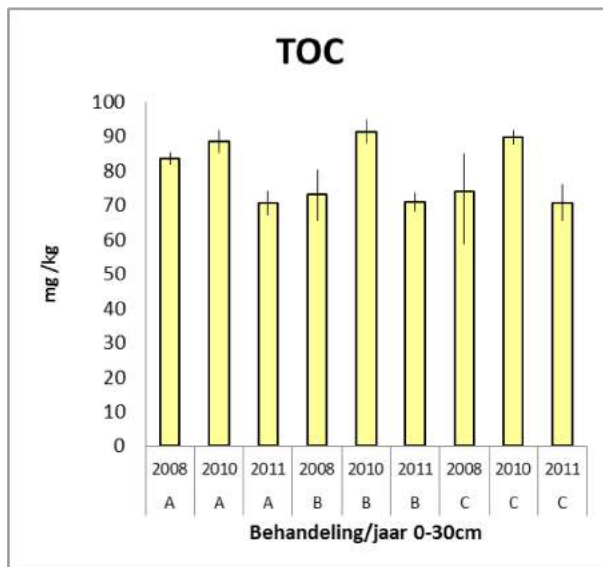
5. Problemen bij het aanbrengen drains, enkele klikmoffen (om de 50 m lengte van rol) schieten los in de ploeg drainagemachine. Dit wordt hersteld door het opgraven van de drain en handmatig te koppelen. Dit is bij drie moffen gebeurd.
6. Ter controle één locatie laten opgraven of mof goed zat, zat goed.
7. Oorzaak: mof bleef haken in de geleidebuis en/of bij uiteinde ploegstuk. Navraag: problemen met een 125 mm buis waren nog niet eerder opgetreden; normaal zijn de 125 mm buizen geperforeerd met een doek erom, en dit doek zorgde voor de geleiding van de mof door de buis.
8. Nadat de beide hoofddrains waren aangebracht, het aanbrengen van de diepe drainage 60 mm gewikkeld⁵⁸. De aanzet naar de sloot werd met een kraantje gegraven, hierbij zit er een 'trapje' van 35 cm naar de sloot toe.
9. Bij het aanbrengen van dit trapje viel mij op dat dit 25 cm was! De draineur blijkt geen rekening hebben gehouden met de tussenmaat van beide drains 60 mm. Overleg gevoerd met Lodewijk Stuyt en Jan van Bakel, zij waren van mening dat de 35 cm nodig waren. De draineur maakte er geen punt van en trok twee stuks nieuwe hoofddrain!
10. De afstanden van de beide 'onder' hoofddrains zijn resp. 4,5 m en 5,3 m uit het hart van de kavelsloot.
11. Over deze hoofddrains het aanbrengen van de onderdrains 60 mm. waarvan de eerste 8 m blind zijn en de rest geperforeerd (gewikkeld), de blinde drain middels T-stuk op bovenzijde koppelen van 1^e hoofddrain. Middels een handboor 60 mm. een gat boten in de schedel van de hoofddrain.
12. Rond 19u waren de 22 stuks onderdrains aangebracht. De drains lopen door zo ver de drainagemachine kon doorrijden over de kavelsloot aan de westzijde van het proefperceel. Dit is was ter hoogte van de tuin circa 8 m en bij het bouwland circa 4,5 m.
13. Woensdag 14 mei verder gegaan met het dichten van de putjes t.b.v. de T-aansluitingen.
14. Daarna het aanbrengen van de 2 putten voor de boven-hoofddrains en de beide boven-hoofddrains op een afstand van resp. 6,8 m en 7,9 m uit het hart van de kavelsloot.
15. Aanbrengen van 22 60 mm bovendrains, gewikkeld.
16. De eerste drain vanaf de putten is een bovendrain.
17. Circa 16.00u gereed. Verder het afwerken van de uitmondingen van de onderdrains op de kavelsloot.
18. De uitmondingen van de onder- en bovendrains liggen op een gelijke hoogte in de kavelsloot. Het vastleggen in NAP hoogte volgt nog.
19. Op wens van grondeigenaar Frank Looijen het gehele perceel laten lostrekken en verkrummen, in lengte richting van het perceel omdat hij per 15 mei drijfmest gaat aanbrengen en niet over een 'golfbaan' wenst te rijden!
20. Ook met hem doorgenomen of de losgetrokken V-vorm van de drainage verdicht diende te worden, gezien de komende teelt van waspeen! Uit ervaring van de draineur blijkt dat je max. 30 diep kunt verdichten. Als bij de bewerking 25 cm geploegd zal worden, is deze bewerking zinloos. Frank Looijen was het hier mee eens.

⁵⁸ 'gewikkeld' wil zeggen: voorzien van drainagefilter, in dit geval Polypropyleen met O₉₀-waarde 450 µm ('PP-450'), fabrikaat Horman

Bijlage 3 Analyse grondmonsters Ospel 2008-2001

Auteur: L.C.P.M. Stuyt

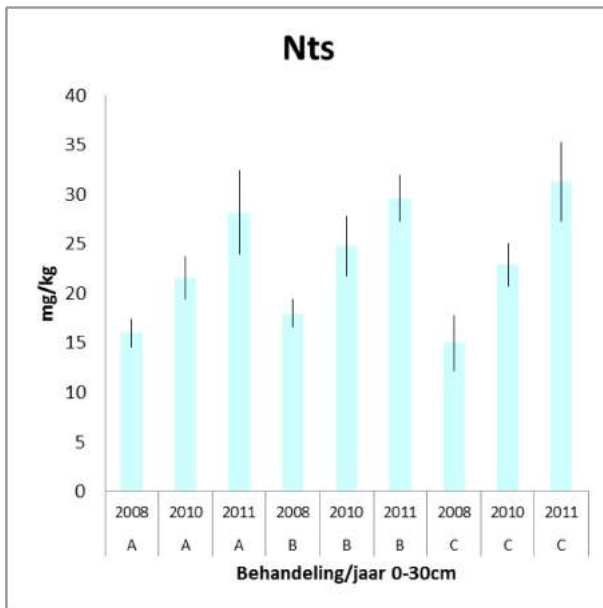
Van elk van de gemeten gehalten in de bodem zijn grafieken gemaakt die weergeven hoe de waarden gedurende het onderzoek zijn veranderd. Allereerst zijn de gehalten in de bodem tot 30 cm -mv weergegeven. Het gehalte TOC (=gehalte organisch C in de bodemoplossing) in de laag tot 30 cm (bouwvoor of bovengrond) is in Figuur 179 aangegeven. Er zijn geen duidelijke verschillen tussen de behandelingen.



Figuur 179

TOC-gehalten (=gehalte organisch C in de bodemoplossing) in de bodem tot 30 cm -mv op drie meetmomenten (2008, 2010 en 2011) en per behandeling (A=conventionele drainage, B=Samengesteld, Regelbaar, Diep, C=Samengesteld, Regelbaar, Ondiep). De streepjes geven de spreiding weer.

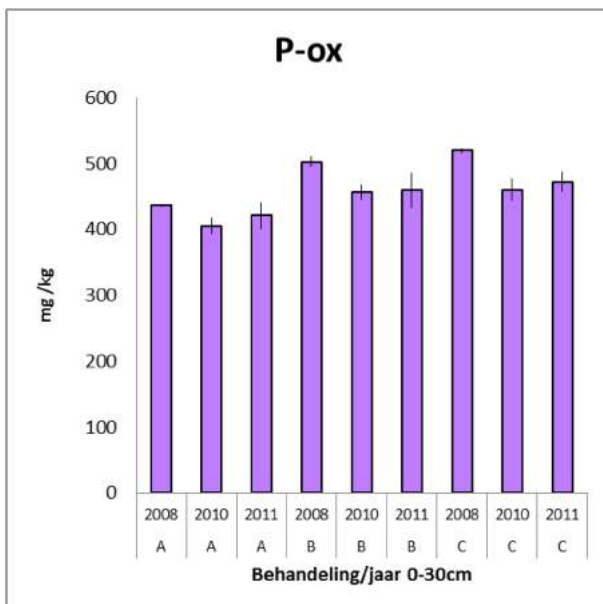
Het totaal N-gehalte in de laag tot 30 cm (bouwvoor of bovengrond) is in Figuur 180 weergegeven.



Figuur 180

Totaal N-gehalte (Nts) in de bodem tot 30 cm -mv op drie meetmomenten (2008, 2010 en 2011) en per behandeling (A=conventionele drainage, B=Samengesteld, Regelbaar, Diep, C=Samengesteld, Regelbaar, Ondiep). De streepjes geven de spreiding weer.

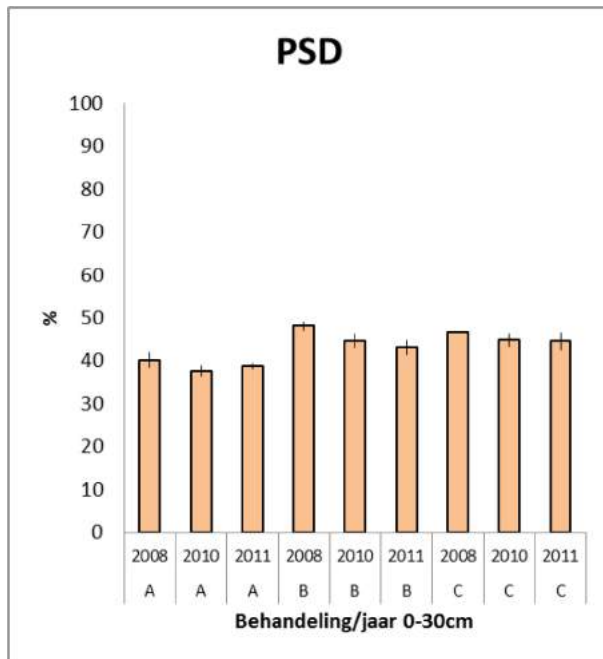
Het gehalte P dat via oxalaat extractie wordt gemeten is in Figuur 181 in grafiek weergegeven. Vooral de bovengrond bevat veel P-ox. P-ox zit voor een groot deel gebonden aan organische stof en Fe en Al-hydroxiden.



Figuur 181

P-oxalaat -gehalte (P-ox) in de bodem tot 30 cm -mv op drie meetmomenten (2008, 2010 en 2011) en per behandeling (A=conventionele drainage, B=Samengesteld, Regelbaar, Diep, C=Samengesteld, Regelbaar, Ondiep). De streepjes geven de spreiding weer.

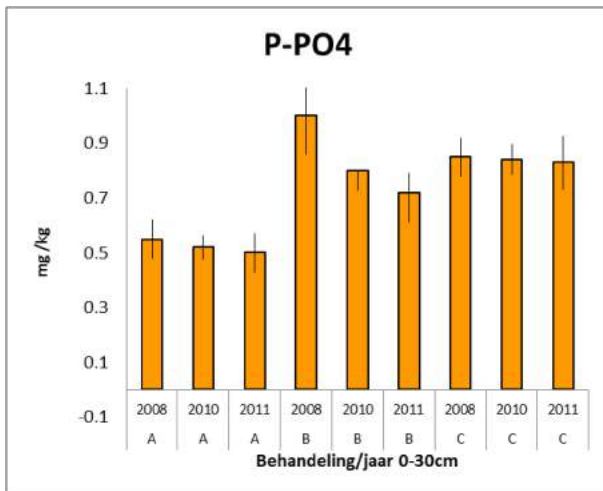
Op basis van de gemeten P-, Fe- en Al-oxalaat gehalten hebben we de fosfaatverzadigingsgraad (PSD) per laag bepaald. In Figuur 182 staat de PSD weergegeven in %. De spreiding in PSD bij behandeling S in 2008 is bijzonder klein. Dit wordt veroorzaakt doordat er slechts twee waarnemingen zijn die toevallig zeer dicht bij elkaar liggen. De PSD is nauwelijks veranderd. De daling van de PSD in **Samengesteld, Regelbaar, Diep (B)** is significant verschillend met de behandeling met **Conventionele drainage (A)**. De PSD van **Conventionele drainage (A)** stijgt nog. Dit is een samengesteld effect van een grotere stijging van de P-ox waarde en een daling van het Al-ox gehalte. De stijging van de P-ox en de daling van de Al-ox waarde alleen waren niet significant, maar het gezamenlijk effect is dat wel.



Figuur 182

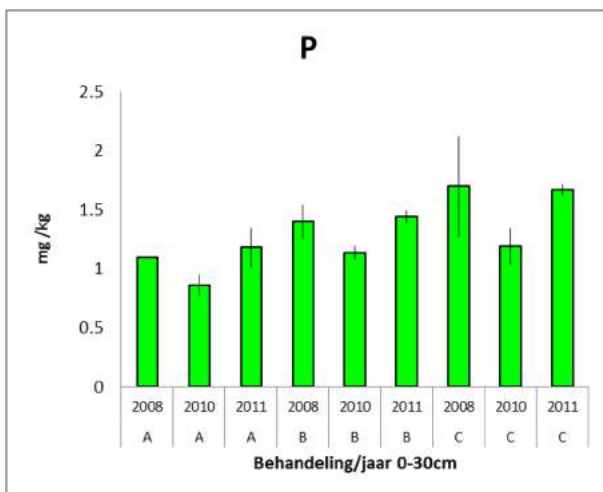
Fosfaatverzadigingsgraad (PSD) in de bodem tot 30 cm -mv op drie meetmomenten (2008, 2010 en 2011) en per behandeling (A=conventionele drainage, B=Samengesteld, Regelbaar, Diep, C=Samengesteld, Regelbaar, Ondiep). De streepjes geven de spreiding weer.

Het gemakkelijk beschikbare P-PO₄, dat in de bodemoplossing voorkomt, is in Figuur 183 weergegeven. Het totale met CaCl₂ extraheerbaar P-gehalte in de bodem (Figuur 184) is een fractie hoger dan P-PO₄. Het verschil bestaat uit andere P-verbindingen.



Figuur 183

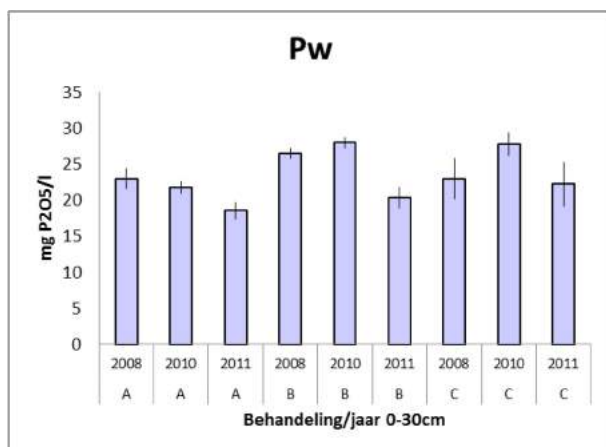
P-PO4 gehalte (CaCl_2 - extractie) in de bodem tot 30 cm -mv op drie meetmomenten (2008, 2010 en 2011) en per behandeling (A=conventionele drainage, B=Samengesteld, Regelbaar, Diep, C=Samengesteld, Regelbaar, Ondiep). De streepjes geven de spreiding weer.



Figuur 184

P-gehalte (CaCl_2 - extractie) in de bodem tot 30 cm -mv op drie meetmomenten (2008, 2010 en 2011) en per behandeling (A=conventionele drainage, B=Samengesteld, Regelbaar, Diep, C=Samengesteld, Regelbaar, Ondiep). De streepjes geven de spreiding weer.

Het P_w getal is alleen van de bovengrond bepaald. In Figuur 185 is te zien dat het P_w -getal gedurende de meetperiode bij alle behandelingen in 2011 wat lager is. Het P_w -getal is vergeleken met 2010 bij Samengesteld, Regelbaar, Diep (B) significant meer gedaald dan bij Conventionele drainage (A).

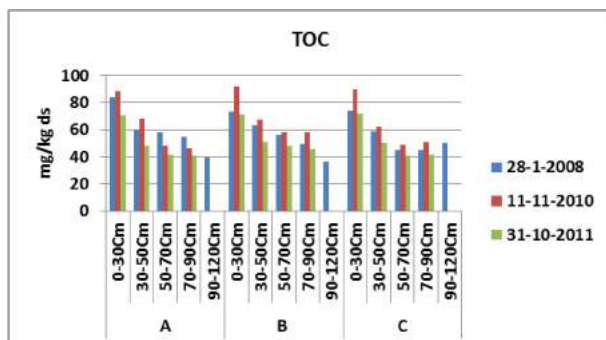


Figuur 185

Pw-gehalte in de bodem tot 30 cm -mv op drie meetmomenten (2008, 2010 en 2011) en per behandeling (A=conventionele drainage, B=Samengesteld, Regelbaar, Diep, C=Samengesteld, Regelbaar, Ondiep). De streepjes geven de spreiding weer.

Grafieken grondbemonstering 2008-2011 (0-120cm)

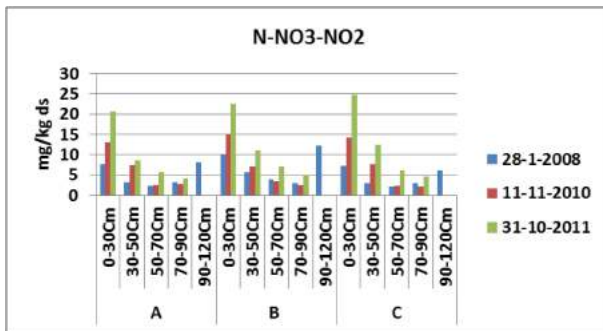
Het TOC (gehalte organisch C in de bodemoplossing) is aangegeven in Figuur 186. Er zijn geen significante verschillen tussen de behandelingen. Het hoogste TOC-gehalte werd in 2010 gemeten. Door verschillen in toelevering van gewasresten kan het TOC-gehalte tussen de jaren schommelen.



Figuur 186

C-gehalten in de bodem tot max. 120 cm -mv per jaar en per behandeling (A=conventionele drainage, B=Samengesteld, Regelbaar, Diep, C=Samengesteld, Regelbaar, Ondiep).

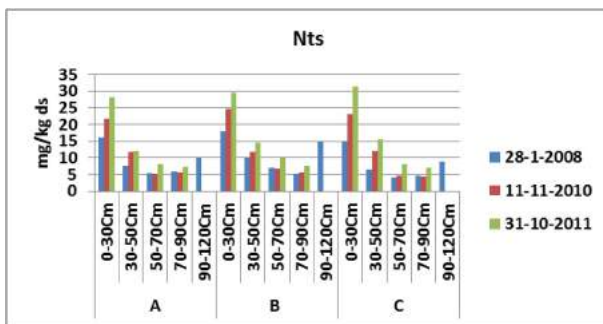
Het N-NO₃-NO₂-gehalte is in Figuur 187 aangegeven. Er zijn geen significante verschillen tussen de behandelingen.



Figuur 187

N-NO₃-NO₂gehalten in de bodem tot max. 120 cm -mv per jaar en per behandeling (A=conventionele drainage, B=Samengesteld, Regelbaar, Diep, C=Samengesteld, Regelbaar, Ondiep).

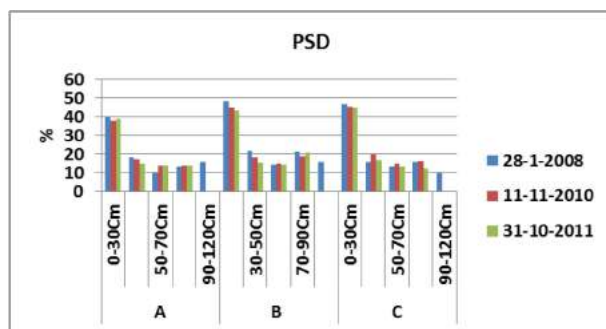
Het totale N(Nts)-gehalte is in Figuur 188 aangegeven. Er zijn geen significante verschillen tussen de behandelingen. Er is wel een stijgende trend zichtbaar tussen de jaren. Het verschil wordt vooral veroorzaakt door het N-NO₃-NO₂-gehalte, zoals we in figuur 12 al zagen. Dit is echter een hele mobiele fractie, die toevallig door een hogere N-rest aan het eind van het groeiseizoen in combinatie met lagere nitraatuitspoeling door een lager neerslagoverschot in 2011 wat hoger kan zijn. In 2008 was het uitspoelingseizoen ook al langer aan de gang, waardoor het N-NO₃-NO₂-gehalte waarschijnlijk lager was.



Figuur 188

Het totale N (Nts) -gehalte in de bodem tot max. 120 cm -mv per jaar en per behandeling (A=conventionele drainage, B=Samengesteld, Regelbaar, Diep, C=Samengesteld, Regelbaar, Ondiep).

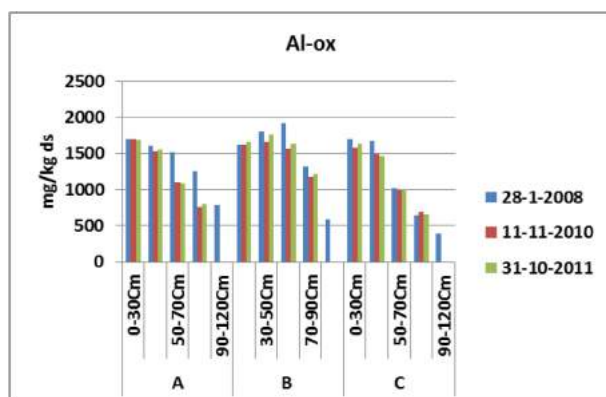
De fosfaatverzadigingsgraad (PSD) is in Figuur 189 aangegeven. De fosfaatverzadigingsgraad van de behandeling **C: Samengesteld Regelbaar Ondiep** is significant meer gedaald dan die van **Conventionele drainage (A)**. Tussen het blok met **Conventionele drainage (A)** en **Samengesteld, Regelbaar, Diep (B)** waren hier geen significante verschillen. Dit is een ander resultaat dan voor de bovenste 30 cm (paragraaf 1.1.5). Blijkbaar is de daling van de fosfaatverzadigingsgraad bij de behandeling met samenstelde drainage voornamelijk op grotere diepte aan de hand. Evenzo wordt een significant verschil van de PSD tot 30 cm tussen **Conventionele drainage (A)** en **Samengesteld, Regelbaar, Diep (B)** teniet gedaan door omgekeerde effecten op grotere diepte. Er lijkt een dalende trend zichtbaar in de grafiek. De niet statistisch vergelijkbare waarden van 2008 waren vooral in de laag 0-30cm het hoogst.



Figuur 189

De fosfaatverzadigingsgraad (PSD) in de bodem tot max. 120 cm -mv per jaar en per behandeling A=conventionele drainage, B=Samengesteld, Regelbaar, Diep, C=Samengesteld, Regelbaar, Ondiep).

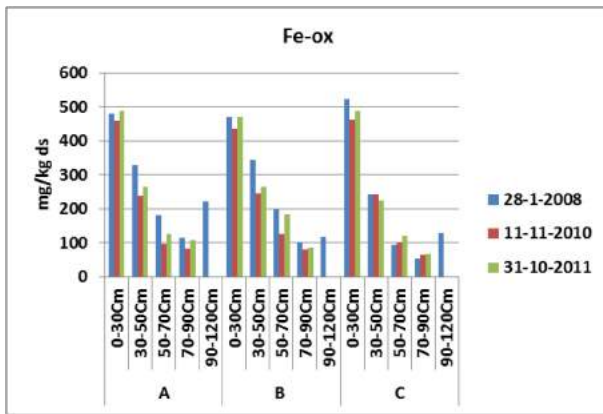
Het Al-ox -gehalte is in Figuur 190 aangegeven. Het Al-ox gehalte in Samengesteld, Regelbaar, Diep (B) is op alle diepten licht toegenomen. Dat is vrij opmerkelijk, daar er geen verwachte aanreiking van Al is. Het Al-ox gehalte van Samengesteld, Regelbaar, Diep (B) is bijna significant meer toegenomen dan dat van C: Samengesteld Regelbaar Ondiep (die daalde licht). Vergelijken we de waarden in de grafiek met de niet statistisch vergelijkbare waarden van 2008 dan blijkt het Al-ox gehalte helemaal niet te stijgen.



Figuur 190

Het Al-ox gehalte in de bodem tot max. 120 cm -mv per jaar en per behandeling (A=conventionele drainage, B=Samengesteld, Regelbaar, Diep, C=Samengesteld, Regelbaar, Ondiep).

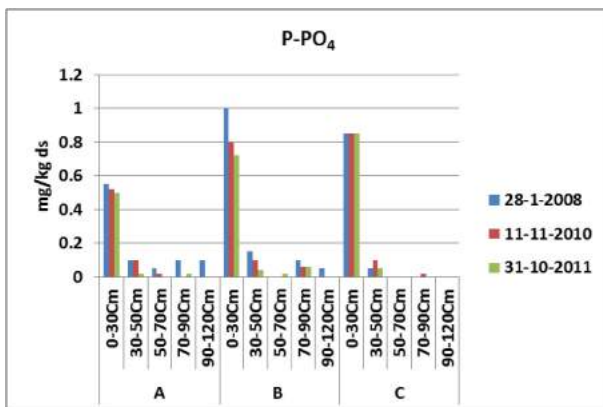
Het Fe-ox gehalte is in Figuur 191 aangegeven. Er zijn geen significante verschillen tussen de behandelingen.



Figuur 191

Het Fe-ox gehalte in de bodem tot max. 120 cm -mv per jaar en per behandeling A=conventionele drainage, B=Samengesteld, Regelbaar, Diep, C=Samengesteld, Regelbaar, Ondiep).

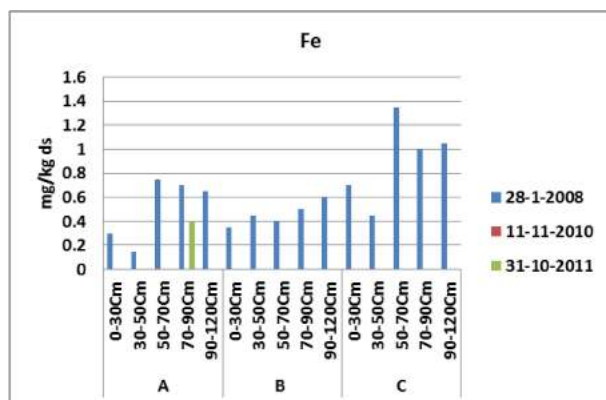
Het P-PO₄ -gehalte is in Figuur 192 aangegeven. Het P-PO₄ concentreert zich met name in de bovengrond tot 30 cm. Er zijn geen significante verschillen tussen de behandelingen.



Figuur 192

Het P-PO₄ -gehalte in de bodem tot max. 120 cm -mv per jaar en per behandeling A=conventionele drainage, B=Samengesteld, Regelbaar, Diep, C=Samengesteld, Regelbaar, Ondiep).

Het Fe-gehalte (in de bodemoplossing) is in Figuur 193 aangegeven. In 2010 en 2011 zijn er slechts zeer minieme gehalten Fe gemeten.



Figuur 193

Het Fe-gehalte (in de bodemoplossing) tot max. 120 cm-mv per jaar en per behandeling A=conventionele drainage, B=Samengesteld, Regelbaar, Diep, C=Samengesteld, Regelbaar, Ondiep).

Conclusies

De effecten van de drainagebehandelingen op de verandering in de chemische bodemsamenstelling zijn beperkt. De N-gehalten (N-NO₃-NO₂ en Nts) zijn in 2011 wat hoger dan in 2010. Er zijn geen significante verschillen tussen de behandelingen gevonden.

Het Pw-getal daalt bij **Conventionele drainage (A)** minder snel dan **C: Samengesteld Regelbaar Ondiep**. De fosfaatverzadigingsgraad van de behandeling met **Conventionele drainage (A)** daalt bijna significant minder sterk dan die met **C: Samengesteld Regelbaar Ondiep**. De lichte daling van het P-ox gehalte in het blok met samengestelde drainage is daar de belangrijkste oorzaak van.

Bijlage 4 Meetprotocol Ospel 2011-2012

Auteur: L.C.P.M. Stuyt

Veldwerk Ospel

Han te Beest, Rob Kselik, Jan v. Kleef. 6 oktober 2011

Waterschap Peel en Maasvallei en Intertek zijn gedurende het uitsoepseizoen 2011-2012 verantwoordelijk voor het verzamelen van de veldgegevens in het project 'Regelbare Drainage Ospel'. Het Intertek lab verzamelt en analyseert de monsters van de ISCO's. Hiervoor is het ook nodig dat niet alleen de ISCO's worden uitgelezen, maar ook de watermeters die bij iedere ISCO zijn geïnstalleerd. Hiertoe moeten nog afspraken worden gemaakt met Intertek.

Apparatuur

Voor de handmatige uitlezing van waterstanden is een daartoe geschikt meetlint voor peilbuizen vereist. Voor de wekelijkse en maandelijkse uitlezing van de **electronisch** opgeslagen veldgegevens is de volgende apparatuur nodig, hieronder aangegeven:

Benodigheden voor het uitlezen van de apparatuur te Ospel.

- Loggers aan de watermeters
 - o Hoboware software
 - o Usb kabel
- Regenmeter en totaaldebietmeter sloot
 - o Hoboware software
 - o Usb kabel met infrarood koppelstuk
- Isco
 - o Hyperterminal software
 - o Aansluitkabel
- Odyssey grondwaterstandloggers
 - o Odyssey software
 - o Aansluitkabel

Nodig is ook een Netbook of notebook met Usb aansluiting en Windows XP software (sommige programma's draaien niet op Windows). Het installeren en controleren van software en uitlezen van de ISCO's wordt door Jan van Kleef verzorgd. Locaties van de metingen en uitleg bij de overdracht van de peilbuizen en andere metingen wordt door Han te Beest gedaan.

Wekelijkse werkzaamheden

ISCO's, watermeters, regenmeter en slootpeilen

1. De standen van de ISCO's noteren. Daarna worden met behulp van de laptop de data van de ISCO's uitgelezen.

De watermonsters uit de drie ISCO's halen. In het nieuwe systeem wordt per dag om de acht uur een nieuwe fles in gereedheid gebracht, ook als de vorige nog leeg is. Per week bestaat er dan een serie van 21 monsters per ISCO. De monsters worden op een rij gezet, zodat als het ware de weekgeschiedenis

van vullen zichtbaar wordt. Van deze serie wordt een foto gemaakt voor het archief. Op basis van deze geschiedenis worden dan drie mengmonsters samengesteld. Hoe dit in z'n werk gaat is in figuur 1 aangegeven met vier voorbeelden voor verschillende situaties. **INTERTEK**

2. De monsters gaan naar het lab voor analyse van de aangegeven parameters, afhankelijk van afspraken over de analyses (frequent en minder frequent), zie tabel 1.
3. Wekelijks de watermeters en de dataloggers uit de debietmeters bij de ISCO's uitlezen, met de HOBOP-apparatuur.
4. De ingestelde temperatuur controleren. De ISCO opnieuw opstarten.
5. Aan het eind van de sloot de totale afvoermeting van de sloot uitlezen. Sleutel van de kast zal worden overgedragen. De hoeveelheid neerslag uit de regenmeter aflezen en noteren. Vervolgens de regenmeter leegmaken.
6. De stand van de peilschalen in beide sloten aflezen en noteren, dus zowel de kavelsloot als de sloot waarin de afvoersloot in uitmondt.

Peilbuizen en putten

7. Wekelijks de standen van de peilbuizen met de hand opnemen. Er zijn 27 ondiepe (1.25 m - mv) en negendiepe (3.5 m -mv) peilbuizen. In figuur 2 zijn de locaties van de peilbuizen en andere meetpunten aangegeven.
8. De waterstanden in de zestien putten meten vanaf de rand en de pijpen.

Maandelijkse EXTRA werkzaamheden

Naast de gebruikelijke wekelijkse metingen zoals hierboven omschreven worden maandelijks ook de volgende handelingen verricht:

1. De dataloggers uitlezen van 27 DIVERS in de ondiepe buizen (1.25 m -mv). Tevens dan controlemetingen uitvoeren. **PenM**
2. De dataloggers uitlezen van negen dataloggers ODYSSEY in de diepere grondwaterstandsbuizen (ca. 3.50 m -mv). Tevens dan controlemetingen uitvoeren **PenM**
3. De datalogger uit de neerslagmeter uitlezen met de HOBOP-apparatuur. **PenM**
4. De dataloggers uit de debietmeters bij de ISCO's uitlezen, eveneens met de HOBOP-apparatuur. **INTERTEK**

Verwerking van de gegevens

Zodra de metingen gedaan zijn worden alle gegevens verwerkt in de 'allesomvattende' spreadsheet, zodat gecontroleerd kan worden of alles in orde is. Dit geldt zowel voor de handmetingen als de metingen van de dataloggers.

Actie ondernemen als er een vermoeden bestaat dat er iets niet klopt. Alle hoogte gerelateerde data worden ook gelijk naar NAP omgezet.

De waterkwaliteitsgegevens worden zo gauw ze geanalyseerd zijn opgestuurd naar Wageningen (dus wekelijks). Deze resultaten worden in hetzelfde spreadsheet opgenomen en verwerkt. Ook hier geldt dat als er afwijkingen worden geconstateerd, er actie moet worden ondernomen.

Tabel 1*Wekelijkse en maandelijkse analyses door Intertek.*

parameter	naamgeving	minimaal ieder keer meten	uitgebreid meten, evt 1 x / maand	onderzocht fenomeen
pH-veld	zuurgraad	x	x	watertype
pH-lab	zuurgraad	x	x	check
EC-veld	geleidbaarheid	x	x	check ionen
EC-lab	geleidbaarheid	x	x	check ionen
temp-veld	temp (vaak bij EC meting)	(x)	(x)	correctie ec
O ₂ -veld	opgelost zuurstof		x	redox
anionen				met cl hco ₃ no ₃ so ₄ redelijke check ionenbalans / ec
Cl ⁻	chloride	x	x	watertype, veel invloed op ec
HCO ₃ ⁻	alkaliteit		x	watertype, veel invloed op ec
NO ₃ ⁻	nitraat	x	x	nitraatuitspoeling, invloed op ec
NO ₃ ⁻ en NO ₂ ⁻	nitraat en nitriet	(x)	(x)	nitraatuitspoeling, invloed op ec, NO ₂ meestal niet interessant
SO ₄ ²⁻	sulfaat		x	watertype, invloed bemesting
PO ₄ ²⁻	fosfaat		(x)	invloed bemesting, bij hoge conc ook klein beetje invloed ec
kationen				met ca mg na k nh ₄ redelijke check ionenbalans en ec
Ca ²⁺	calcium		x	watertype, veel invloed op ec
Mg ²⁺	magnesium		x	watertype, redelijk invloed op ec
Na ⁺	natirum		x	watertype, veel invloed op ec
K ⁺	kalium		x	watertype, bij hoge conc enige invloed ec, indicatie druk bemesting
NH ₄ ⁺	ammonium	x	x	watertype, bij hoge conc enige invloed ec, indicatie druk bemesting
Fe ²⁺	ijzer	x	x	redox, daarmee ook watertype, fosfaat bindt mee aan ijzer als dit in aanraking komt met zuurstof
Mn ²⁺	mangaan			redox, daarmee ook watertype
nutriënten				
P-totaal	totaal fosfor	x	x	P-uitspoeling (ook org-gebonden P)
N-totaal	totaal stikstof	x	x	N-uitspoeling (ook org-gebonden N)

Bijlage 5 Selectieprocedure perceel voor veldproef drainage in Zeeuws-Vlaanderen

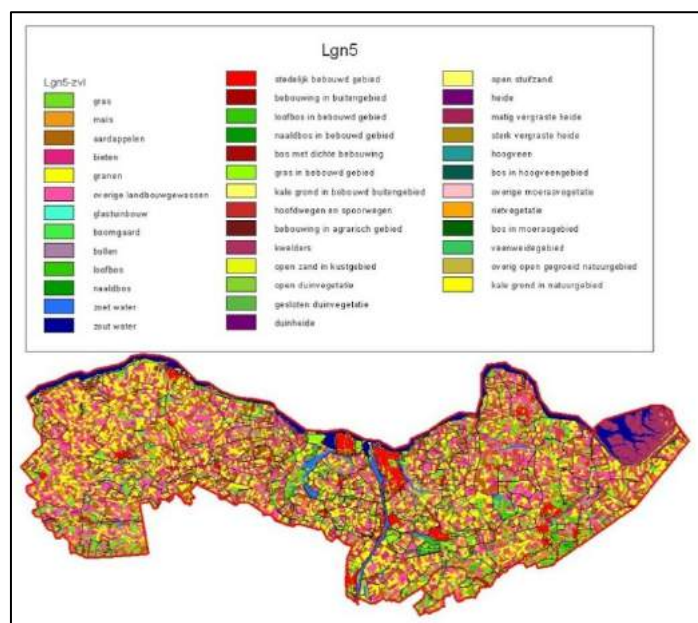
Auteur: H.T.L. Massop (Alterra); mei 2009

Voor het maken van een keuze van een geschikt perceel voor proef met regelbare drainage in Zeeuws-Vlaanderen is een analyse uitgevoerd met beschikbare relevante kaarten. Als eerste stap zijn beschikbare kaarten geïnventariseerd. Vervolgens kan op basis van het beschikbare kaartmateriaal een selectieprocedure worden ontwikkeld om de beschikbare zoekruimte in te perken.

Voor de volgende onderwerpen zijn kaarten geselecteerd die in de verdere analyse een rol kunnen spelen:

- 1 Landgebruik
 - 2 Bodemsoort
 - 3 Opbouw deklaag
 - vóórkomen geologische lagen in de deklaag
 - dikte deklaag
 - weerstand deklaag
 - dikte Hollandveen
 - top Hollandveen t.o.v .maaiveld
- 4 Kwel
- 5 Diepte zoet-zout grensvlak
- 6 Grondwatertrap
- 7 Dichtheid waterlopen

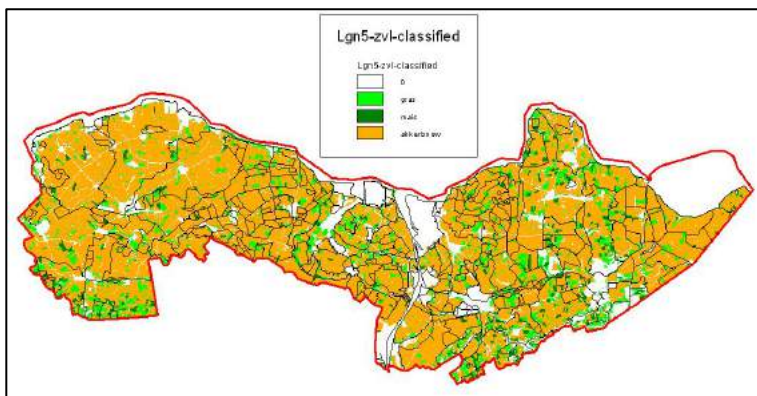
Voor het landgebruik is gebruik gemaakt van LGN5, dit is een dataset gebaseerd op satellietbeelden uit 2003-2004. Het bestand is opgeslagen in 25x25 gridcellen. Er worden ca. 40 legenda-eenheden onderscheiden.



Figuur 194
LGN5-kaart Zeeuws-Vlaanderen.

Omdat we voor deze studie op zoek zijn naar akkerbouwpercelen zijn de akkerbouwmatige percelen samengevoegd, hiertoe worden ook de glastuinbouw, boomgaarden en bollen gerekend, deze vertegenwoordigen slechts een gering areaal.

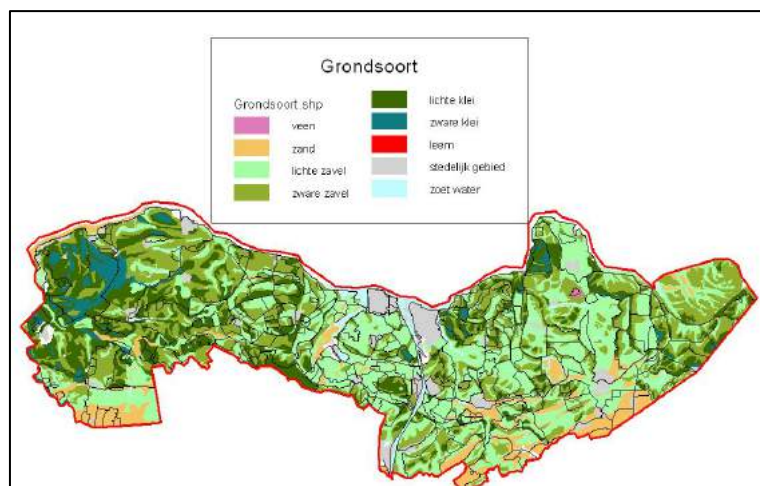
Landgebruik	ha	Herklassificatie	ha
Gras	8772	Gras	8772
Mais	2505	Mais	2505
Aardappelen	7333		
bieten	7249		
Granen	17431		
Overige landbouwgewassen	15673		
Glastuinbouw	5		
Boomgaard	918		
Bollen	52	Akkerbouw	48660



Figuur 195

LGN5-kaart ('ZVL Classified') Zeeuws Vlaanderen.

De grondsoortenkaart geeft een indeling in zeven grondsoorten. Het grootste areaal bestaat uit zavelgronden, daarnaast komt een groot areaal klei voor. Het areaal veen is zeer klein. In het zuiden tegen België komt nog zand voor. Zavel- en kleigronden zijn minerale gronden, waarvan het niet-moerige deel tussen 0 en 80 cm diepte voor de helft of minder dan de helft van de dikte uit zand (50-2000 μm) bestaat. Als een dikte A voorkomt, moet deze gemiddeld zwaarder zijn dan de textuurklasse zand.



Figuur 196

Grondsoortenkaart Zeeuws Vlaanderen.

Grondsoort	ha
veen	60
zand	5874
lichte zavel	26048
zware zavel	21578
lichte klei	13200
zware klei	2495
totaal	69255

De ondiepe ondergrond is opgebouwd uit recent (Holoceen) afgezette gesteenten behorende tot de Formatie van Naaldwijk en Nieuwkoop. Binnen beide formaties worden laagpakketten onderscheiden:

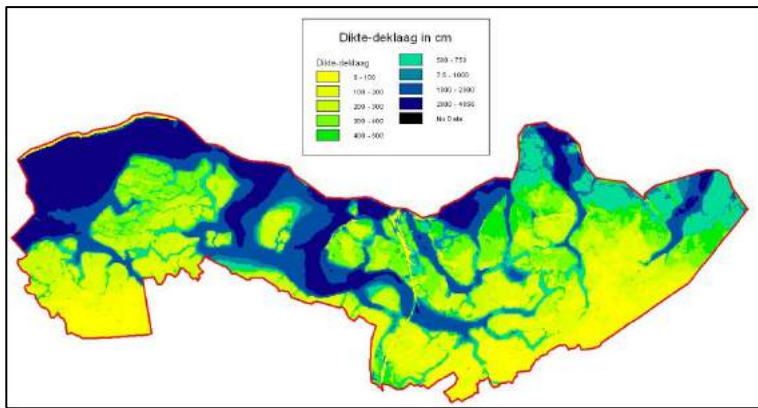
Formatie van Naaldwijk:

- Laagpakket van Walcheren (platen, geulen en kreken)
- Laagpakket van Schoorl (jonge duinen)
- Laagpakket van Zandvoort (Strandafzettingen)
- Laagpakket van Wormer (platen en geulen)

Formatie van Nieuwkoop

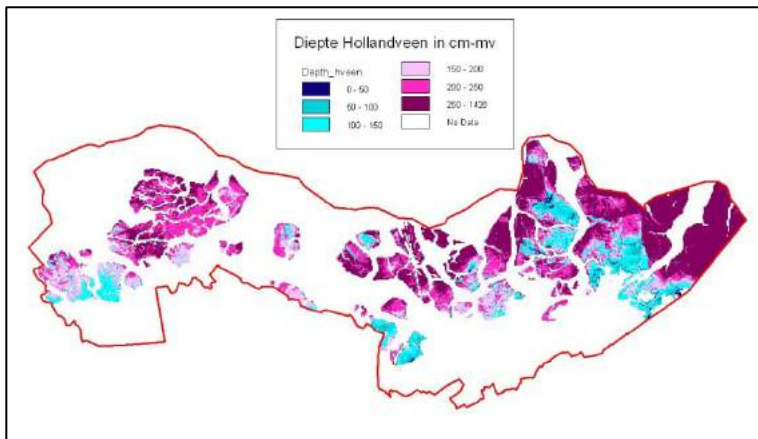
- Hollandveen Laagpakket (veen)
- Basisveen Laagpakket (veen)

Naast genoemde laagpakketten kan er nog door de mens materiaal zijn opgebracht. Om de dikte van de deklaag vast te stellen zijn de dikten van de afzonderlijke laagpakketten opgeteld, hierbij zijn de laagpakketten van Schoorl en Zandvoort buiten beschouwing gelaten omdat deze slechts in een smalle strook langs de kust te vinden is.

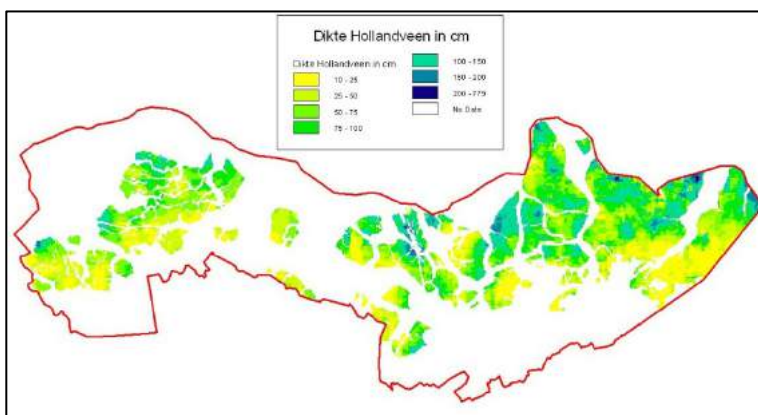


Figuur 197
Kaart 'Dikte deklaag' Zeeuws Vlaanderen.

Binnen de deklaag komen o.a. veenafzettingen, die worden gerekend tot het Hollandveen Laagpakket, voor. Voor dit laagpakket is het voorkomen, de dikte en de diepte van de top t.o.v. maaiveld gegeven.

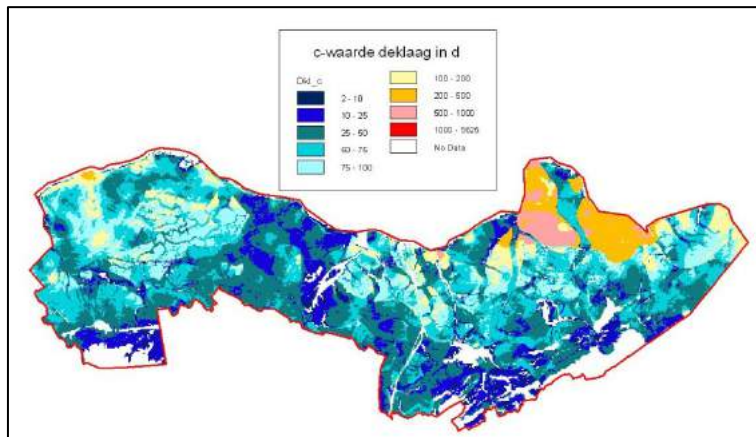


Figuur 198
Kaart 'Diepte Hollandveen' Zeeuws Vlaanderen.



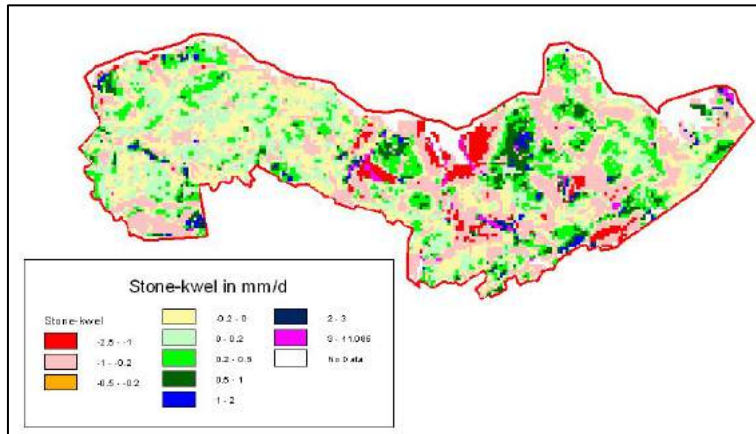
Figuur 199
Kaart 'Dikte Hollandveen' Zeeuws Vlaanderen.

Onder de deklaag komen grovere zandlagen voor; zij vormen het watervoerend pakket. Binnen de Formatie van Nieuwkoop kunnen zowel zandige als kleiige lagen voorkomen. Deze lagen bepalen samen met de daarin aanwezige veenlagen, de verticale stromingsweerstand van de deklaag (de zogenoemde c-waarde).



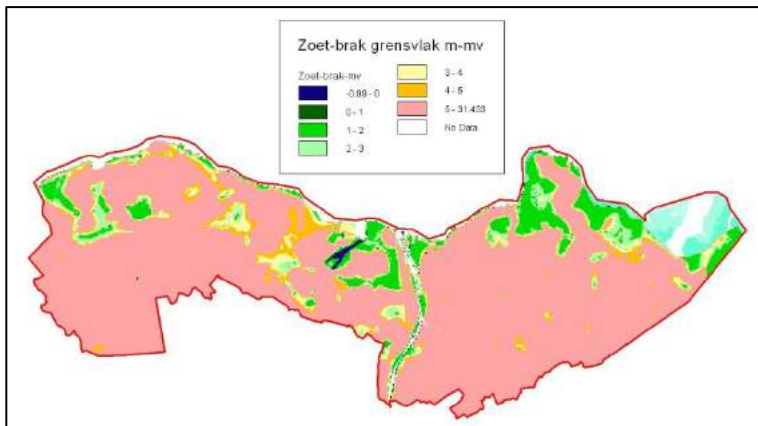
Figuur 200
Kaart van de c-waarde van de deklaag (dagen) in Zeeuws Vlaanderen.

Voor de bepaling van de kwel is gebruik gemaakt van de kwelkaart die is gebruikt voor het zogenoemde STONE-instrumentarium van Alterra.

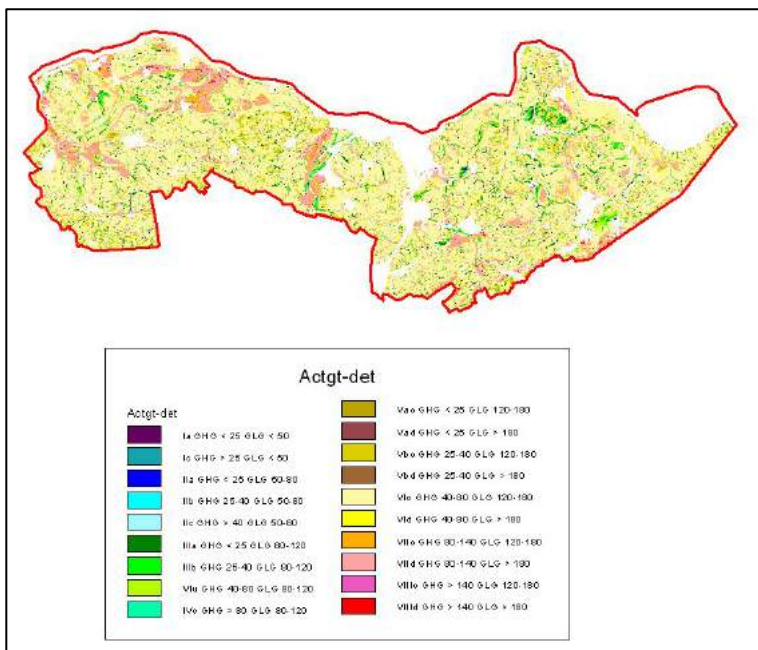


Figuur 201
Kaart met kwelintensiteit (volgens modelinstrumentarium 'Stone') van Zeeuws Vlaanderen.

In het kader van het onderzoek in Zeeland is door de provincie een dieptekaart zoet-brakgrensvlak geleverd (Bron: Dhr. Lein Kaland van de provincie Zeeland).

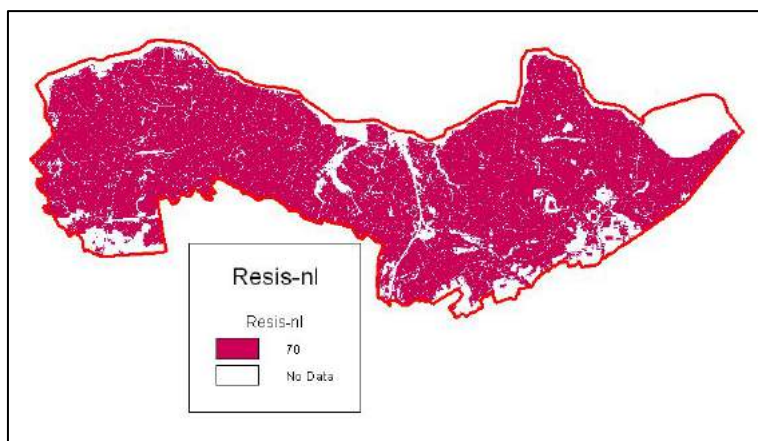


Figuur 202
Kaart met de diepte van het zoet-brak grensvlak in Zeeuws Vlaanderen.

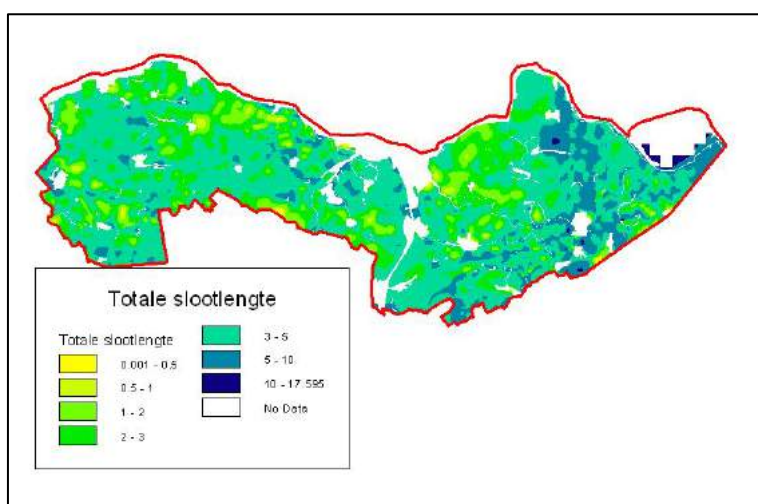


Figuur 203
Gt-kaart van Zeeuws Vlaanderen.

Ontwatering vindt voor een belangrijk deel plaats via buisdrainage. Hoewel geen kaarten beschikbaar zijn met gedraineerde percelen op basis van gebiedsdekkende inventarisaties, is de verwachting dat Zeeuws-Vlaanderen een zeer hoge buisdrainagedichtheid kent. Een statistisch vastgestelde kaart geeft dit ook aan. De dichtheid aan open waterlopen, zoals deze voorkomen op de Top10-vector kaart, is weergegeven in Figuur 204.



Figuur 204
Dichtheid aan open waterlopen in Zeeuws Vlaanderen.



Figuur 205
Slootlengtekaart van Zeeuws Vlaanderen.

Door vaststellen van criteria kan de zoekruimte voor percelen worden ingeperkt. Hierbij kunnen verschillende stappen worden onderscheiden.

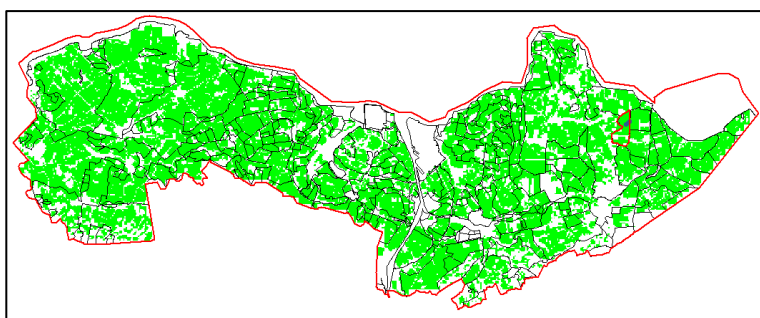
STAP 1 en 2 Akkerbouwpercelen op klei

Door de landgebruikkaart op de grondsoortenkaart te leggen kunnen combinaties worden gevonden. Het totale oppervlak van Zeeuws-Vlaanderen bedraagt 76.114 ha. Hiervan is ca 48.000 ha akkerbouw. Van deze akkerbouwpercelen ligt ca 13.000 ha op klei. Ruim 33.000 ha akkerbouw ligt op zavel.

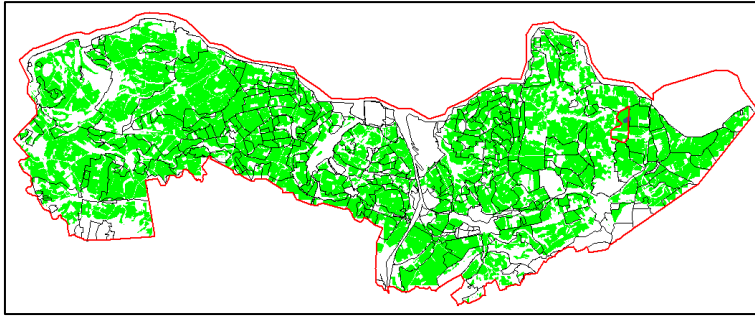
Grondsoort	Arealen in ha			
	Overig	Gras	Mais	Akkerbouw
veen	50	0	0	10
zand	2227	1648	458	1539
lichte zavel	4022	3422	990	17612
zwارة zavel	3100	1908	587	15983
lichte klei	1047	1003	375	10774
zwارة klei	154	136	57	2147
onbekend	307	86	10	115
stedelijk gebied	3623	404	11	232
zoet water	1774	113	14	176
totaal	16304	8720	2501	48589

Grondsoort	Arealen in procenten			
	Overig	Gras	Mais	Akkerbouw++
veen	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%
zand	13,7%	18,9%	18,3%	3,2%
lichte zavel	24,7%	39,2%	39,6%	36,2%
zwارة zavel	19,0%	21,9%	23,5%	32,9%
lichte klei	6,4%	11,5%	15,0%	22,2%
zwارة klei	0,9%	1,6%	2,3%	4,4%
onbekend	1,9%	1,0%	0,4%	0,2%
stedelijk gebied	22,2%	4,6%	0,4%	0,5%
zoet water	10,9%	1,3%	0,6%	0,4%

Kleigronden hebben een lutumpercentage van meer dan 25%, voor lichte kleigronden bedraagt het percentage 25-35% en voor zwارة klei >35%. Zavelgronden hebben een lutumpercentage van 8 tot 25%, waarbij het percentage voor lichte zavel tussen de 8 en 17,5% bedraagt en voor zwارة zavel tussen de 17,5 en 25%. Gezien de areaalverdeling van zavel en kleigronden is ervoor gekozen om de proefpercelen te kiezen op lichte klei of zavel. Zwارة klei komt weinig voor.



Figuur 206
Selectie akkerbouw in Zeuws-Vlaanderen.



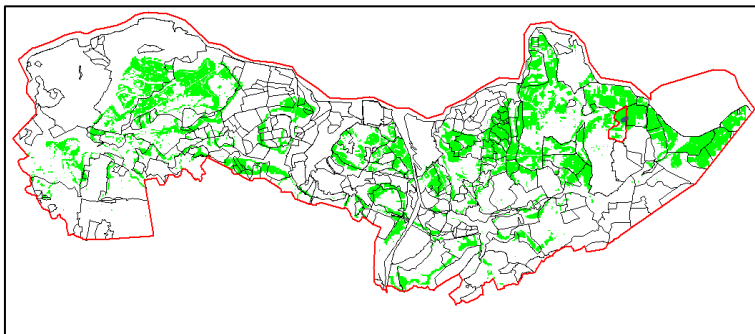
Figuur 207

Selectie akkerbouw zavel en lichte klei in Zeeuvs-Vlaanderen.

Na stap 1 resteert 47.296 ha, na stap 2 43.270 ha.

STAP 3 Dikte deklaag tussen 3 en 10 m

De Holocene afzettingen worden beschouwd als de deklaag. De onderzoeksopzet gaat uit van de aanwezigheid van een deklaag met kwel vanuit het watervoerend pakket. Bij een deklaag dunner dan 3 m is de kans op kortsluiting met drains of sloten groot, terwijl een deklaag dikker dan 10 m onpraktisch is bij boringen. Hoewel de dikte nog niets zegt over de samenstelling van de deklaag, mag worden verwacht dat bij toenemende dikte de weerstand eveneens toeneemt.



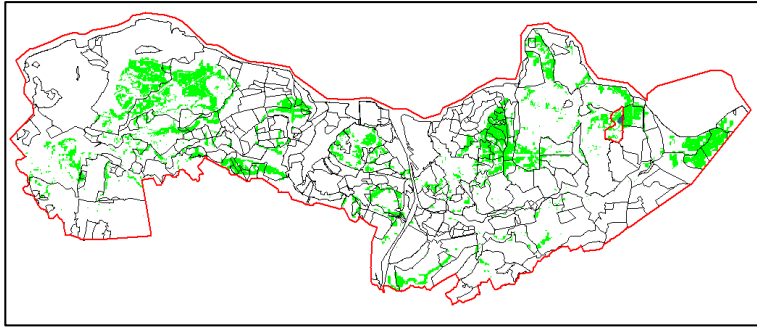
Figuur 208

Selectie akkerbouw op zware zavel en lichte klei met een deklaag van 3 tot 10 m dik in Zeeuvs-Vlaanderen.

De begrenzing van de dikte van de deklaag tussen 3 en 10 m geeft een aanzienlijk afname te zien van het in aanmerking komende areaal landbouwgrond. Na stap 3 resteert 14.299 ha.

STAP 4 Geen significante infiltratie

De aanwezigheid van kwel is een wens van de opdrachtgever, daardoor zijn gebieden met infiltratie groter dan 0,1 mm/d niet meegenomen.

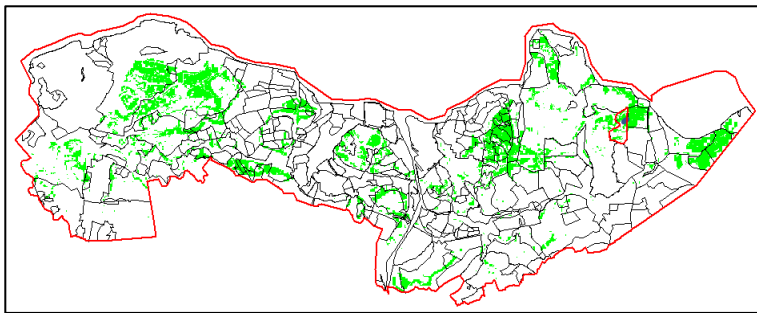


Figuur 209

Selectie akkerbouw op zavel en lichte klei met een deklaag van 3 tot 10 m dik en geen significante infiltratie in Zeeuws-Vlaanderen.

Deze stap geeft een verder afname te zien van het resterende areaal, er resteert 8.905 ha.

STAP 5 Hollandveen, indien aanwezig dieper dan 1,8 m -mv. In deze stap is het areaal verder ingeperkt door verwijdering van grids waar Hollandveen aanwezig is binnen 1,80 m -mv.

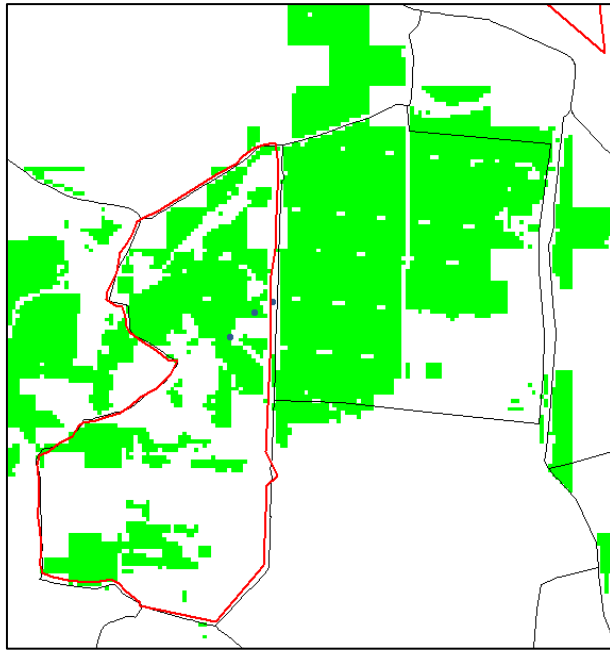


Figuur 210

Selectie akkerbouw op zavel en lichte klei met een deklaag van 3 tot 10 m dik met top Hollandveen indien aanwezig dieper dan 1,8 m -mv - en geen significante infiltratie in Zeeuws-Vlaanderen.

Het criterium kwel leidt tot een beperkte verdere afname van het in aanmerking komende areaal, nl. tot 8451 ha.

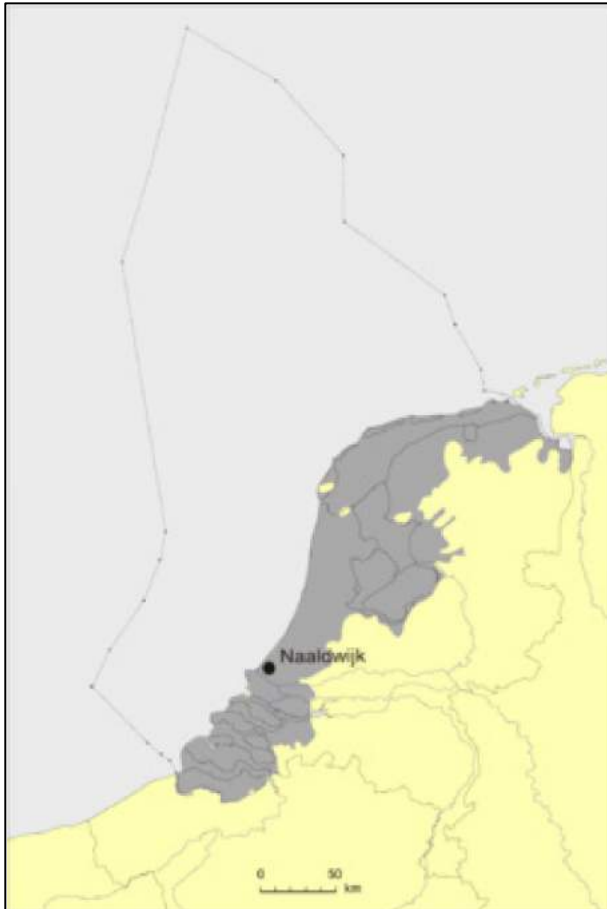
Inzoomend op de Oude Graauwpolder zien we dat ongeveer de helft van de polder in aanmerking komt, dit geldt ook voor het geselecteerde perceel (locatie blauwe stippen). Vooral door de dunne deklaag en het Hollandveen vallen gebieden af.



Figuur 211

Selectie akkerbouw op zavel en lichte klei met een deklaag van 3 tot 10 m dik met top Hollandveen indien aanwezig dieper dan 1,8 m- en geen significante infiltratie in de Oude Graauwpolder.

De Formatie van Naaldwijk



Naam: Formatie van Naaldwijk
Groep: Boven-Noordzee Groep
Facies: marine
Gesteente: zand en klei
Ouderdom: Holoceen

De Formatie van Naaldwijk of Naaldwijk Formatie (sic, afkorting: NA) is een zeer jonge geologische formatie, die in een groot deel van Nederland aan het oppervlak ligt. De formatie bestaat voornamelijk uit zanden en kleien die tijdens het Holoceen zijn afgezet. Dit kunnen zowel mariene, lagunaire als strandafzettingen zijn.

Stratigrafie

De Formatie van Naaldwijk wordt tot de Boven-Noordzee Groep gerekend en heeft een variabele dikte. Aan de kust kan de formatie tot 75 meter dik zijn, landinwaarts wigt ze langzaam uit tot enkele meters dikte.

De formatie ligt over oudere Kwartaire afzettingen. In het zuiden van Nederland zijn dit vaak eolisch dekzand en rivierafzettingen uit het Weichselien (Formatie van Boxtel). In het midden van Nederland zijn dit meestal rivierkleien met een Saalien tot Holocene ouderdom (formaties van Kreftenheye en Echteld), in het westen kan daarnaast ook veen uit de Formatie van Nieuwkoop onder de Formatie van Naaldwijk liggen. In het midden van Nederland en in de kustgebieden liggen soms oudere mariene zanden en kleien uit het Eemien (Eem Formatie) onder de Formatie van Naaldwijk. In het noorden van Nederland liggen onder de Formatie van Naaldwijk vaak periglaciale afzettingen uit het Saalien (Formatie van Drente).

De mariene afzettingen die tot de Formatie van Naaldwijk worden gerekend, zijn tegelijkertijd gevormd met de fluviale afzettingen van de Formatie van Echteld en het veen van de Formatie van Nieuwkoop. De drie formaties komen daarom vaak vertand voor in de Nederlandse ondergrond.

De Formatie van Naaldwijk wordt gecorreleerd met de Southern Bight Formatie in de ondergrond van de Noordzee.

Lithologie

De formatie heeft een wisselende lithologie van zand met kleilaagjes en klei met zandlaagjes. De zandlagen kunnen schelpen bevatten, zoals Hydrobia, waarmee ze te onderscheiden zijn van rivierafzettingen. De kleilagen kunnen soms siltig zijn of humus bevatten.

Binnen de Formatie van Naaldwijk worden vier laagpakketten onderscheiden:

- Het Laagpakket van Wormer, bestaande uit schelpenhoudend fijn zand met kleiige lagen dat zich bovenop het Basisveen en onder het Hollandveen (beide onderdeel van de Formatie van Nieuwkoop) bevindt. Het is alleen te vinden in de ondergrond van het westen van Nederland.
- Het Laagpakket van Walcheren, bestaande uit schelpenhoudend fijn zand met kleiige lagen, soms in geulafzettingen. Het Laagpakket van Walcheren ligt bovenop het Hollandveen.
- Het Laagpakket van Zandvoort, dat bestaat uit grof zand uit strand- en duinafzettingen.
- Het Laagpakket van Schoorl, dat bestaat uit fijn zand uit duinafzettingen (de zogenaamde jonge duinen).

De Formatie van Nieuwkoop



Naam: Formatie van Nieuwkoop

Groep: Boven-Noordzee Groep

Facies: lacustrien, paduaal

Gesteente: veen, klei en silt

Ouderdom: Holoceen

De Formatie van Nieuwkoop of Nieuwkoop Formatie (sic) is een lithostratigrafische formatie die deel uitmaakt van de Boven-Noordzee Groep en in een groot deel van Zuidwest- West- en Noord-Nederland tot aan het oppervlak voorkomt. De formatie bestaat voornamelijk uit veen en ligt voornamelijk op de Formatie van Boxtel, met uitzondering van het rivierengebied waar de eenheid vaak op de Formatie van Kreftenheye ligt. De formatie komt in de kust- en rivierlakte vertand voor met de klastische afzettingen van de Formaties van Echteld en Naaldwijk.

De Basisveen en Flevomeer Lagen, het Laagpakket van Griensveen en het Hollandveen Laagpakket behoren tot deze formatie.

De Formatie van Nieuwkoop is van Holocene ouderdom en is ontstaan onder invloed van het stijgen van het grondwater als gevolg van de zeespiegelrijzing na de laatste ijstijd (Weichselien).

Basisveen Laag

De Basisveen Laag is een veenlaag die op sommige plekken in de bodem voorkomt in West- en Noord-Nederland, Vlaanderen en het Noordzeegebied, zoals de Doggersbank. Het ligt direct op het Pleistocene zand en wordt alleen onderscheiden onder de Naaldwijk Formatie. Men neemt aan dat het Basisveen werd gevormd door de relatieve zeespiegelstijging en de daaruit resulterende grondwaterstijging. De resulterende kwel in het dekzandgebied zorgde voor veenvorming.

Het basisveen werd gevormd in de tijdvakken Boreaal en Atlanticum, die volgden op de laatste ijstijd. In dit tijdperk werd het klimaat warmer waardoor de zeespiegel steeg en de permafrost uit de bodem verdween. Gevolg was dat zich uitgestrekte moerassen en heidevelden vormden, waar veen werd gevormd. Vanaf 8.000 jaar geleden zou de zeespiegel verder stijgen waarbij grote delen van Nederland overstromden. Hierbij werd veel van het Basisveen weggeslagen, waardoor het tegenwoordig niet overal in de ondergrond te vinden is.

Zowel Basisveen als Hollandveen werden vroeger ingedeeld bij de Westlandformatie. Tegenwoordig worden het Hollandveen Laagpakket en Basisveen Laag gerekend tot de Nieuwkoop Formatie.^[1] (Zie ook Duinkerke-transgressies)

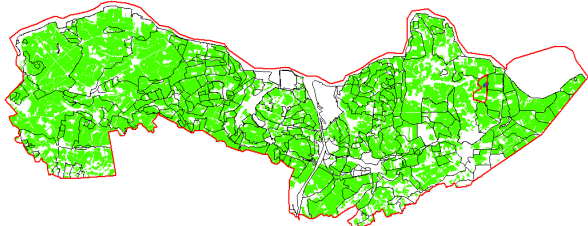
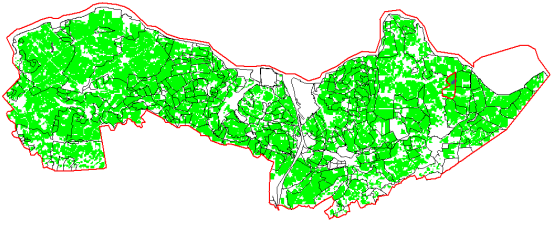
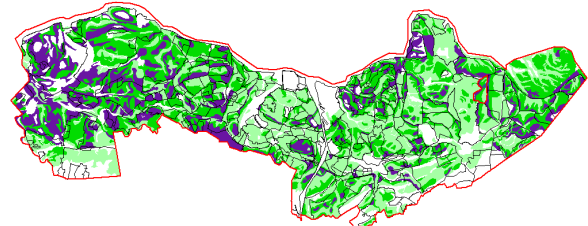
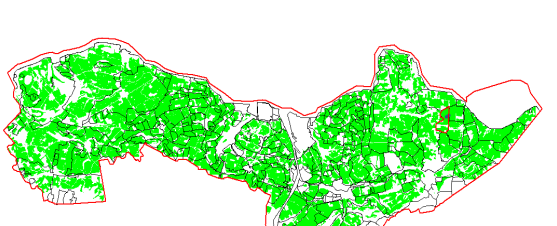
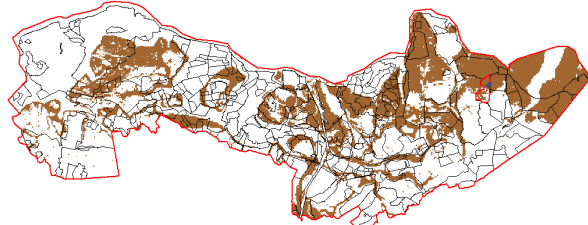
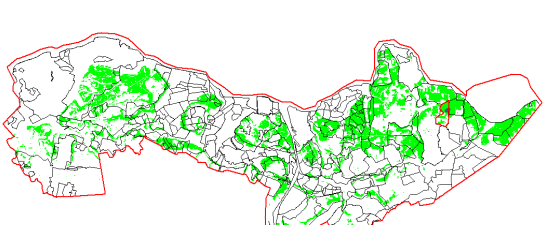
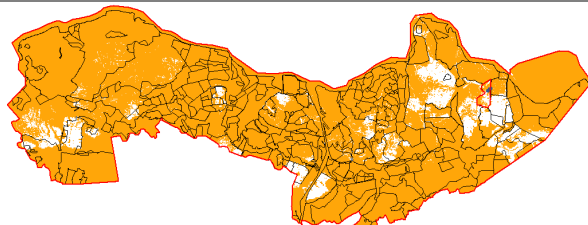
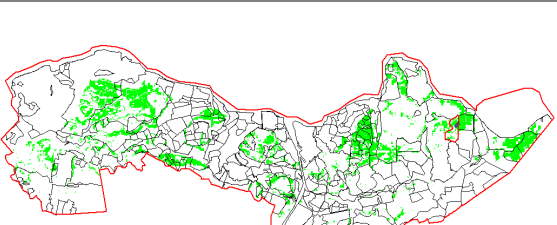
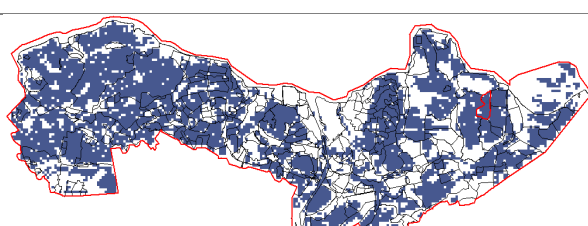
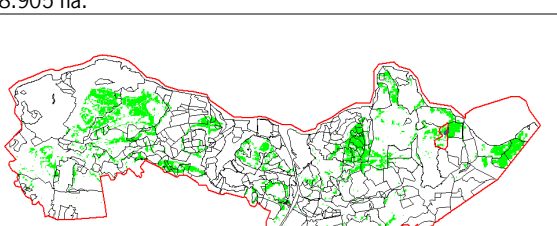
Voor en tijdens de Tweede Wereldoorlog werd in Noord- en Zuid-Holland moerasgas gewonnen. Dit was ontstaan tijdens de eerste fase van het inkolingsproces van de Basisveen Laag.

Hollandveen Laagpakket

Het Hollandveen Laagpakket is een laagpakket in de Nederlandse ondergrond, die het grootste gedeelte van het veen aan het oppervlak in de provincies Noord-Holland, Utrecht en Zuid-Holland bevat. Het bestaat uit laagveen, zoals bosveen en rietveen, en verdronken hoogveen, voornamelijk mosveen. Het wordt alleen onderscheiden waar de Nieuwkoop Formatie vertand voorkomt met de Naaldwijk Formatie. Het is vooral gevormd in het Midden- en Laat-Subboreaal. Er bestond toen langs de kust een relatief brede strandwal waarachter de lagune kon verzoeten door rivier- en regenwater. Dit maakte verlanding mogelijk waarbij lagunes en binnenwater dichtgroeiden met moerasplanten. De resten van deze planten vormden een dikke veenlaag. Het veen breide zich zo uit van het rivierengebied tot aan de strandwallen.

Een veel zeldzamer tweede type veen, dat ouder is dan het Hollandveen, wordt Basisveen Laag genoemd. Beide typen werden vroeger ingedeeld bij de Westlandformatie. Tegenwoordig worden het Hollandveen Laagpakket en Basisveen Laag gerekend tot de Nieuwkoop Formatie.

Het Hollandveen komt in delen van de genoemde provincies aan het oppervlak. Op andere plaatsen lag het vroeger aan het oppervlak, maar is het tot op de onderliggende zeelei afgegraven voor turfwinning. Door het afgraven ontstonden grote stukken open water, zoals de Loosdrechtse Plassen en de Reeuwijkse Plassen.

Stap	Basiskaarten	Selectie
1	 <p><i>Akkerbouw</i></p>	 <p>47296 ha</p>
2	 <p><i>Zavel en lichte klei</i></p>	 <p>43270 ha.</p>
3	 <p><i>Dikte deklaag tussen 3,0 - 10 m</i></p>	 <p>14.299 ha.</p>
4	 <p><i>Geen significante infiltratie (>0.1 mm/d)</i></p>	 <p>8.905 ha.</p>
5	 <p><i>Hollandveen afwezig of dieper dan 1,8 m -mv)</i></p>	 <p>8.451 ha.</p>

Bijlage 6 Selectieprocedure perceel voor veldproef drainage in Zeeland

Auteur:

H.T.L. Massop (Alterra); juni 2009

Inleiding

In mei 2009 is een GIS-analyse uitgevoerd voor het gebied van Zeeuws-Vlaanderen. De resultaten hiervan zijn gepresenteerd in bijlage 5. De nu uitgevoerde analyse is grotendeels identiek en uitgevoerd voor de gehele provincie Zeeland. Voor achtergronden bij een aantal kaarten wordt dan ook verwezen naar de notitie voor Zeeuws-Vlaanderen.

Nieuwe kaarten

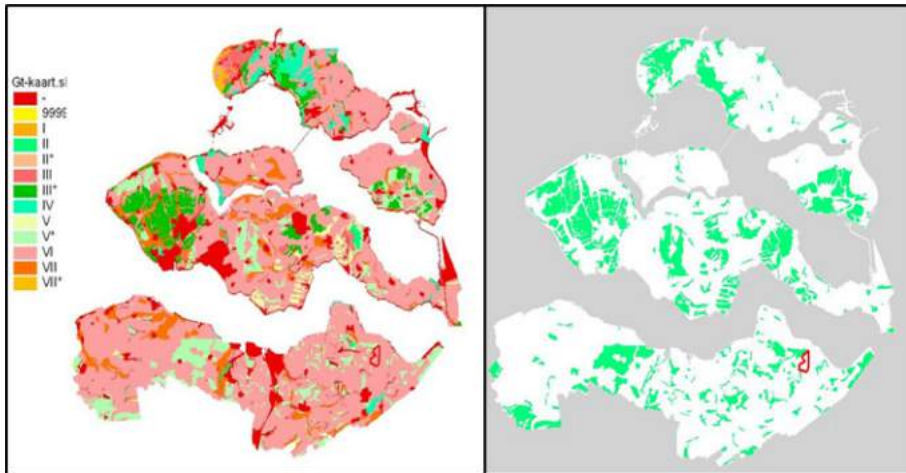
De kaarten over landgebruik, diepte Hollandveen en grondsoort zijn identiek aan de kaarten die zijn gebruikt voor de analyse voor Zeeuws-Vlaanderen.

In deze analyse zijn twee kaarten vervangen, de kaart dikte deklaag en de kwelkaart. De kaart voor de dikte van de deklaag, zoals deze is gebruikt voor de analyse in Zeeuws-Vlaanderen, was gebaseerd op de totale dikte van de Holocene afzettingen. Deze kaarten bevatten geen informatie over het afgezette materiaal, zoals klei en zand. Alleen voor de veenafzettingen waren speciale kaarten beschikbaar. Door de provincie Zeeland is een nieuwe kaart aangeleverd over de dikte van de deklaag uit REGIS (DKL_THK), bij het samenstellen van deze kaart is rekening gehouden met de samenstelling van de deklaag. Deze kaart is dan ook in deze analyse toegepast.

Als kwelkaart is bij de analyse in Zeeuws-Vlaanderen gebruik gemaakt van de STONE kwelkaart. Deze kaart is voor de analyse van Zeeland in eerste instantie vervangen door een kwelkaart gebaseerd op de Gt uit de bodemkaart. Het idee hierachter vanuit de begeleidingsgroep is dat de bodemkaart relatief oud is en dat de opname van de bodemkaart nog stamt uit de tijd dat er weinig of geen buisdrainage was en dat de gronden die toen nat waren en nu in gebruik zijn voor landbouw, waarschijnlijk buisdrainage hebben én kwel. (persoonlijke mededeling: ik verwacht dat er ten tijde van de opnamen van de bodemkaart al aanzienlijke oppervlakten waren gedraineerd. Mede ook omdat buisdrainage al vroeg is geïntroduceerd in Zeeland). De GT-kaart is bewerkt, de meeste GT-vlakken hebben één GT, maar aan een deel van de vlakken zijn meerdere GT's toegekend. In deze gevallen is de natste Gt als representatief genomen. De hiermee afgeleide GT-kaart is vervolgens als volgt geclassificeerd:

	GT-klasse
Kwel	I,II,II*,III,III*,V,V*
Wegzijing	IV,VI,VII

In Figuur 212 is de ruimtelijk ligging van de GT en de herleiding naar kwel weergegeven.



Figuur 212
Grondwatertrappen (links) en kwel (groen) (rechts) in de provincie Zeeland.

Toepassing van deze kaart in de analyse had als resultaat dat de zoekruimte aanzienlijk werd ingeperkt. Daarom is besloten niet de GT-kaart maar de kaart met het brak-zout-grensvlak als 'indicatieve kwelkaart' te gebruiken (figuur 2).

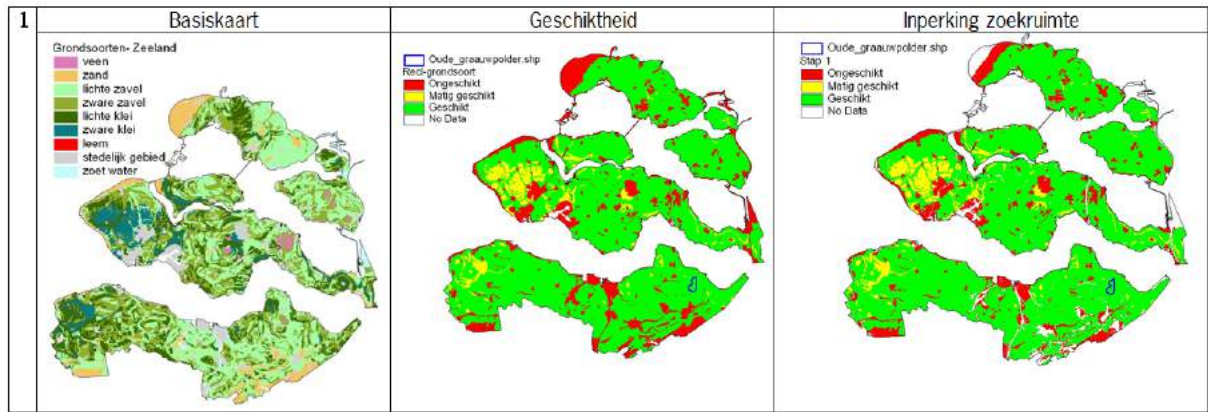
Inperking zoekruimte

Een verdere aanpassing in deze analyse ten opzichte van de analyse voor Zeeuws-Vlaanderen is de klassificatie van de kaarten in drie in plaats van twee klassen, nl ongeschikt (0), geschikt (1) en matig geschikt (2).

Vervolgens is in vijf stappen de beschikbare zoekruimte ingeperkt:

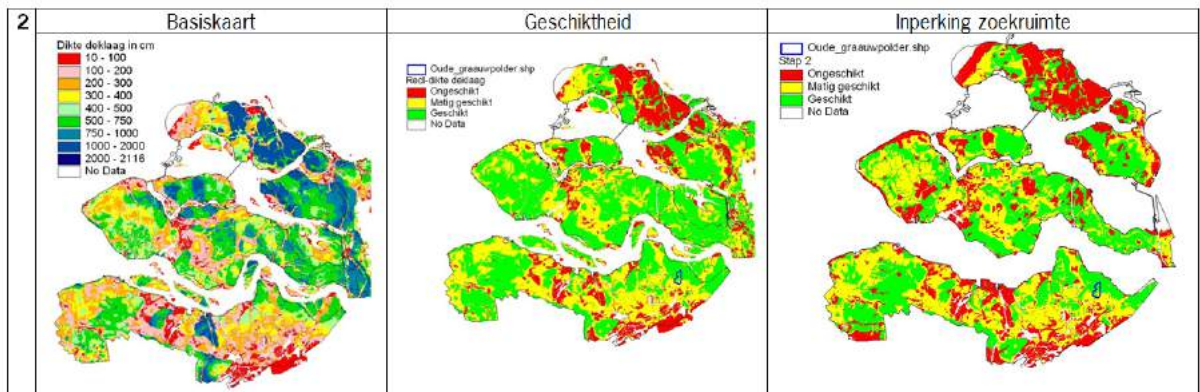
- | | | |
|----------|-------------------------------------|--|
| Stap 1 → | Grondsoort | Geschikt: lichte klei en zavel
Weinig geschikt: zware klei
Ongeschikt: overige gronden |
| Stap 2 → | Stap 1 + Dikte deklaag | Geschikt: dikte 3 - 8 m
Weinig geschikt: dikte 1 - 3 en 8 - 10 m
Ongeschikt: overige dikten, < 1 m en > 10 m |
| Stap 3 → | Stap 2 + Diepte Hollandveen | Geschikt: afwezig of top Hollandveen dieper dan 2,5 m -mv
Weinig geschikt: aanwezig en top Hollandveen 1,8 - 2,5 m -mv
Ongeschikt: aanwezig en top Hollandveen < 1,8 m -mv |
| Stap 4 → | Stap 3 + diepte brak-zout grensvlak | Geschikt: grensvlak brak-zout < 4 m -mv
Ongeschikt: grensvlak brak-zout > 4 m -mv |
| Stap 5 → | Stap 4 met landgebruik akkerbouw. | |

In Figuur 213 t/m Figuur 217 zijn de vijf stappen ruimtelijk weergegeven; de linker kaart geeft in alle situaties de basiskaart weer, de middelste kaart geeft de geschiktheid weer en de rechter kaart geeft het areaal weer dat na elke stap nog aan het criterium voldoet.



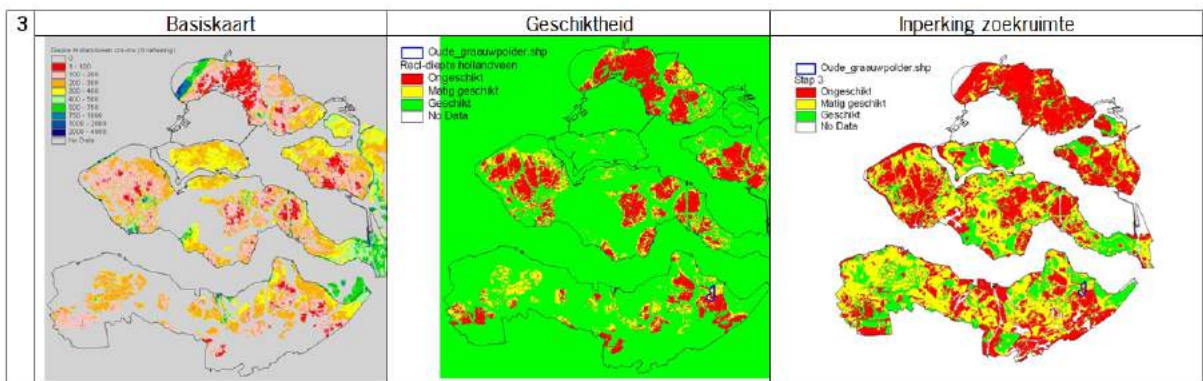
Figuur 213

Inperking zoekruimte naar een perceel, geschikt voor een drainage veldproef, op grond van de grondsoort in de provincie Zeeland met de basiskaart (links), de geclassificeerde kaart (midden) en het resterende areaal (rechts).



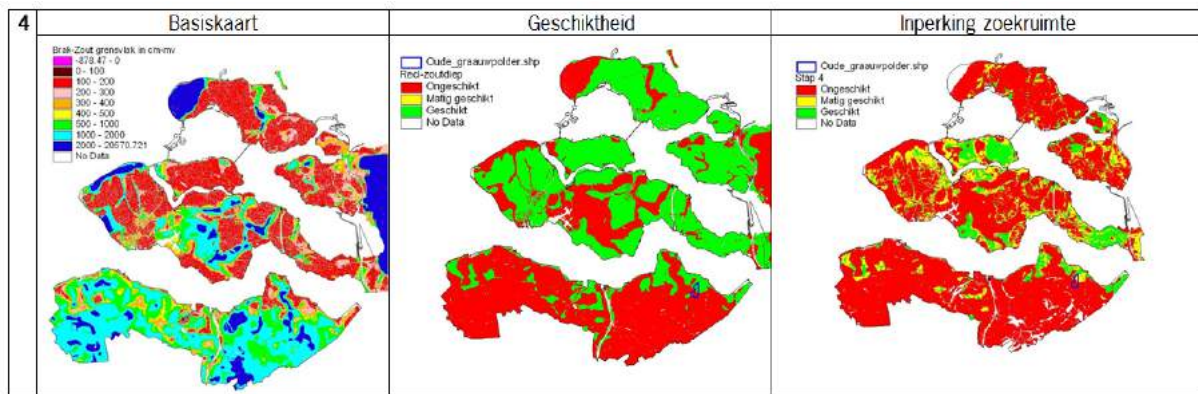
Figuur 214

Inperking zoekruimte naar een perceel, geschikt voor een drainage veldproef, op grond van de dikte van de deklaag in de provincie Zeeland met de basiskaart (links), de geclassificeerde kaart (midden) en het resterende areaal (rechts).



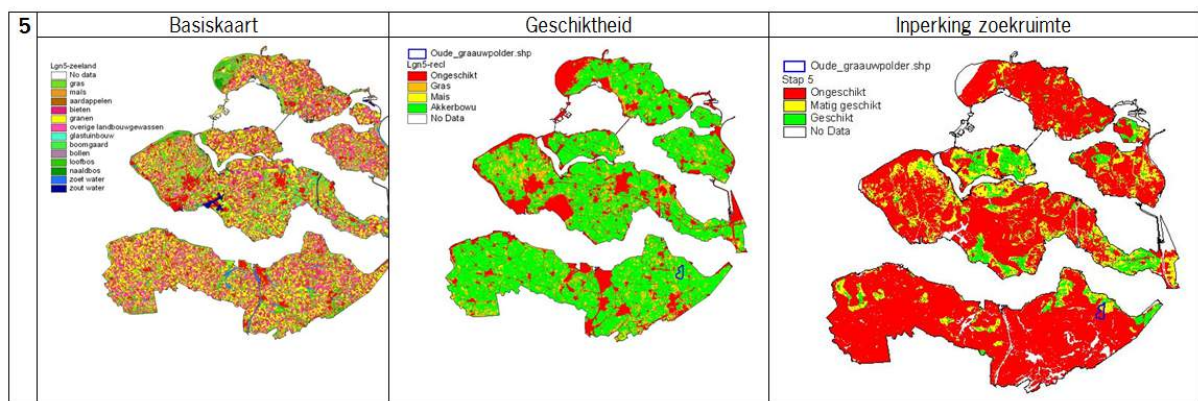
Figuur 215

Inperking zoekruimte naar een perceel, geschikt voor een drainage veldproef, op grond van de diepte van het Hollandveen in de provincie Zeeland met de basiskaart (links), de geclassificeerde kaart (midden) en het resterende areaal (rechts).



Figuur 216

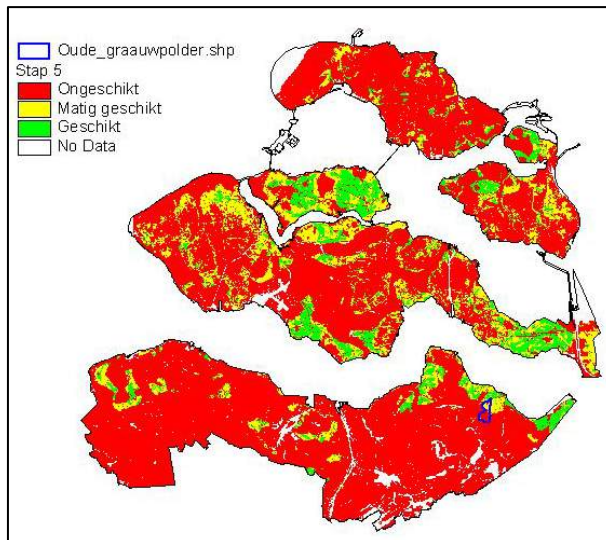
Inperking zoekruimte naar een perceel, geschikt voor een drainage veldproef, op grond van de diepte van het zout-brakke grondvlak in de provincie Zeeland met de basiskaart (links), de geclassificeerde kaart (midden) en het resterende areaal (rechts).



Figuur 217

Inperking zoekruimte naar een perceel, geschikt voor een drainage veldproef, op grond van het landgebruik (i.c. akkerbouw) in de provincie Zeeland met de basiskaart (links), de geclassificeerde kaart (midden) en het resterende areaal (rechts).

Als een grid bij een bepaalde stap ongeschikt scoort, blijft de score in de volgende stappen ongeschikt. Hetzelfde gebeurt als een grid eenmaal weinig geschikt scoort, dan blijft deze in de volgende stap weinig geschikt of ongeschikt. Als een grid in de laatste stap geschikt scoort, heeft deze in alle kaarten geschikt gescoord en is het bodemgebruik akkerbouw.



Figuur 218
Ruimtelijke ligging geschikte en matig geschikte zoeklocaties.

Uit Figuur 218 blijkt dat er een aantal clusters resteren die als geschikt aangemerkt kunnen worden. In Tabel 37 zijn de arealen geschikt en matig geschikt samen weergegeven.

Tabel 37
Resterende zeer geschikte en matig geschikte zoekruimte na stapsgewijze inperking.

Stap		ha
0	Zeeland	178332
1	Grondsoort zavel en lichte klei	144381
2	Deklaag 3-10 m	121355
3	Hollandveen afwezig of dieper dan 1,8 m -mv	94259
4	Kwel op basis Gt	40117
5	Akkerbouw	35287

Van het areaal geschikt en matig geschikt is 12.446 ha geschikt (akkerbouw). Verder is nog 450 ha maïs geschikt en 1.868 ha grasland.

Naast de hierboven besproken 'selectieprocedure' is het onontbeerlijk om de situatie ter plekke van te draineren percelen persoonlijk in ogenschouw te nemen; zie de hierna getoonde, recente voorbeelden uit Ghana en België, in Figuur 219 tot en met Figuur 225.



Figuur 219

Graven van een profielkuil in de tropische savanne in Noord Ghana. Dit veldbezoek vond plaats op 4 februari 2013, tijdens de droge tijd; de grond is bijzonder zwaar, nauwelijks gescheurd en keihard (Foto: Lodewijk Stuyt).



Figuur 220

Detail van de profielkuil in figuurFiguur 219. Het traject waarlangs de grondwaterstand zich doorgaans beweegt wordt gekenmerkt door roestkleurige stippels ('mottled soil'); deze zware grond kan gedraineerd worden, maar een profielkuil graven geeft te weinig informatie; de hydraulische doorlatendheid en het ondiepe verloop van verschillende bodemlagen moet nader worden onderzocht (Foto: Lodewijk Stuyt).



Figuur 221

Een fysisch geograaf of bodemkundige kan - mits water voorhanden is - zich via manuele inspectie een goede oordeel vormen van de bodemeigenschappen (Foto: Lodewijk Stuyt).



Figuur 222

Belgisch Limburg 22 februari 2013: het maaiveld kan wegens structuurbederf zó slecht doorlatend zijn dat een agrariër zich genoodzaakt kan zien de oppervlakkige afvoer naar een kavelsloot 'een handje te helpen' door een aantal tijdelijke sleuven te graven; een slechtdoorlatende toplaag met 'overland flow' en erosie is een signaal dat bij voorgenomen drainage ter harte moet worden genomen (Foto: Lodewijk Stuyt).



Figuur 223

Belgisch Limburg 22 februari 2013: bodemanalyse, liefst tot 2 m diepte, maar zeker tot aan de beoogde draindiepte, met een grondboor; hier is al snel sprake van een scherpe overgang naar gemakkelijk te draineren lutumarm zand (Foto: Lodewijk Stuyt).



Figuur 224

Belgisch Limburg 22 februari 2013: bij de geschiktheidsbeoordeling van een perceel moet altijd worden vastgesteld of het nabijgelegen oppervlaktewater diep genoeg is - en op dit diepe peil door de waterbeheerder wordt gehandhaafd - om het drainagewater onder zwaartekracht te kunnen laten afwateren; in jargon: er moet sprake zijn van 'voldoende drooglegging' (Foto: Lodewijk Stuyt).



Figuur 225

Belgisch Limburg 22 februari 2013: soms lijkt de drooglegging te gering om een adequaat functionerend regelbare drainagesysteem aan te kunnen leggen (Foto: Lodewijk Stuyt).

De afgelopen decennia zijn diverse publicaties (handboeken, rapporten en dergelijke) verschenen, waarin uitgebreid wordt beschreven waarop gelet moet worden bij het ontwerp en de realisatie van drainagesystemen voor landbouwpercelen. De meest recente publicatie in deze 'reeks' is FAO Irrigation and Drainage Paper 62: 'Guidelines and computer programs for the planning and design of land drainage systems', in 2007 gepubliceerd, en opgesteld door W.H. van der Molen, J. Martínez Beltran en W.J. Ochs. In deze publicatie is de kennis uit eerdere geschriften op vakkundige wijze geïntegreerd en is een CD bijgevoegd met software waarmee de diverse stappen in het ontwerpproces worden vergemakkelijkt. Veel praktische informatie die nuttig kan zijn bij realisatie van drainage is verzameld in FAO Irrigation and Drainage Paper 60 (Rev. 1): 'Materials for subsurface land drainage systems', in 2005 opgesteld door L.C.P.M. Stuyt, W. Dierickx en J. Martínez Beltran. Eerdere publicaties die hun sporen hebben verdiend zijn het boekje 'Dränanleitung für Landbau, Ingenieurbau u. Landschaftsbau', 2. Auflage, in 1981 uitgegeven door Verlag Paul Parey, ILRI Publicatie 56: 'Envelope design for subsurface drains, geschreven door W.F. Vlotman, L.S. Willardson en W. Dierickx (2000), en - last but not least - ILRI Publicatie 60: 'Subsurface Drainage Practices: Guidelines for the implementation, operation and maintenance of subsurface pipe drainage systems' (2005), door H.J. Nijland, F.W. Croon en H.P. Ritzema.

Veel drainagekennis en -wijsheid, inmiddels vaak 'vergeten' maar nog onverminderd actueel, is al (veel) eerder opgetekend in diverse - hoofdzakelijk Amerikaanse - handboeken. In chronologische volgorde: 'Drainage of agricultural lands' (J.N. Luthin, Agronomy Vol. 7, American Society of Agronomy, 1957), 'Drainage for Agriculture' (J. Van Schilfgaarde, Agronomy Vol. 17, American Society of Agronomy, 1974), 'Drainage Engineering' (J.N. Luthin, Robert E. Krieger Publishing Company, 1978), 'Drainage Agricole - Théorie et pratique' (Chambre Régionale d'agriculture de Bourgogne, 1981), 'Land Drainage. Planning and design of agricultural drainage systems' (L.K. Smedema and D.W. Rycroft, Cornell University Press, 1983), 'Design Practices for Covered Drains in an Agricultural Land Drainage System-A worldwide Survey' (K.K. Framji, B.C. Garg and S.P. Kaushish, ICID-India, 1987) en 'Agricultural Drainage' (ed. R.W. Skaggs and J. van Schilfgaarde, Agronomy Vol. 38, American Society of Agronomy, 1999). In laatstgenoemd handboek ('monograph') is zo'n beetje alle bestaande kennis samengebracht in maar liefst 42 hoofdstukken, gerubriceerd in twaalf secties die samen 1328 pagina's beslaan.

Bijlage 7 Kwaliteitscontrole drainages

Auteur: L.C.P.M. Stuyt

Alterra beschikt over een video-inspectiesysteem, waarmee de drains inwendig met een miniatuur kleurencamera kunnen worden geïnspecteerd: Wöhler VIS 2000 Pro; zie Figuur 226. Deze apparatuur wordt met grote regelmaat ingezet om storingen aan bestaande drainagesysteem op te sporen en te identificeren; zie Figuur 226 en Figuur 227.

Videoinspectie-systeem: Wöhler VIS 2000^{PRO}

Professionelle Videoinspectie

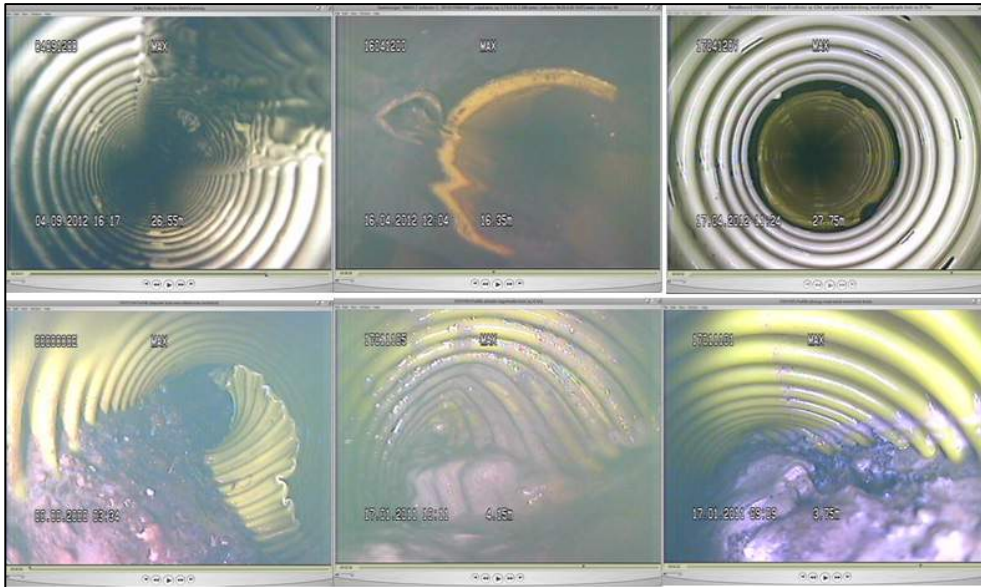
Das Videoinspectie-systeem Wöhler VIS 2000^{PRO} dient zur optischen Inspektion von Schornsteinen, Abgasleitungen, Lüftungsanlagen, Schächten und Rohrleitungen. Mängel sowie Undichtigkeiten können spielend leicht erkannt werden. Dank des dreh- und schwenkbaren Kamerakopfes lässt sich jeder Winkel einsehen. Die Ergebnisse der Inspektion lassen sich als Bilder oder Videosequenzen kinderleicht im Gerät auf einer CF-Karte speichern und stehen für den anschließenden Protokollbericht zur Verfügung. Der modulare Aufbau des Videoinspectie-systems ermöglicht die spätere Erweiterung z.B. mit einem Miniaturkamerakopf, einer anderen Verbindungsstange etc., um dann sukzessive andere Anwendungen zu erschließen.

Alle Komponenten können direkt am Körper / an der Kleidung getragen werden, so dass keine Abstellfläche für das Gerät benötigt wird und trotzdem beide Hände für die Bedienung frei bleiben - ein großer Vorteil z.B. bei Arbeiten auf dem Dach.



Figuur 226

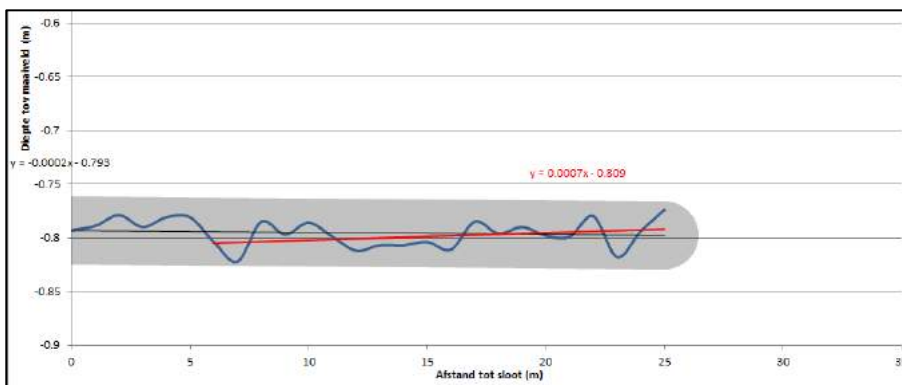
Video-inspectiesysteem, waarmee informatie kan worden verkregen over de werking van geïnstalleerde drains.



Figuur 227

Beelden van ondergrondse buisdrainagesystemen, opgenomen met het Wöhler video inspectiesysteem van Alterra.

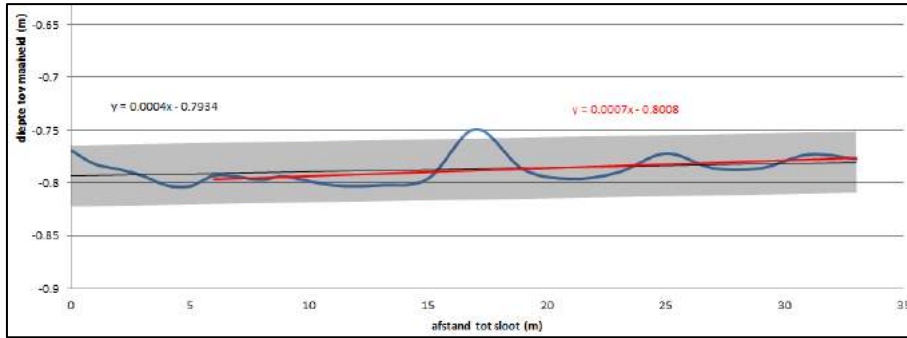
Daarnaast beschikt Alterra over apparatuur waarmee de diepteligging van geïnstalleerde drainbuizen kan worden gemeten⁵⁹. Dat blijkt geen overbodige luxe; zie ter illustratie de in september 2012 geregistreerde lengteprofielen van in veenweidegebied geïnstalleerde drains in Figuur 228 t/m Figuur 232.



Figuur 228

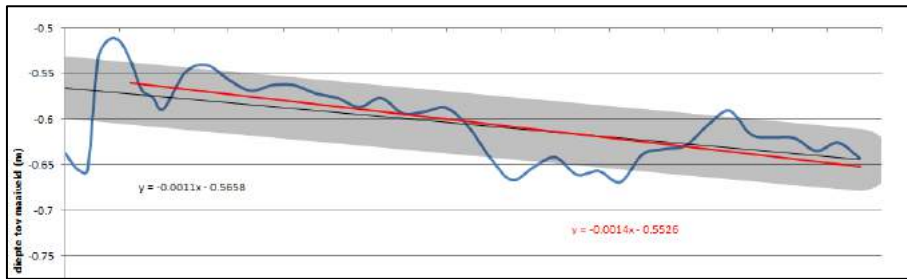
Lengteprofiel van een buisdrain die conform voorgeschreven specificaties is geïnstalleerd in de zin dat de afwijking van de verhanglijn niet groter is dan de inwendige drainstraal, in dit geval 25 mm (het grijze gebied); de drain voldoet toch niet aan de eisen omdat de verhanglijn, in tegenstelling tot het bestek, niet horizontaal loopt.

⁵⁹ Zie <http://consoil.se/>



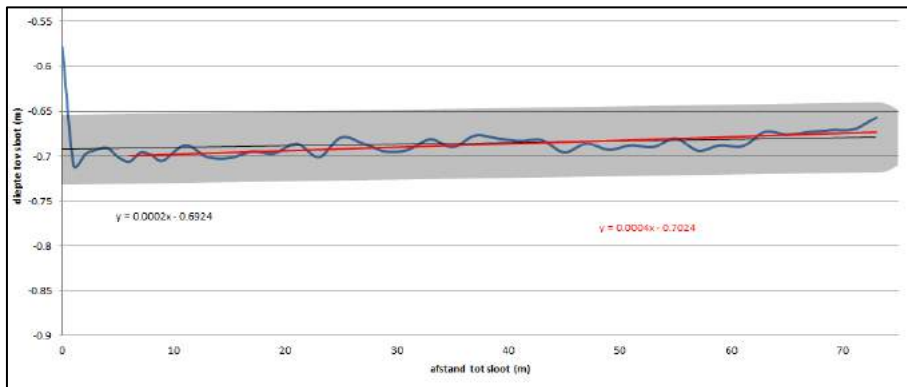
Figuur 229

Lengteprofiel van een buisdrain die niet conform voorgeschreven specificaties is geïnstalleerd omdat de afwijking van hoogteligging ten opzichte van de verhanglijn op 17 meter vanaf uitmonding in de sloot groter is dan de inwendige drainstraal; ook de drainhelling voldoet niet aan de eis van horizontale installatie.



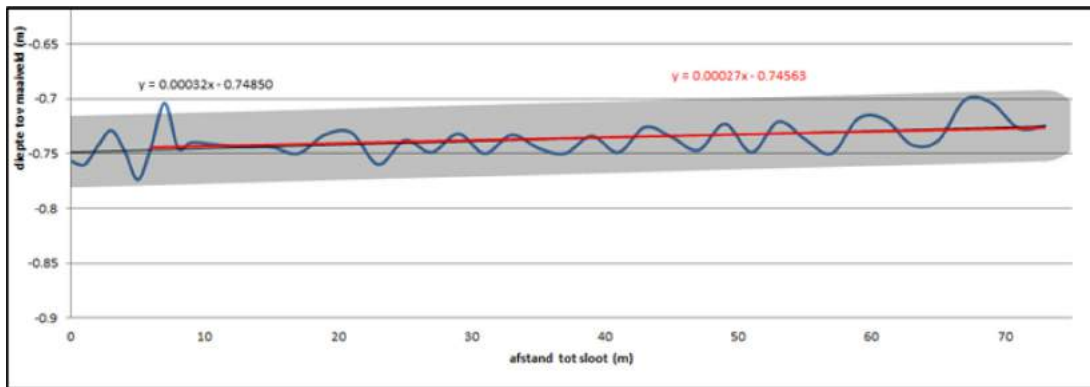
Figuur 230

Lengteprofiel van een buisdrain die in geen enkel opzicht voldoet aan de eisen van hoogteligging; bij de uitmonding in de sloot is er bij de installatie iets fout gegaan.



Figuur 231

Deze drain is, qua afwijking van de verhanglijn, erg goed geïnstalleerd, maar de eindbuis mondt te hoog uit in de sloot.



Figuur 232

Deze drain moet qua hoogteligging worden afgekeurd; de afwijkingen van de verhanglijn nemen met de afstand tot de sloot toe, afgezien van het feit dat op dit werk een horizontale verhanglijn was voorgeschreven.

Sinds kort beschikt Alterra over een 'potentiaalpriekstok' voor snelle meting van stijghoogteverschillen in het ondiepe grondwater - onder meer - in de buurt van draineerbuizen. In 1966 heeft B. Fokkens, destijds werkzaam bij Grontmij, een nieuw meetinstrument geïntroduceerd, geschikt om op elke gewenste plaats in het ondiepe bodemprofiel de grondwaterpotentiaal te meten⁶⁰. Deze zogenoemde 'potentiaalsonde' bestond uit een holle meetnaald, die in de grond gestoken wordt en een boven het maaiveld opgestelde gesloten manometer waarop de potentiaal wordt afgelezen. De manometerbuis was erg nauw, zodat voor het bereiken van een evenwichtssituatie slechts een zeer geringe waterverplaatsing nodig was. Hierdoor kon snel gemeten worden. Naast deze voordelen bleek de potentiaalsonde erg instructief. Wageningse studenten die een hydrologisch veldpracticum volgden moesten het gebruiken om de ondiepe grondwaterpotentiaal te meten. Populair was het practicumonderdeel waarin het verloop van de potentiaal werd vastgesteld in een perceelsloot volgende raai, waarbij een stuwteje werd 'gepasseerd'. Ter plekke van zo'n stuwteje kon in het ondiepe grondwater een potentiaalsprong worden vastgesteld.

Fokkens legt uit waarom hij deze potentiaalsonde ontwikkelde. Uit verschillen in de potentiaal van het (ondiepe) grondwater kunnen grondwaterstromingen worden afgeleid. Voor het analyseren van grondwaterstromingen worden 'grondwaterstandsbuizen' en 'peilbuizen' (piëzometers)⁶¹ gebruikt. In grondwaterstandsbuizen, die over de gehele lengte zijn geperforeerd, wordt de hoogte van het freatisch niveau (de grondwaterstand) gemeten. Met dit gegeven kan worden volstaan wanneer de stroming wordt bepaald door potentiaalverschillen in horizontale richting. Dit is vaak het geval bij stromingen naar draineerbuizen in homogeen doorlatende gronden.

Wanneer echter ook verticale potentiaalverschillen bij de grondwaterstroming een rol spelen - en dit is van tevoren vaak niet bekend - zijn grondwaterstandsbuizen slechts beperkt bruikbaar. Dit kan zich voordoen bij laagsgewijze verschillen in doorlatendheid van het profiel, en/of bij hoge radiale-, en intreeweerstand van drains of sloten. In dit geval moet men piëzometers gebruiken: buizen die alleen geperforeerd zijn op de plaats waar de potentiaal van het grondwater gemeten moet worden. Voorwaarde voor een exacte meting met een peilbuis is dat het boorgat, nodig voor het plaatsen van de buis, boven het geperforeerde gedeelte van de buis goed afdichtend wordt gevuld. Onder veldomstandigheden is dit vaak moeilijk te verwezenlijken.

⁶⁰ Fokkens, B., 1966. Het meten van de grondwaterpotentiaal met de potentiaalsonde. Cultuurtechnisch Tijdschrift 6 (1966/1967) nr. 3

⁶¹ <http://nl.wikipedia.org/wiki/Stijghoogte>; <http://nl.wikipedia.org/wiki/Peilbuis>

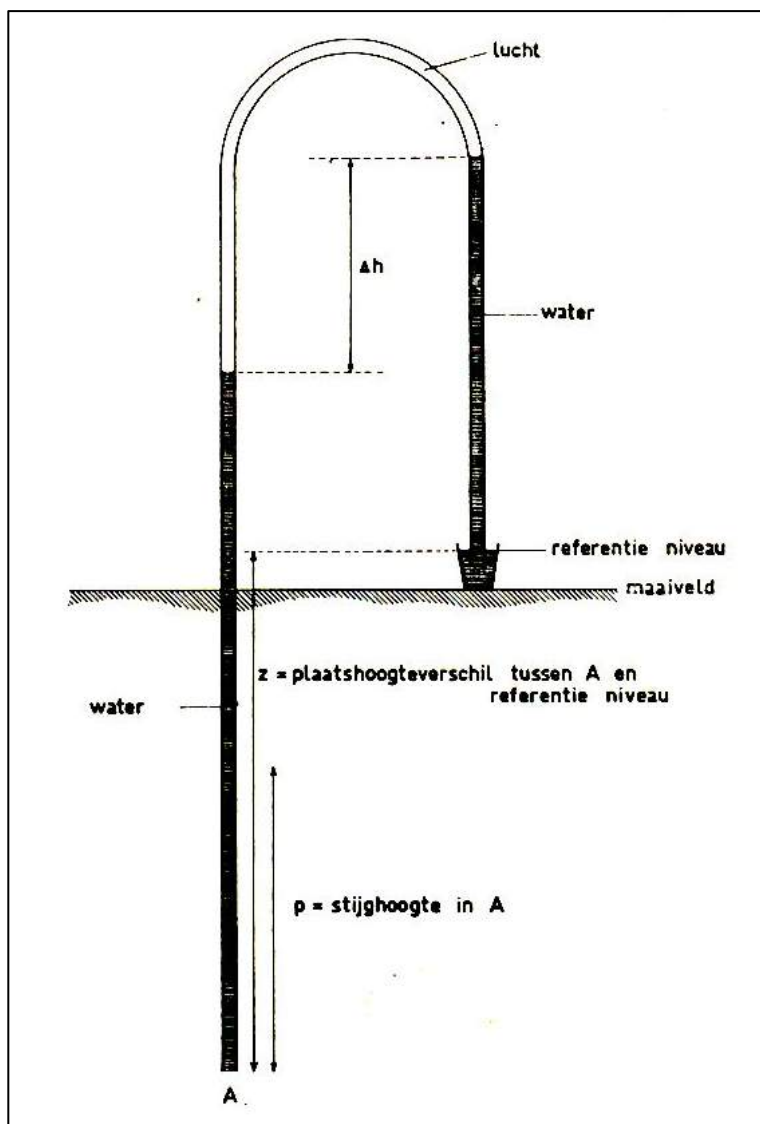
Bij het gebruik van grondwaterstandsbuizen en van piëzometers doet zich in weinig doorlatende gronden nog een tweede moeilijkheid voor. Om het peil in de buizen gemakkelijk te kunnen meten mogen deze niet te nauw zijn. De in de praktijk gebruikte kleinste diameter is ongeveer 2 cm. Dit betekent dat zowel voor het inspelen van het waterniveau in de buis als voor het volgen van potentiaalveranderingen van het grondwater een betrekkelijk grote waterverplaatsing nodig is. In slechtdoorlatende gronden kan dit betekenen dat het niveau in de buis een inspeeltijd, respectievelijk een na-ijling heeft van vele uren. In de praktijk rekent men meestal met een inspeeltijd van één etmaal. Door deze traagheidsverschijnselen kunnen principiële fouten ontstaan, bijvoorbeeld bij de studie van het verband tussen grondwaterstand, regenval en afvoer. Met de potentiaalsonde kan - zonder merkbare verstoring van het bodemprofiel - de potentiaal van het grondwater snel worden gemeten.

Voor de meting wordt een dunne, holle naald in de grond gestoken tot aan het punt waarop de grondwaterpotentiaal gemeten moet worden. Door het ontbreken van een boorgat is het probleem van de afdichting van de buis vervallen. Voor het verrichten van een meting wordt de naald met de hand tot de gewenste diepte in de grond gestoken. De verstoring van het bodemprofiel tijdens het insteken is minimaal. Om verstopping van de naald tijdens het insteken te voorkomen is deze aan de onderkant afgesloten, terwijl even boven het einde in de zijwand een opening is gemaakt. Deze opening wordt tijdens het insteken afgesloten door een beschermnaald, die om de meetnaald is aangebracht. Als de gewenste diepte is bereikt wordt alleen de meetnaald nog iets verder ingestoken, waardoor de meetopening in deze naald vrijkomt. Een plaatje op het einde van de meetnaald, ter grootte van de buitendiameter van de beschermnaald, zorgt ervoor dat tijdens deze laatste handeling een kleine ruimte in de grond ontstaat. Dit voorkomt het eventueel dichtsmen van de meetopening over dit laatste traject, terwijl ook de toestroming naar de meetopening wordt bevorderd.

De naalden zijn chroomstalen canules⁶² die in veterinaire kringen onder andere gebruikt worden als injectienaald. De buitendiameter van de meetnaald is 2 mm. De beschermnaald, die nauw om de meetnaald sluit, heeft een buitendiameter van 3 mm. De afmetingen zijn zó gekozen dat de naalden enerzijds voldoende sterk zijn, terwijl anderzijds de wrijving voldoende klein is om insteken met de hand mogelijk te maken. Over dit ontwerp is lang nagedacht. Na 45 jaar gebruik kunnen we zonder enige twijfel spreken van 'proven technology'.

In de meetnaald stelt zich nu de stijghoogte van het grondwater in. Het bovineinde van de naald was verbonden met een gesloten manometersysteem om deze stijghoogte te meten. Het principe is weergegeven in Figuur 233. De manometer bestond uit een omgekeerde U-buis met hierin een luchtbel. Het ene been van de manometer was verbonden met de meetnaald; het andere been mondde onder water uit, in een op het maaiveld geplaatst bakje.

⁶² Een canule is een medisch hulpmiddel: een buisje om inspuitingen te doen, wonden open te houden, beademing mogelijk te maken e.d.



Figuur 233

Principe van het meten van de potentiaal van het ondiepe grondwater met meetnaald en gesloten manometersysteem.

Volgens de manometeraflezing is het potentiaalverschil tussen het water in het bakje en het grondwater in het meetpunt $A = \Delta h$. Kiezen we als referentieniveau het waterniveau in het bakje dan is dus de grondwaterpotentiaal in A: $\phi_A = -\Delta h$. Tevens geldt dan $\phi_A = p - z$, waarin p de stijghoogte in A is, en z het plaatshoogteverschil tussen A en het referentieniveau. Hieruit volgt voor de stijghoogte in A: $p = z - \Delta h$. De waarde van z is bekend uit de insteekdiepte van de naald en de waterdiepte in het bakje en Δh kan op de manometer worden afgelezen.

In de praktijk wordt de potentiaal van het grondwater meestal uitgedrukt in de stijghoogte ten opzichte van het maaiveld (y). Wanneer de opstelling zó wordt ingericht dat het referentieniveau gelijk is aan het maaiveld, dan geldt $y = z - p = \Delta h$. De lengte van de manometer bepaalt het meetbereik: is deze één meter dan is de te meten stijghoogte ten opzichte van het maaiveld: $y_{\max.} = \pm 1$ m.

In de winter van 1965/66 zijn een twintigtal potentiaalsondes in de praktijk gebruikt. Hieronder volgen enkele voorbeelden van het gebruik.

a. Op een gedraineerd sportterrein komt, midden tussen twee drains, ernstige plasvorming voor. De vraag is dan: is de toestroming naar de drains onvoldoende of zijn de drains of de stootvoegen (kleibuizen) verstopt? Na bepaling van de ligging van een drain wordt de naald van een potentiaalsonde boven de drain in de grond gestoken tot deze de drain raakt. Binnen één minuut na opening wijst de manometer een potentiaal aan van 67 cm beneden het maaiveld (de naald staat in het omhullingsmateriaal van de drain). De draandiepte bedraagt 75 cm. Conclusie: verstopping van de drains of de stootvoegen is niet de beperkende factor bij de ontwatering. Kennelijk is daarom sprake van verslamping en schijngrondwaterspiegels.

b. Ook op een ander terrein is sprake van plasvorming. Onder een plas worden op verschillende diepten beneden het maaiveld naalden geplaatst. Na twee uur wordt in het profiel het in Tabel 38 gegeven potentiaalverval gemeten.

Tabel 38

Verticaal potentiaalverval onder een 3 cm diepe plas op een sportterrein in een profiel met slechtdoorlatende laag tussen 25 en 70 cm beneden maaiveld, gemeten met de potentiaalsonde.

diepte beneden maaiveld (cm)	stijghoogte t.o.v. maaiveld (cm)	bodemlaag (cm)	potentiaalverval (cm)
0	+3		
5	+1	0 - 5	40
15	-2	5-15	30
25	-3,5	15-25	15
70	-46	25-70	94

Het potentiaalverval (de hydraulische gradiënt) was het grootst tussen 0,25 en 0,70 m beneden het maaiveld, en conclusie luidt dat hier een zeer slechtdoorlatende laag voorkomt. De doorlatendheid van de bovenlaag is ook iets kleiner dan die van de hieronder gelegen laag.

c. Een gediëpploegde kavel is steeds zeer nat. Met de potentiaalsonde werd na een uur het in tabel 2 gegeven verticale potentiaalverval gemeten. Geconcludeerd werd dat de doorlatendheid van het gehele profiel van 0,25 tot 0,90 m beneden maaiveld zeer laag is (Tabel 39).

Tabel 39

Verticaal potentiaalverval in een gediëpploegd profiel, gemeten met de potentiaalsonde.

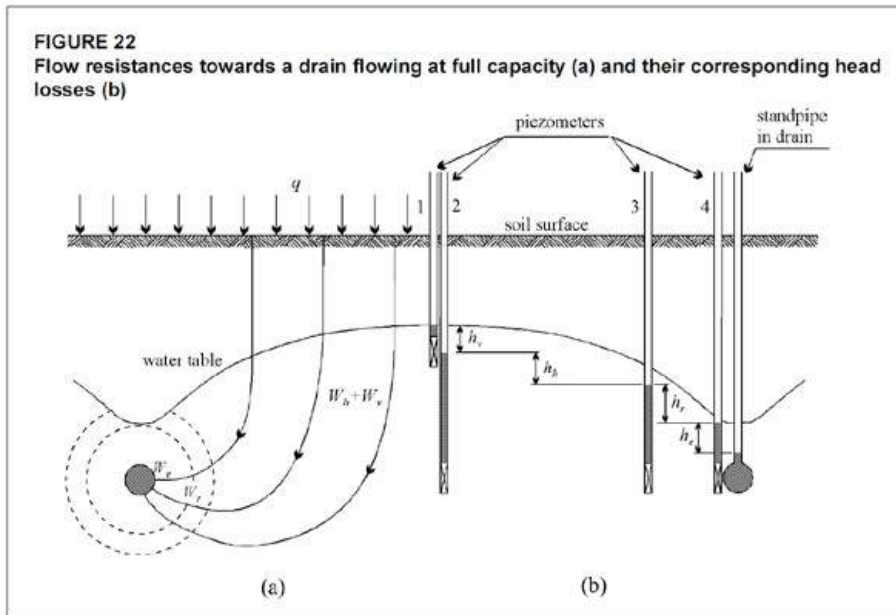
diepte beneden maaiveld (cm)	stijghoogte t.o.v. maaiveld (cm)	bodemlaag (cm)	potentiaalverval (cm)
25	22		
50	42	25-50	80
90	65	50-90	58

Behalve in de hier genoemde gevallen is de potentiaalsonde gebruikt voor het meten van de intreeweerstand van sloten en van de uittreeweerstand (verslibbing van de bodem) van infiltratievijvers voor afwater.

De potentiaalsonde kent ook nadelen. In gescheurde of verbrokkelde kleigronden is de kleine meetopening van de naald een bezwaar. Voor de traagheid van de meting maakt het namelijk een groot verschil of de

meetopening al dan niet in contact staat met een macroporie. In zand- en siltgronden, veengronden en ongerijpte kleigronden treedt deze moeilijkheid niet op.

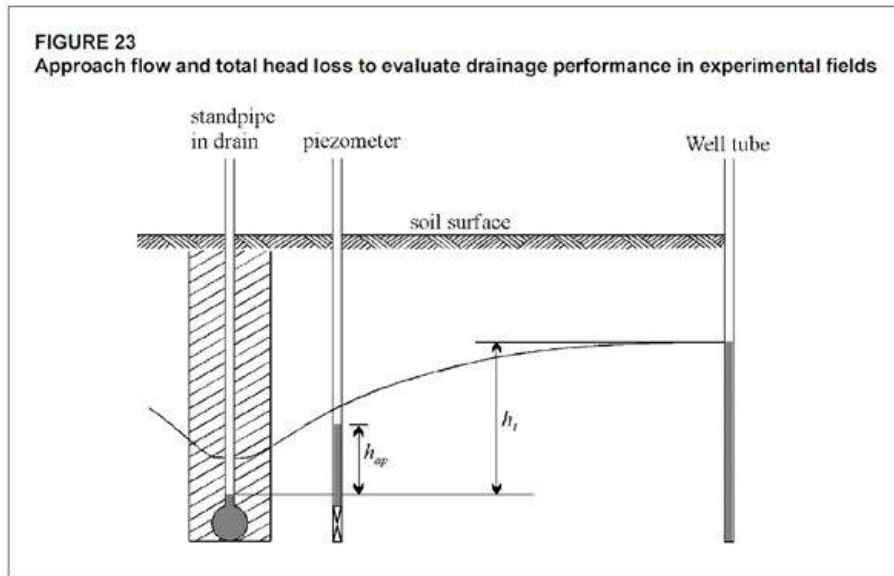
Bij diverse drainage veldproeven die de afgelopen jaren (2010-2012) zijn gedaan is geregeld de behoefte gevoeld aan een mogelijkheid om de werking van de drainage 'on te spot' en snel te kunnen controleren. De werking kan worden vastgesteld door het meten van de stijghoogte in de onmiddellijke nabijheid van draineerbuizen. Een goed werkend drainagesysteem wordt gekenmerkt door een verloop van de freatische grondwaterspiegel, en de bijbehorende stijghoogten van het grondwater, als getoond in Figuur 234.



Figuur 234

Stromingsweerstand bij een volstromende drain, en de bijbehorende stijghoogteverliezen (Bron: Stuyt et al., 2007: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/ldp60.pdf>).

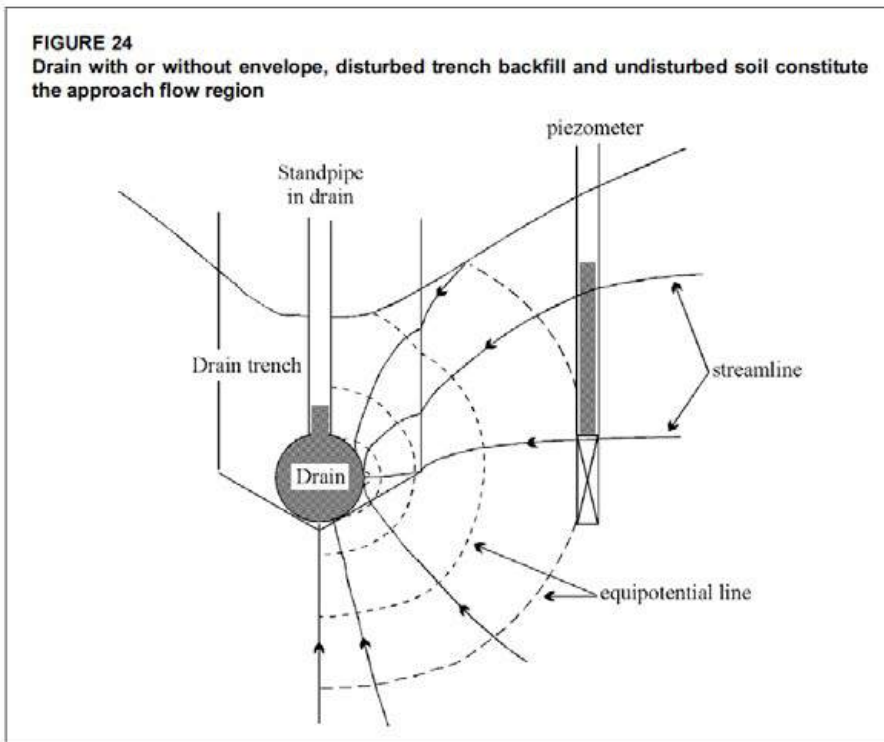
Het verloop van de stijghoogte van het grondwater in de onmiddellijke nabijheid van een werkende drain geeft veel informatie over de waterbeweging ter plekke, en daarmee van de drainwerking. Bij een goedwerkende drain is het verschil in stijghoogte in de drain en vlak daarbuiten beperkt, dat wil zeggen enkele centimeters; zie Figuur 235 en Figuur 236.



Figuur 235

Radiale stroming naar een volstromende draineerbuis en verloop van de bijbehorende stijghoogte van het grondwater (Bron: Stuyt et al., 2007: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp60.pdf>).

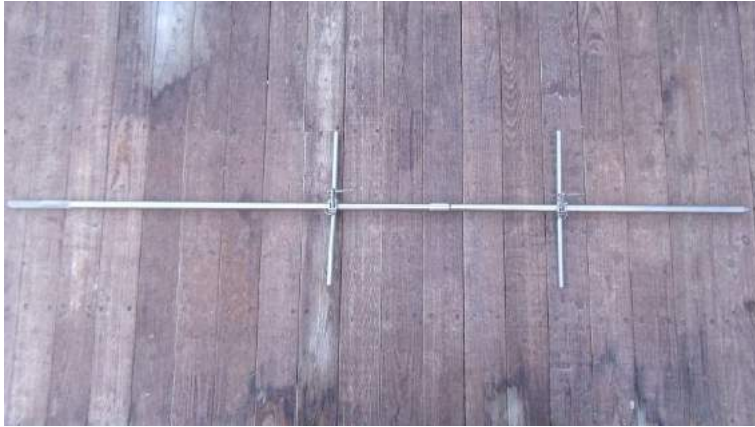
Als dit verschil veel groter is - bijvoorbeeld meer dan 20 centimeter - wordt gesproken van een hoge intreeweerstand. Als een drainage wordt gebruikt voor ondergrondse infiltratiedoeleinden moet het stijghoogteverschil, dat in zulke gevallen in de buis hoger is dan daarbuiten, eveneens niet te groot zijn. Met behulp van een potentiaalnaald conform het concept van Fokkens c.s. kan dit soort verschijnselen snel worden vastgesteld.



Figuur 236

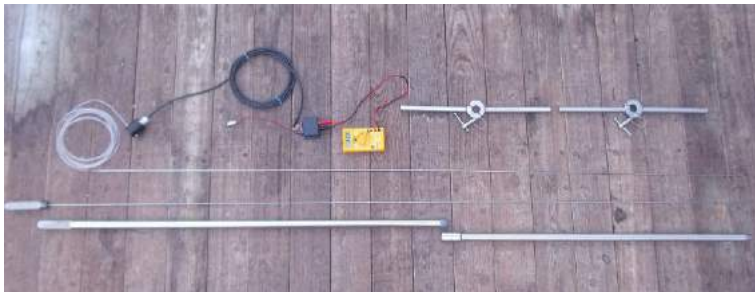
Gedetailleerd stromingsbeeld nabij een draineerbuis; van de werking wordt een goede indruk verkregen door meting van het verschil in stijghoogte tussen het inwendige van de drain en die vlakbij de buis (Bron: Stuyt et al., 2007: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp60.pdf>).

In het kader van diverse drainageprojecten die in 2011 in uitvoering waren is besloten de potentiaalpriekstok van Fokkens c.s. uit 1966 te herintroduceren, zij het in verbeterde vorm. De verbeteringen betreffen faciliteiten voor het inbrengen van de naald, die nu bijna twee keer zo lang is: 190 cm. Daarnaast wordt voor de registratie van de stijghoogte van het grondwater gebruik gemaakt van een digitale drukopnemer met bijbehorende datalogger, en is de meetnaald tijdens de meting gevuld met lucht in plaats van met water. De nieuwe priekstok werd in 2011/2012 gaandeweg ontwikkeld.



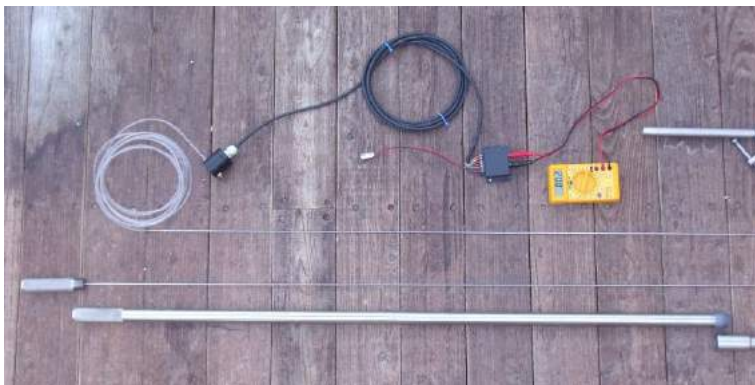
Figuur 237

Geassembleerde prikstok, met twee verplaatsbare hand/voetsteunen voor het (tot 100 cm diep) inbrengen in de grond van het onderste gedeelte van de op deze foto zichtbare geleidebuis (i.c. tot aan de verdikking).



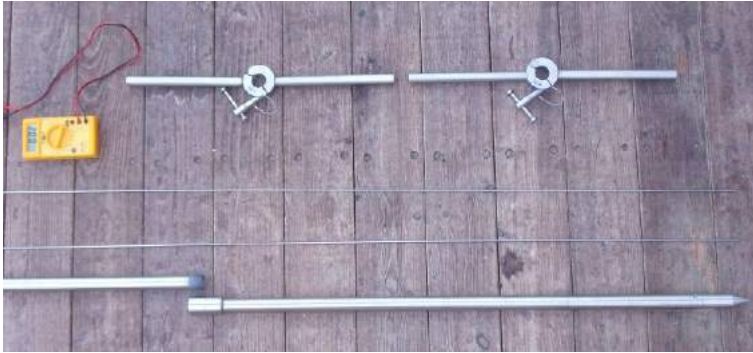
Figuur 238

Prikstok deels gedemonteerd, met experimentele analoge drukopnemer en digitale voltmeter, die in een latere ontwikkelingsfase uiteindelijk vervangen zouden worden door een digitale drukopnemer en een 'Metrolog' datalogger.



Figuur 239

Deels gedemonteerd; detail links van Figuur 238; bovenste helft van de prikstok met Ø 2,9 mm dummy naald (ten behoeve van vóórprikken) en Ø 3 mm meetnaald.



Figuur 240

Gedemonteerd; detail rechts van Figuur 238; onderste helft van de prikstok met $\varnothing 2,9$ mm dummy naald (vóór prikken) en $\varnothing 3$ mm meetnaald.



Figuur 241

Onderste gedeelte van de geleidebuis gedemonteerd, waarbij de interne geleidebuis voor de meetnaald zichtbaar is



Figuur 242

Detail van de $\varnothing 25,4$ mm mantelbuis (links), de $\varnothing 3 - \varnothing 2$ mm meetnaald (dubbel, hol) en $\varnothing 2,9$ mm massieve naald om vóór te prikken (rechts).



Figuur 243

Detail van de onderzijde van de $\varnothing 25,4$ mm mantelbuis (links), de $\varnothing 3 - \varnothing 2$ mm meetnaald (dubbel, hol) en $\varnothing 2,9$ mm massieve naald om vóór te prikken.



Figuur 244

Detail van het handvat/houder bovenop de prikstok met de $\varnothing 2,9$ mm massieve naald om vóór te prikken.

De ontwikkeling van het instrument werd eind december 2012 afgerond met het programmeren en testen van de Metrolog datalogger. Vandaar dat aan het eind van deze fotoserie nog geen meetresultaten worden getoond; de eerste veldexperimenten zijn voorzien rond het moment van het beschikbaar komen van dit rapport, in het voorjaar van 2013.

De procedure voor het inbrengen van de meetnaald, tenslotte, wordt geïllustreerd aan de hand van Figuur 245 tot en met Figuur 250.



Figuur 245

Met een \varnothing 28 mm Eijkelkamp grondboor wordt 'een gaatje geprikt' tot 1 m diepte, om de mantelbuis te kunnen plaatsen.



Figuur 246

Het onderste gedeelte van de mantelbuis (1 meter lang) wordt in het boorgat geplaatst en stevig aangedrukt.



Figuur 247

Na verwijdering van de bovenste helft van de mantelbuis wordt de \varnothing 2,9 mm massieve 'vóórpríknaald' met behulp van een titanium hulpstuk (twee handvaten) tot de gewenste meetdiepte in de grond gedrukt. Bij 'zachte' gronden kan deze naald met behulp van het massieve, cilindervormige handvat bovenop, al draaiende de grond in worden gedrukt, maar dit lukt meestal niet. Bij de meeste grond(lag)en moet de massieve naald met behulp van het handvat in stapjes van 2 à 5 cm verder naar beneden worden gedrukt; dit lukt vrijwel altijd.



Figuur 248

De \varnothing 2,9 mm massieve 'vóórpríknaald' is over de volledige lengte (190 cm) in de grond gedrukt en wordt weer verwijderd. Nu kan de veel kwetsbaarder \varnothing 3 mm meetnaald ('canule') gemakkelijk met de hand worden ingebracht. Vóór het inbrengen van de meetnaald is deze met behulp van een handpomp ontvlucht.



Figuur 249

De \varnothing 3 mm meetnaaldnaald is al een heel eind gevorderd. Om verstopping van de naald tijdens het insteken te voorkomen is deze aan de onderkant afgesloten, terwijl even boven het einde in de zijwand een opening is gemaakt; zie Figuur 242 en Figuur 243. Deze opening wordt tijdens het insteken afgesloten door een beschermnaald, die om de meetnaald is aangebracht. Wanneer de gewenste diepte is bereikt wordt alleen de meetnaald nog iets verder ingestoken, waardoor de meetopening in deze naald vrijkomt. Een plaatje op het einde van de meetnaald, ter grootte van de buitendiameter van de beschermnaald, zorgt ervoor dat tijdens deze laatste handeling een kleine ruimte in de grond ontstaat. Dit voorkomt het eventueel dichtsmen van de meetopening over dit laatste traject, terwijl tevens de toestroming naar de meetopening wordt bevorderd.



Figuur 250

De \varnothing 3 mm meetnaald heeft de maximale diepte bereikt (190 cm); tijdens een meting is de bovenkant met een luchtslangetje aangesloten op een Keller drukopnemer en een 'Metrolog' Datalogger (op deze foto niet aangesloten).



KELLER

HIGHLY PRECISE (0,01%) PRESSURE TRANSMITTERS
MATHEMATICALLY COMPENSATED / PROGRAMMABLE

Digital Output of Transmitter

This high precision of 0,01 %FS is available as an option (the standard Series 33 X has an accuracy of 0,05 %FS). These Series are based on the stable, floating piezoresistive transducer and the newly developed XEMCS micro-processor with integrated 16 bit A/D converter. Temperature dependencies and non-linearities of the sensor are mathematically compensated. With the READ30 software and the KELLER cable K-107, the calculated pressure can be displayed on a Laptop or PC. The READ 30 software also allows the recording of pressure signals and the graphic display on the PC. Up to 128 transmitters can be hooked together to a Bus-system.

SERIES 33 X
SERIES 35 X



Series 33 X
G 1/4" thread

Figuur 251

De gebruikte digitale druktransmitter van de Zwitserse fabrikant Keller. Deze transmitter registreert ten opzichte van de actuele atmosferische druk. Een inventarisatie van KWR in opdracht van de provincie Overijssel bracht aan het licht dat hierbij structurele fouten kunnen worden geïntroduceerd; correctie met de KNMI-reeksen geeft aanzienlijke verbetering (Meij, T. de en Asmuth, J. von. 2011)⁶³.

63 Meij, T. de, en Asmuth, J. von. 2011. Correctie van eigen luchtdrukmetingen is noodzakelijk. H20 / 4 2011.



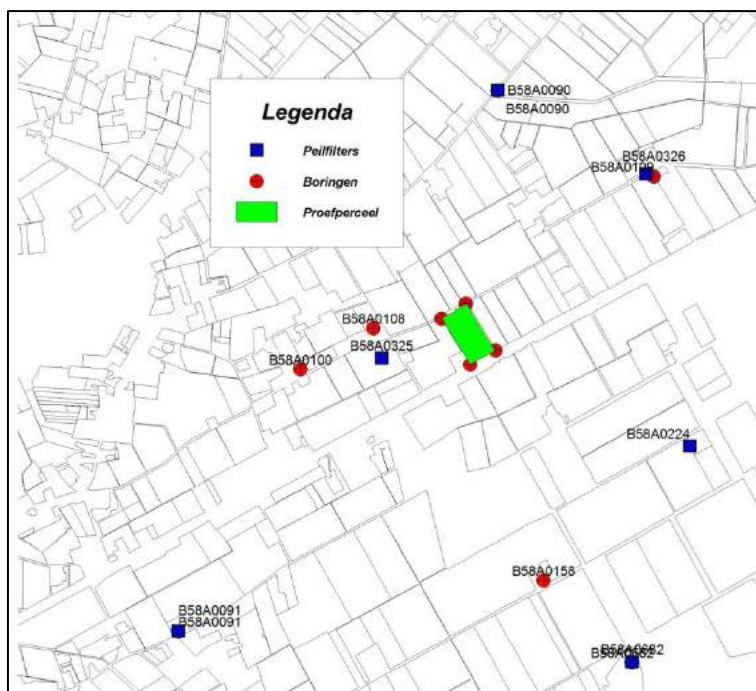
Figuur 252

De 'Metrolog' datalogger van de Zweedse fabrikant Geometrik.

Bijlage 8 Kwel-wegzijingssituatie in Ospel

Auteur(s): H.T.L. Massop (Alterra)

Voor het opstellen van de waterbalans bij de veldproef te Ospel is het belangrijk goed inzicht te hebben in de kwel- en wegzijingssituatie. Deze is, aan de hand van onderstaande analyse, vastgesteld. In Figuur 253 is de locatie van het proefperceel weergegeven. Via het Dinoloket zijn boringen en grondwatermeetpunten geïnventariseerd. Deze zijn ook weergegeven in Figuur 253.

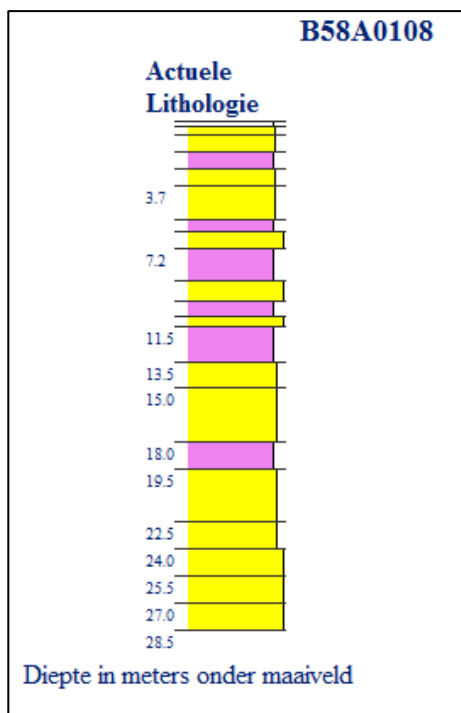


Figuur 253

Locatie proefperceel en boringen en peilputten in de omgeving van het proefperceel.

Opbouw van de ondergrond- Boring B58A0108 ligt het dichtst bij het proefperceel. In Figuur 254 is de opbouw van de ondergrond ten opzichte van het ten opzichte van het maaiveld weergegeven. In deze boring komen meerdere leemlagen voor:

- 1,75 - 2,7 m leem, grijs, bijmenging sterk zandig
- 5,2 - 6,2 m leem, geel-grijs, bijmenging zandig, korrelgrootte fijne categorie
- 7,2 - 9 m leem, grijs
- 10,1 - 11 m leem, grijs
- 11,5 - 13,1 m leem, grijs, bijmenging matig zandig, korrelgrootte grove categorie
- 18 - 19,5 m leem, grijs, bijmenging zandig, korrelgrootte fijne categorie



Figuur 254

Opbouw van de ondergrond ter plekke van boring B58A018.

Van de boringen 100, 158 en 109 zijn hieronder alleen de ondiepste leemlagen weergegeven:

B58A0100

- 1,5 - 2,5 m leem, grijs bijmenging zandig
- 3,8 - 4,5 m -mv leem, grijs, bijmenging siltig/zand.

B58A0158

- 1,4 - 1,7 m leem, grijs
- 1,7 - 2,0 m leem, grijs, bijmenging zwak zandig
- 2,0 - 3,35 m leem, grijs, bijmenging sterk zandig
- 7,4 - 8,7 m leem, grijs, bijmenging sterk zandig

B58A0109

- 3,1 - 4,0 m leem, grijs, bijmenging matig zandig
- 9,0 - 10,5 m leem, grijs, bijmenging sterk zandig
- 10,5 - 13,0 m leem, grijs

In alle boringen komen meerdere leemlagen voor. De bovenkant van de leemlaag in drie boringen varieert van 1,4 - 1,75; in de 4e boring ligt de bovenkant op 3,1 m -mv. In het perceel ligt de top van de leemlaag tussen de 1,0 en 1,75 m beneden het maaiveld. De dikte van de leemlaag, vastgesteld op basis van de boringen varieert tussen 0,9 en 1,95 m. De dikte van de leemlaag op het onderzoeksperceel is niet te schatten omdat niet door de leemlaag is geboord.

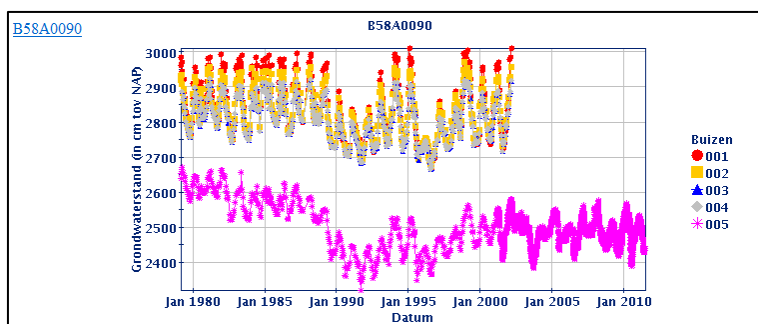
Stijghoogten - In de directe omgeving van de vlootproef te Ospel worden op zeven locaties grondwaterstanden worden gemeten. Locatie B58A0090 heeft vijf peilfilters (Tabel 40).

Tabel 40

Diepten van de peilfilters in grondwaterstandsbuizen in de omgeving van proeflocatie Ospel.

	niveau t.o.v. NAP (m)
Maaiveld	30,6
Filter 1	27,2 tot 26,2
Filter 2	23,4 tot 22,4
Filter 3	-2,6 tot -4,6
Filter 4	-22,6 tot -24,6
Filter 5	-136,6 tot -139,6

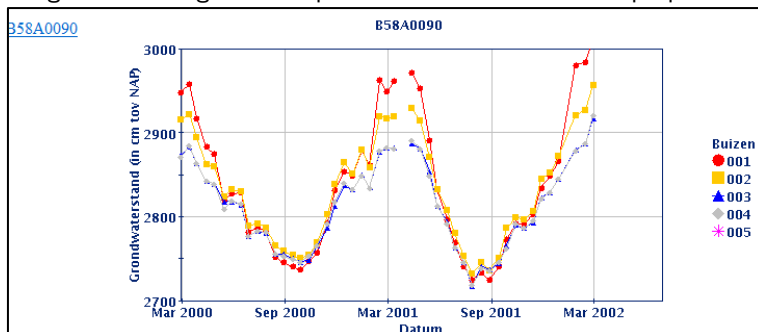
In Figuur 255 zijn stijghoogten weergegeven, die van 1980 tot na 2010 in de vijf peilfilters werden geregistreerd. Uit de stijghoogte blijkt dat er structureel sprake is van wegzijging van grondwater het diepere lagen.



Figuur 255

Stijghoogtemetingen in vijf filters van peilput B58A0090.

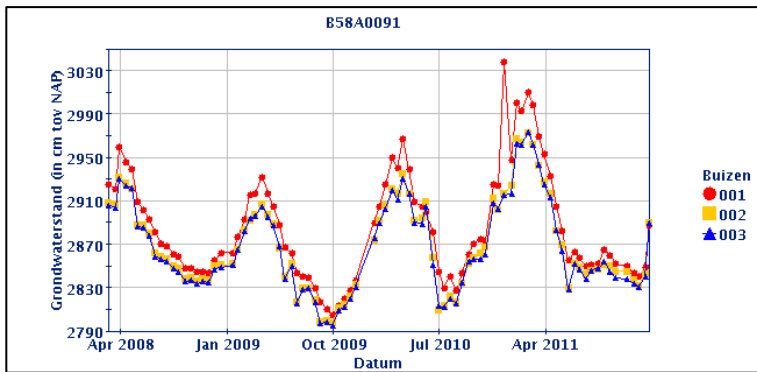
In Figuur 256 is ingezoomd op de bovenste drie filters van peilput B58A0090.



Figuur 256

Stijghoogtemetingen van het grondwater in de bovenste drie filters van peilput B58A0090.

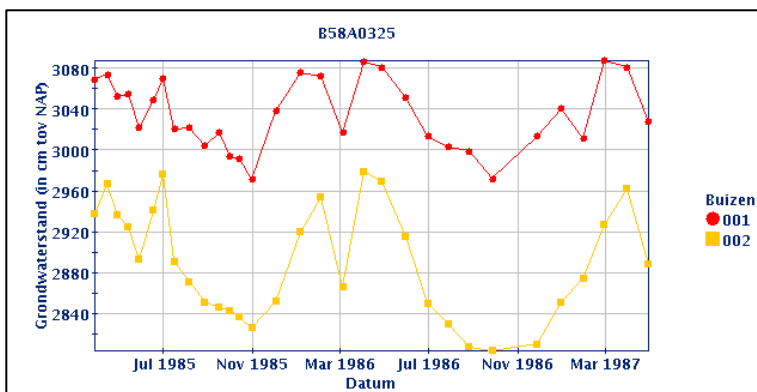
Op deze locatie zien we dat het stijghoogteverschil het grootst is in de winter; dit kan dan oplopen tot meer dan 0,5 m. In de zomer verdwijnt het drukverschil en ontstaat een zeer lichte mate een kwelsituatie. Een vergelijkbaar beeld zien we voor locatie B58A0091 (Figuur 257); hier is in de zomer echter geen sprake van een kwelsituatie.



Figuur 257

Stijghoogtemetingen in drie filters van peilput B58A0091.

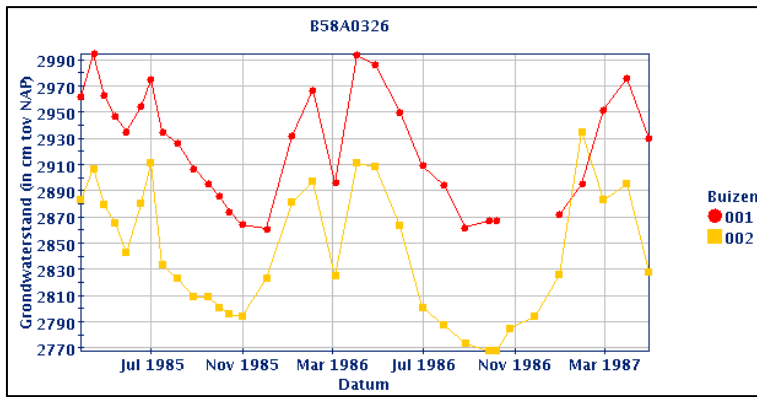
Locatie B58A0325 ligt het dichtst bij het proefperceel. Op deze locatie wordt een groot potentiaalverschil gevonden tussen het filter op circa 30 m +NAP en het filter op circa 5 m +NAP. Het drukverschil varieert tussen de 0,5 en 1,5 m; zie Figuur 258.



Figuur 258

Buis B58A0325 met filter 1 op ca. 30, en filter 2 op ca. 5 m +NAP.

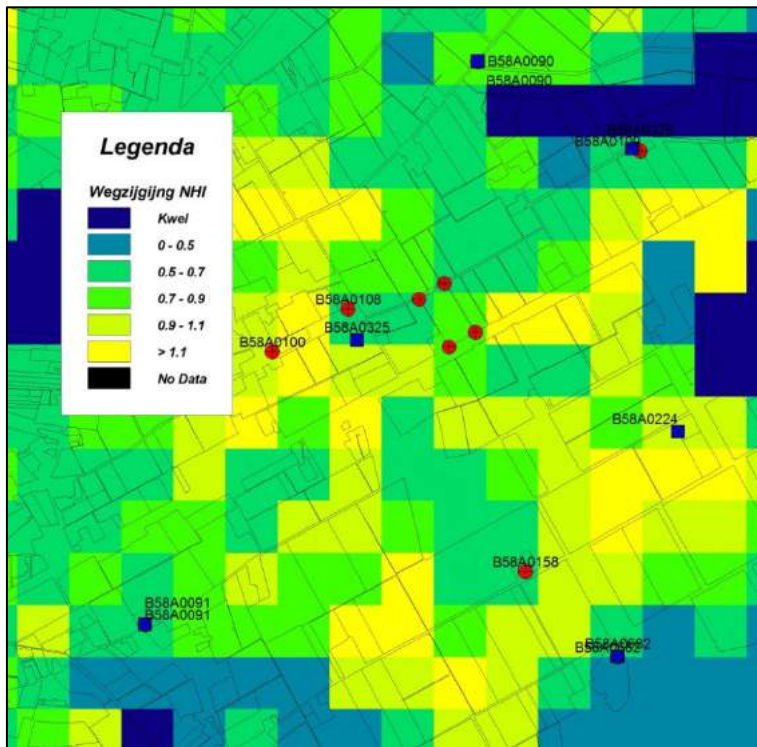
Locatie B58A0326 ligt op wat grotere afstand van het proefperceel. Op deze locatie wordt eveneens een groot potentiaalverschil gevonden tussen het filter op ca. 28 m +NAP en het filter op ca. 5 m +NAP. Het drukverschil varieert tussen de 0,5 en 0,9 m; zie Figuur 259.



Figuur 259

Buis B58A0326 met filter 1 op ca. 28, en filter 2 op ca. 5 m +NAP.

Uit analyse van deze stijghoogtegegevens blijkt dat ter plaatse van het proefperceel duidelijk sprake is van wegzijging van het grondwater. Met het NHI wordt voor deze omgeving een wegzijging berekend voor het perceel van 1 mm/d. Uit de modelberekeningen kan worden afgeleid dat het grootste deel van het neerslagoverschot via wegzijging regionaal wordt afgevoerd. In Figuur 260 is de berekende wegzijging met NHI weergegeven.



Figuur 260

Kwel/wegzijgingskaart berekend met het NHI (Nederlands Hydrologisch Instrumentarium).

Bijlage 9 Laboratoriumanalyses bodem en water project 'Stikstof op het juiste peil'

Auteur: L.C.P.M. Stuyt

Eind 2007 zijn in West-Brabant drie percelen (één klei en twee zand) met bestaande drainage gedeeltelijk omgebouwd naar regelbare drainage. Hiervoor is bij een gedeelte van het perceel een verzamleiding aangelegd en aangesloten op een verzamelput om het peil op te kunnen zetten. Doel was een beeld te krijgen van de mogelijkheid om met regelbare drainage een besparing te behalen van de uitspoeling van vooral stikstof via de drainage naar het oppervlaktewater. Uit de resultaten blijkt dat er voor de uitspoeling van N een behoorlijke reductie lijkt te worden gehaald ten opzichte van de gangbare drainage. Dit voordeel kan oplopen tot wel 30%. Deze praktijkdemo valt binnen het project 'Stikstof op het juiste peil'.

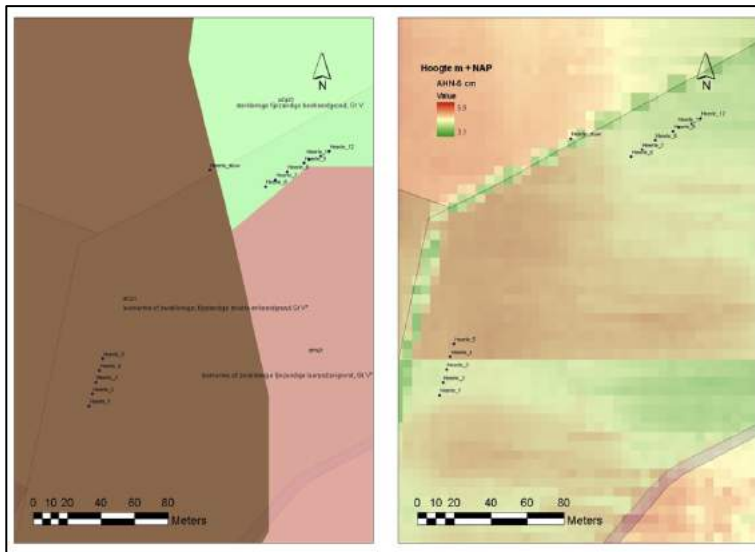
Analyses grondmonsters en drainagewater Hieronder wordt een verzameling kwaliteitsmetingen gepresenteerd, voor bodem en drainwaterkwaliteit van de afgelopen periode op de drie proeflocaties. De fosfaattoestand (0-30 cm -mv) van het perceel in Heerle is vrij hoog, in Moerstraten en Rilland voldoende. Er is een groter verschil in de P-toestand van de ondergrond (30-60 cm -mv): respectievelijk voldoende, laag en ruim voldoende. Nitrietwaarden zijn laag, op een enkele uitschieter na. Ammonium is in Heerle nihil; in Moerstraten worden lage waarden gevonden, ongeveer 0,3 mg.l⁻¹ voor conventionele drainage en 0,15 mg.l⁻¹ voor samengestelde, regelbare drainage en in Rilland ongeveer 1,5 en 0,5 mg.l⁻¹. In bijna alle gevallen zijn de ammoniumgehalten in samengestelde, regelbare drainagesystemen lager dan bij conventionele systemen.

In Heerle is NKjeldahl (organisch N plus ammonium-N) gemiddeld ongeveer 3 mg.l⁻¹, bij samengestelde, regelbare drainagesystemen iets hoger dan normaal, maar waarschijnlijk niet significant. Voor Moerstraten en Rilland zijn deze cijfers (nog) niet beschikbaar.

Nitraat is gemiddeld ongeveer 15 mg.l⁻¹ in Heerle, ongeveer 7,5 in Moerstraten en ongeveer 0,5 in Rilland. Alleen in Heerle is het nitraatgehalte bij samengestelde, regelbare drainage consequent lager dan normaal, in Moerstraten slechts twee van de zeven metingen en in Rilland ligt het nitraatgehalte bij samengestelde, regelbare drainage consequent hoger dan normaal, maar in dit laatste geval is het nitraatgehalte al erg laag, dus maakt het weinig uit.

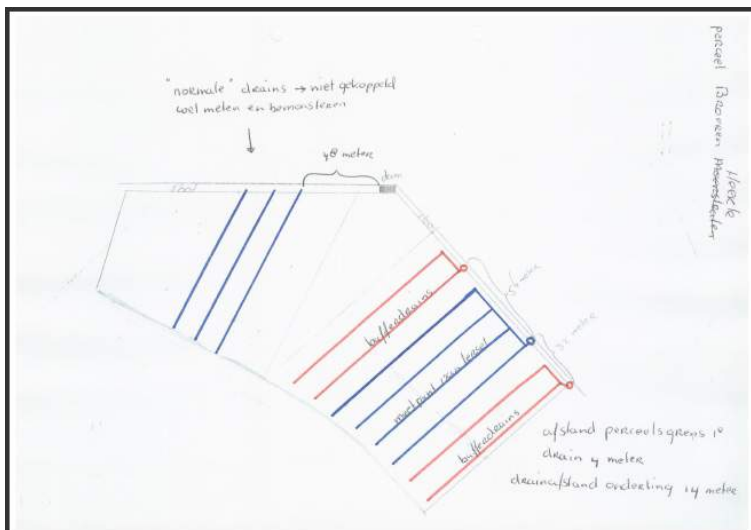
Ortho-P in drainwater is in Heerle, op één geval na <0,05 mg.l⁻¹, maar dit ene geval is onbetrouwbaar omdat totaal-P op dezelfde datum (3 december 2008) veel lager is dan ortho-P. De concentratie bij samengestelde, regelbare drainage ligt consequent iets hoger, maar blijft laag. Totaal-P is niet veel hoger en er is geen duidelijk verschil tussen conventionele en samengestelde, regelbare drainage. Ook in Moerstraten zijn ortho-P en totaal-P laag, er is één vreemde uitschieter op 14 november 2008, die overigens wel overeenkomt met de uitschieter in droge bestanddelen. In Rilland liggen de meeste totaal-P gehalten van normaal drainwater boven de 0,05 mg.l⁻¹, de gehalten bij samengestelde, regelbare drainage liggen duidelijk en consequent lager. Dit beeld is dus omgekeerd ten opzichte van Heerle. Voor een verklaring hiervan zou in eerste instantie naar de grondwaterstanden moeten worden gekeken, en vervolgens naar de bodem (P-toestand ondergrond Rilland > Heerle).

Proeflocatie Heerle



Figuur 261

Proeflocatie 'Heerle': bodemkaart (links) en maaiveldhoogtekaart (rechts).



Figuur 262

Proeflocatie 'Heerle': lay-out van de drainagesystemen.

Op 22 oktober 2008 werd proeflocatie Heerle bezocht; zie fFiguur 263 en Figuur 264.



Figuur 263
Veldbezoek proeflocatie 'Heerle' dd. 22 oktober 2008 (1).



Figuur 264
Veldbezoek proeflocatie 'Heerle' dd. 22 oktober 2008 (2).

Grondonderzoek: Bouwland

Waterschap Brabantse Delta

Broeren P.J.M.

Rapportnummer: 00059159_240385

Herelsestraat 168
4726 ST Heerle

Perceelsbenaming : Broeren Normaal (0-30 cm)

Analyse	Laboratoriumnummer: 09A4236D	Bemonsteringsdiepte: 0 - 30 cm
	Datum monstername: 06-03-09	Geadviseerde diepte: 0 - 25 cm
	Monstername: door Lab ZVL (585)	Datum ontvangst: 10-03-09
	Grondsoort: dekzand	Pagina: 1 van 1

Resultaat	pH-KCl	Magnesium MgO	Fosfaat Pw-getal	Fosfaat P-AI	Kali K-getal	Kali K-HCl	Silb	Org.stof	Koolzure kalk
Resultaat									
Waardering									
Streetsgetal									

Organische stof, koolzure kalk, silb (a/sltbaarheid) in % van droge grond, K-HCl in mg K2O en P-AI in mg P2O5/ 100 gram droge grond, magnesium in mg MgO/ kg droge grond, Pw-getal in mg P2O5/ ha/ droge grond.

Advies	in kg zilvere meststof per ha		Fosfaat (P2O5)		Kali (K2O)	
	Pw-getal	getal	gevonden	streef- getal	gevonden	streef- getal
Consumptie-, pootaardappelen, uien, groentegewassen			45	120		
Fabriek- en industriële aardappelen, spruitkool			45	120		
Bonen (als fosfaat-rijenbemesting), erwten (breedwerpig)			45	120		
Suiker- en zaadbieten, vlas, kanwi			0	90		
Voederbieten			0	90		
Grassen (geen gerst), zadenrijgewassen			0	20		
Gerst			0	55		
Mais (bij fosfaat-rijenbemesting de halve hoeveelheid)			45	120		
Wieraf			45	120		
Om gevonden bemestingstoestand naar de streefwaarde te brengen			0			

Magnesiumbemesting (MgO)				
Bouwplan	Street-pH	reparatiebekalving	onderhoudsbekalving	totale kalkgift (4 j.)
50% aardappelen - 0% bieten				
20% tot 40% aardappelen - 0% bieten				
25% tot 60% aardappelen - 16% tot 25% bieten				
0% tot 33% aardappelen - 20% tot 33% bieten				

Resultaat	Koper (Cu)	Mangaan (Mn)	Borium (B)	Zink (Zn)
Analyseresultaat				
Streettraject				
Waardering				
Bemesting (kg/ ha)				

Graauw, 30-03-09 Ing. J.C. Heijens (directeur)

Grondonderzoek: Bouwland

Waterschap Brabantse Delta

Broeren P.J.M.

Rapportnummer: 00059159_240386

Herelsestraat 168
4726 ST Heerle

Perceelsbenaming : Broeren Normaal (30-60 cm)

Analyse	Laboratoriumnummer: 09A4237D	Bemonsteringsdiepte: 0 - 30 cm
	Datum monstername: 06-03-09	Geadviseerde diepte: 0 - 25 cm
	Monstername: door Lab ZVL (585)	Datum ontvangst: 10-03-09
	Grondsoort: dekzand	Pagina: 1 van 1

Resultaat	pH-KCl	Magnesium MgO	Fosfaat Pw-getal	Fosfaat P-AI	Kali K-getal	Kali K-HCl	Silb	Org.stof	Koolzure kalk
Resultaat									
Waardering									
Streetsgetal									

Organische stof, koolzure kalk, silb (a/sltbaarheid) in % van droge grond, K-HCl in mg K2O en P-AI in mg P2O5/ 100 gram droge grond, magnesium in mg MgO/ kg droge grond, Pw-getal in mg P2O5/ ha/ droge grond.

Advies	in kg zilvere meststof per ha		Fosfaat (P2O5)		Kali (K2O)	
	Pw-getal	getal	gevonden	streef- getal	gevonden	streef- getal
Consumptie-, pootaardappelen, uien, groentegewassen			145	120		
Fabriek- en industriële aardappelen, spruitkool			145	120		
Bonen (als fosfaat-rijenbemesting), erwten (breedwerpig)			145	120		
Suiker- en zaadbieten, vlas, kanwi			120	90		
Voederbieten			120	90		
Grassen (geen gerst), zadenrijgewassen			50	20		
Gerst			85	55		
Mais (bij fosfaat-rijenbemesting de halve hoeveelheid)			145	120		
Wieraf			145	120		
Om gevonden bemestingstoestand naar de streefwaarde te brengen			350			

Magnesiumbemesting (MgO)				
Bouwplan	Street-pH	reparatiebekalving	onderhoudsbekalving	totale kalkgift (4 j.)
50% aardappelen - 0% bieten				
20% tot 40% aardappelen - 0% bieten				
25% tot 50% aardappelen - 16% tot 25% bieten				
0% tot 33% aardappelen - 20% tot 33% bieten				

Resultaat	Koper (Cu)	Mangaan (Mn)	Borium (B)	Zink (Zn)
Analyseresultaat				
Streettraject				
Waardering				
Bemesting (kg/ ha)				

Graauw, 30-03-09 Ing. J.C. Heijens (directeur)

Grondonderzoek: Bouwland

Waterschap Brabantse Delta

Broeren P.J.M.

Rapportnummer: 00059158_240387

Herelsestraat 168
4726 ST Heerle

Perceelsbenaming: Broeren Van Iersel (0-30 cm)

Analyse	Laboratoriumnummer: 09AJ238D	Bemonsteringsdiepte: 0 - 30 cm	0 - 25 cm																																															
	Datum monstername: 00-03-09	Geadviseerde diepte: 0 - 25 cm	Datum ontvangst: 10-03-09																																															
	Monstername: door Lab ZVL (565)	Pagina: 1 van 1																																																
	Grondsoort: dekzand																																																	
Resultaat	pH-KCl	Magnesium MgO	Fosfaat Pw-getal	Fosfaat P-Al	Kali K-getal	Kali K-HCl	SiB	Org.stof	Koolzure kalk																																									
Resultaat																																																		
Waardering																																																		
Streepgetal																																																		
Organische stof, koolzure kalk, siB (pH-baarheid) in % van droge grond, K-HCl in mg K ₂ O en P-Al in mg P ₂ O ₅ /100 gram droge grond, magnesium in mg MgO/kg droge grond, Pw-getal in mg P ₂ O ₅ /100 gram droge grond.																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="2" style="width: 40%;">Advies in kg zuivere meststof per ha</td> <td style="width: 10%;">Fosfaat (P₂O₅)</td> <td style="width: 10%;">Kali (K₂O)</td> </tr> <tr> <td>gevonden</td> <td>streef-</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Pw-getal</td> <td>getal</td> </tr> <tr> <td>Consumptie-, pootaardappelen, uien, groentegewassen</td> <td>60</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>Fabrieks- en industriële aardappelen, spruitkool</td> <td>60</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>Bonen (als fosfaat-rijenbemesting), erwten (breedwerpig)</td> <td>60</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>Suiker- en zaadbielen, vlas, karwij</td> <td>25</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>Voederbielen</td> <td>25</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>Granen (geen gerst), zaderijgewassen</td> <td>0</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Gerst</td> <td>0</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>Mais (bij fosfaat-rijenbemesting de halve hoeveelheid)</td> <td>60</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>Witlof</td> <td>60</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>Om gevonden bemestingsbestand naar de streefwaarde te brengen</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Magnesiumbemesting (MgO)</td> </tr> </table>										Advies in kg zuivere meststof per ha	Fosfaat (P ₂ O ₅)	Kali (K ₂ O)	gevonden	streef-		Pw-getal	getal	Consumptie-, pootaardappelen, uien, groentegewassen	60	120	Fabrieks- en industriële aardappelen, spruitkool	60	120	Bonen (als fosfaat-rijenbemesting), erwten (breedwerpig)	60	120	Suiker- en zaadbielen, vlas, karwij	25	90	Voederbielen	25	90	Granen (geen gerst), zaderijgewassen	0	20	Gerst	0	55	Mais (bij fosfaat-rijenbemesting de halve hoeveelheid)	60	120	Witlof	60	120	Om gevonden bemestingsbestand naar de streefwaarde te brengen	0		Magnesiumbemesting (MgO)		
Advies in kg zuivere meststof per ha	Fosfaat (P ₂ O ₅)	Kali (K ₂ O)																																																
	gevonden	streef-																																																
	Pw-getal	getal																																																
Consumptie-, pootaardappelen, uien, groentegewassen	60	120																																																
Fabrieks- en industriële aardappelen, spruitkool	60	120																																																
Bonen (als fosfaat-rijenbemesting), erwten (breedwerpig)	60	120																																																
Suiker- en zaadbielen, vlas, karwij	25	90																																																
Voederbielen	25	90																																																
Granen (geen gerst), zaderijgewassen	0	20																																																
Gerst	0	55																																																
Mais (bij fosfaat-rijenbemesting de halve hoeveelheid)	60	120																																																
Witlof	60	120																																																
Om gevonden bemestingsbestand naar de streefwaarde te brengen	0																																																	
Magnesiumbemesting (MgO)																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Bouwplan</td> <td style="width: 15%;">Streef-pH</td> <td style="width: 15%;">reparatiebekalking</td> <td style="width: 15%;">onderhoudsbekalking</td> <td style="width: 30%;">totale kalkgift (4 j.)</td> </tr> <tr> <td>50% aardappelen - 0% bieten</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>20% tot 40% aardappelen - 0% bieten</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>33% tot 50% aardappelen - 16% tot 25% bieten</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0% tot 33% aardappelen - 20% tot 33% bieten</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>										Bouwplan	Streef-pH	reparatiebekalking	onderhoudsbekalking	totale kalkgift (4 j.)	50% aardappelen - 0% bieten					20% tot 40% aardappelen - 0% bieten					33% tot 50% aardappelen - 16% tot 25% bieten					0% tot 33% aardappelen - 20% tot 33% bieten																				
Bouwplan	Streef-pH	reparatiebekalking	onderhoudsbekalking	totale kalkgift (4 j.)																																														
50% aardappelen - 0% bieten																																																		
20% tot 40% aardappelen - 0% bieten																																																		
33% tot 50% aardappelen - 16% tot 25% bieten																																																		
0% tot 33% aardappelen - 20% tot 33% bieten																																																		
Resultaat	Koper (Cu)	Mangaan (Mn)	Borium (B)	Zink (Zn)																																														
Analyseresultaat					Koolstofgehalte =																																													
Streeptraject					Bij voederbielen en suikerbielen wordt een bemesting van 200 kg NaCO ₃ per ha aangeraden.																																													
Waardering																																																		
Bemesting (kg/ha)																																																		

Graauw, 30-03-09 Ing. J.C. Heijens (directeur)

Grondonderzoek: Bouwland

Waterschap Brabantse Delta

Broeren P.J.M.

Rapportnummer: 00059158_240388

Herelsestraat 168
4726 ST Heerle

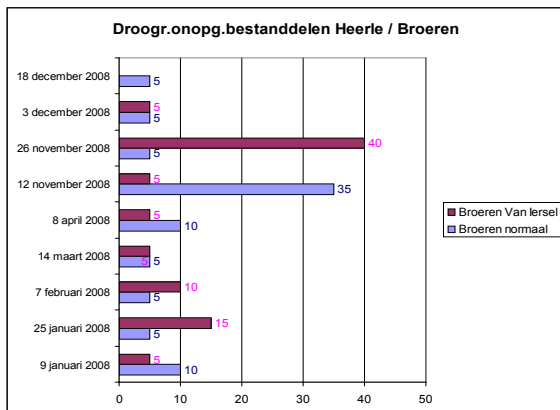
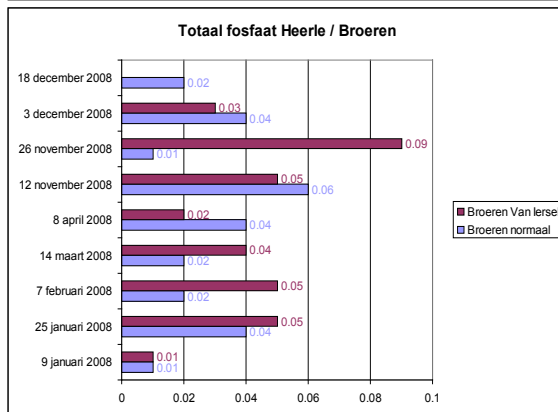
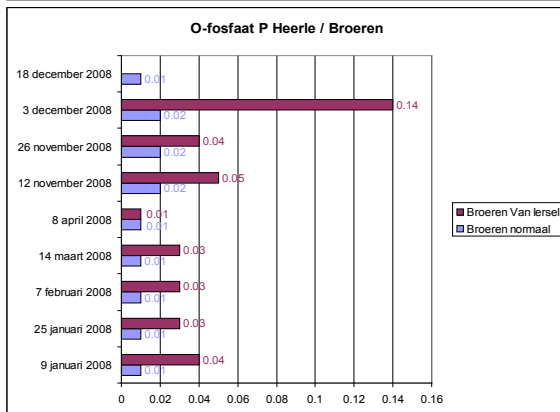
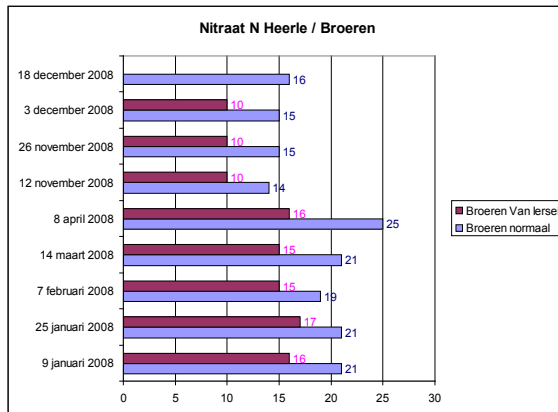
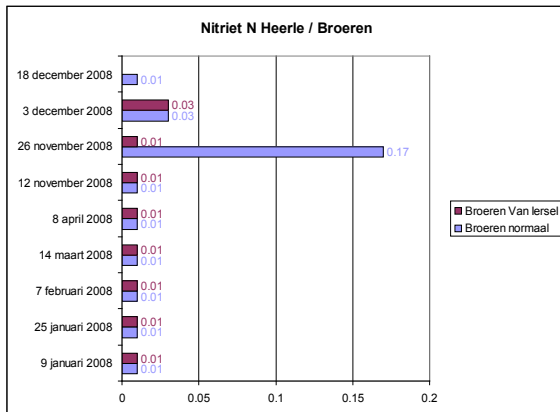
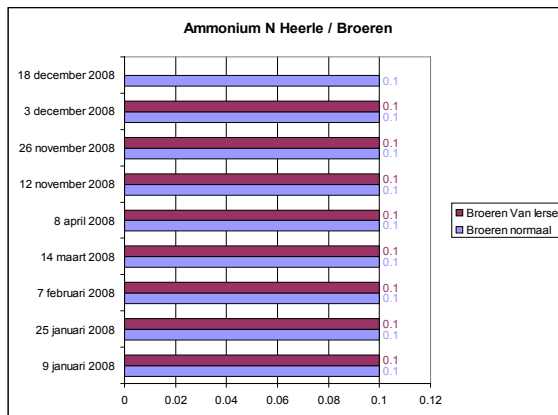
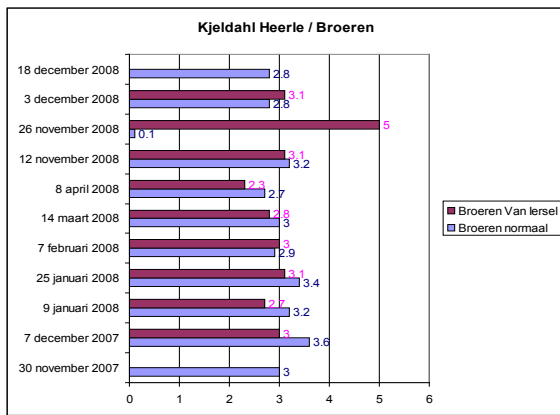
Perceelsbenaming: Broeren Van Iersel (30-60 cm)

Analyse	Laboratoriumnummer: 09AJ238D	Bemonsteringsdiepte: 0 - 30 cm	0 - 25 cm																																															
	Datum monstername: 00-03-09	Geadviseerde diepte: 0 - 25 cm	Datum ontvangst: 10-03-09																																															
	Monstername: door Lab ZVL (565)	Pagina: 1 van 1																																																
	Grondsoort: dekzand																																																	
Resultaat	pH-KCl	Magnesium MgO	Fosfaat Pw-getal	Fosfaat P-Al	Kali K-getal	Kali K-HCl	SiB	Org.stof	Koolzure kalk																																									
Resultaat																																																		
Waardering																																																		
Streepgetal																																																		
Organische stof, koolzure kalk, siB (pH-baarheid) in % van droge grond, K-HCl in mg K ₂ O en P-Al in mg P ₂ O ₅ /100 gram droge grond, magnesium in mg MgO/kg droge grond, Pw-getal in mg P ₂ O ₅ /100 gram droge grond.																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="2" style="width: 40%;">Advies in kg zuivere meststof per ha</td> <td style="width: 10%;">Fosfaat (P₂O₅)</td> <td style="width: 10%;">Kali (K₂O)</td> </tr> <tr> <td>gevonden</td> <td>streef-</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Pw-getal</td> <td>getal</td> </tr> <tr> <td>Consumptie-, pootaardappelen, uien, groentegewassen</td> <td>140</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>Fabrieks- en industriële aardappelen, spruitkool</td> <td>140</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>Bonen (als fosfaat-rijenbemesting), erwten (breedwerpig)</td> <td>140</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>Suiker- en zaadbielen, vlas, karwij</td> <td>110</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>Voederbielen</td> <td>110</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>Granen (geen gerst), zaderijgewassen</td> <td>45</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Gerst</td> <td>80</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>Mais (bij fosfaat-rijenbemesting de halve hoeveelheid)</td> <td>140</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>Witlof</td> <td>140</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>Om gevonden bemestingsbestand naar de streefwaarde te brengen</td> <td>200</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Magnesiumbemesting (MgO)</td> </tr> </table>										Advies in kg zuivere meststof per ha	Fosfaat (P ₂ O ₅)	Kali (K ₂ O)	gevonden	streef-		Pw-getal	getal	Consumptie-, pootaardappelen, uien, groentegewassen	140	120	Fabrieks- en industriële aardappelen, spruitkool	140	120	Bonen (als fosfaat-rijenbemesting), erwten (breedwerpig)	140	120	Suiker- en zaadbielen, vlas, karwij	110	90	Voederbielen	110	90	Granen (geen gerst), zaderijgewassen	45	20	Gerst	80	55	Mais (bij fosfaat-rijenbemesting de halve hoeveelheid)	140	120	Witlof	140	120	Om gevonden bemestingsbestand naar de streefwaarde te brengen	200		Magnesiumbemesting (MgO)		
Advies in kg zuivere meststof per ha	Fosfaat (P ₂ O ₅)	Kali (K ₂ O)																																																
	gevonden	streef-																																																
	Pw-getal	getal																																																
Consumptie-, pootaardappelen, uien, groentegewassen	140	120																																																
Fabrieks- en industriële aardappelen, spruitkool	140	120																																																
Bonen (als fosfaat-rijenbemesting), erwten (breedwerpig)	140	120																																																
Suiker- en zaadbielen, vlas, karwij	110	90																																																
Voederbielen	110	90																																																
Granen (geen gerst), zaderijgewassen	45	20																																																
Gerst	80	55																																																
Mais (bij fosfaat-rijenbemesting de halve hoeveelheid)	140	120																																																
Witlof	140	120																																																
Om gevonden bemestingsbestand naar de streefwaarde te brengen	200																																																	
Magnesiumbemesting (MgO)																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Bouwplan</td> <td style="width: 15%;">Streef-pH</td> <td style="width: 15%;">reparatiebekalking</td> <td style="width: 15%;">onderhoudsbekalking</td> <td style="width: 30%;">totale kalkgift (4 j.)</td> </tr> <tr> <td>50% aardappelen - 0% bieten</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>20% tot 40% aardappelen - 0% bieten</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>33% tot 50% aardappelen - 16% tot 25% bieten</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0% tot 33% aardappelen - 20% tot 33% bieten</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>										Bouwplan	Streef-pH	reparatiebekalking	onderhoudsbekalking	totale kalkgift (4 j.)	50% aardappelen - 0% bieten					20% tot 40% aardappelen - 0% bieten					33% tot 50% aardappelen - 16% tot 25% bieten					0% tot 33% aardappelen - 20% tot 33% bieten																				
Bouwplan	Streef-pH	reparatiebekalking	onderhoudsbekalking	totale kalkgift (4 j.)																																														
50% aardappelen - 0% bieten																																																		
20% tot 40% aardappelen - 0% bieten																																																		
33% tot 50% aardappelen - 16% tot 25% bieten																																																		
0% tot 33% aardappelen - 20% tot 33% bieten																																																		
Resultaat	Koper (Cu)	Mangaan (Mn)	Borium (B)	Zink (Zn)																																														
Analyseresultaat					Koolstofgehalte =																																													
Streeptraject					Bij voederbielen en suikerbielen wordt een bemesting van 200 kg NaCO ₃ per ha aangeraden.																																													
Waardering																																																		
Bemesting (kg/ha)																																																		

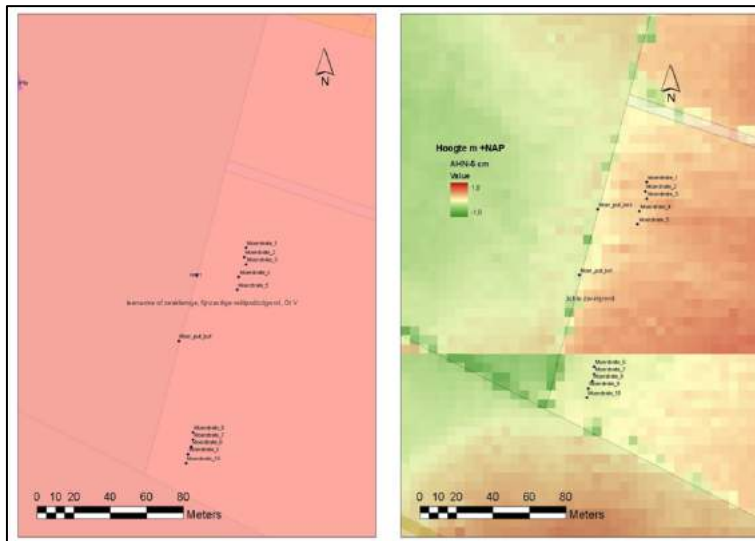
Graauw, 30-03-09 Ing. J.C. Heijens (directeur)

Grondwaterstanden

Datum	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
woensdag 24 december 2008	droog	droog	droog	droog	droog	82	65	64	58	58	57	55
woensdag 14 januari 2009	droog	droog	droog	droog	droog	93	76	72	71	75	72	74
dinsdag 10 februari 2009	droog	94	86	droog	93	64	0	40	5	34	5	43
donderdag 26 februari 2009	94	94	droog	92	90	81	66	62	57	56	51	55
donderdag 12 maart 2009	droog	droog	droog	droog	droog	81	64	63	58	57	56	55
donderdag 26 maart 2009	droog	droog	droog	droog	droog	78	53	58	50	55	50	53

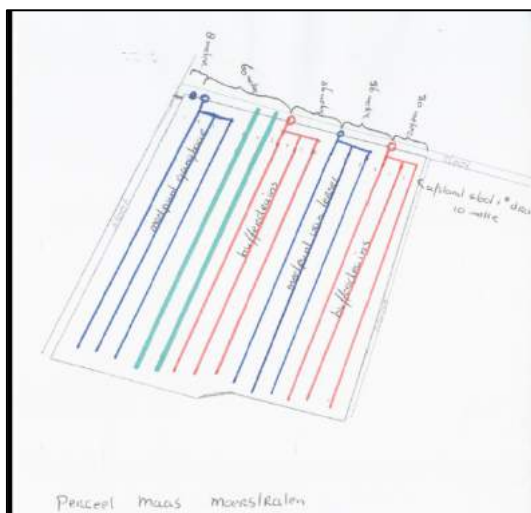


Proeflocatie Moerstraten



Figuur 265

Proeflocatie 'Moerstraten': bodemkaart (links) en maaiveldhoogtekaart (rechts).



Figuur 266

Proeflocatie 'Moerstraten': lay-out van de drainagesystemen.

Observatie waterschap 'Brabantse Delta: het deel niet-opgezette drains moet worden herzien omdat de laatste drain naast de sloot zichtbaar blijft lopen en dus water uit sloot ontvangt. Voorstel is deze af te koppelen en hem als bufferdrain in te schakelen. Handmatige debietmeting bij dit is moeilijk omdat uitstroomopening zich half onder water bevindt. Aan oplossing wordt gewerkt. Idee van waterzak aan uitstroomopening die in sloot ligt in sloot kwam op. Bij proefboerderij Vredepeel hebben ze ervaring.

Op 22 oktober 2008 werd proeflocatie Moerstrate bezocht; zie Figuur 267.



Figuur 267

Impressies veldbezoek proeflocatie 'Moerstraten'; van linksboven naar rechtsonder, achtereenvolgens: (i) losschoppen putdeksel, (ii) verwijderen putdeksel, (iii) zicht op pijp met twee ontwateringsdiepten, (iv) put inwendig 1, (v) put inwendig 2 en (vi) stuwteje in perceelssloot is overwoekerd en nauwelijks zichtbaar.

Grondonderzoek: Bouwland

Waterschap Brabantse Delta		Maas A. J. M.							
Rapportnummer: 00035586_240383		Laagweg 3 4727 SH MOERSTRATEN							
Perceelsbenaming: Maas Normaal (0-30 cm)									
Analyse	Laboratoriumnummer	09A.0242D	Bemonsteringsdiepte	0 - 30 cm					
	Datum monstername	06-03-09	Geadviseerde diepte	0 - 25 cm					
	Monsternamete	door Lab ZVL (565)	Datum ontvangen	10-03-09					
	Grondsoort	dekzand	Pagina	1 van 1					
Resultaat	pH-KCl	Magnesium	Fosfaat P-w-getal	Fosfaat P-AI	Kali K-getal	Kali K-HCl	Silic	Org stof	Koolzure kalk
Resultaat		40							
Waardering		ruim voldoende							
Streefgetal		30							
Organische stof, koolzure kalk, silic (stiftbaarzand) in % van droge grond; K-HCl in mg K ₂ O en P-AI in mg P ₂ O ₅ /100 gram droge grond; magnesium in mg MgO/kg droge grond; P-w-getal in mg P ₂ O ₅ /liter droge grond.									
Advies	in kg zuivere meststof per ha		Fosfaat (P ₂ O ₅) gevonden P-w-getal	streef-getal	Kali (K ₂ O) gevonden K-getal	streef-getal			
Compostie-, poolaardappelen, uien, groentegewassen			65	120					
Fabrieks- en industriële aardappelen, spruitkool			65	120					
Bonen (als fosfaat-rijenbemesting), erwten (breedwarpig)			65	120					
Suiker- en zaadbeten, vlas, kanijs			55	90					
Voederbieten			55	90					
Grassen (geen gerst), zaderigewassen			0	20					
Gerst			20	55					
Mais (bij fosfaat-rijenbemesting de halve hoeveelheid)			65	120					
Witlof			65	120					
Om gevonden bemestingstoestand naar de streefwaarde te brengen				0					
Magnesiumbemesting (MgO)									
Bouwplan	Streef-pH	reparatiebalkalking	onderhoudsbalkalking	totale kalkgift (4 j.)					
50% aardappelen - 5% bieten									
20% tot 40% aardappelen - 5% bieten									
33% tot 50% aardappelen - 16% tot 25% bieten									
0% tot 33% aardappelen - 20% tot 33% bieten									
Resultaat	Koper (Cu)	Mangaan (Mn)	Borium (B)	Zink (Zn)					
Analyseresultaat					Koolstofgehalte =				
Streefresultaat					Bij voederbieten en suikerbieten wordt een bemesting van 200 kg N ₂ O per ha aangeraden.				
Waardering									
Bemesting (kg/ha)									

Graauw, 30-03-09 Ing. J.C. Heijens (directeur)

Grondonderzoek: Bouwland

Waterschap Brabantse Delta

Maas A J M

Rapportnummer: 00035686_240384

Laagweg 3
4727 SH MOERSTRATEN

Perceelsbenaming : Maas Normaal (30-60 cm)

Analyse	Laboratoriumnummer	09AJ243D	Bemonsteringsdiepte	0 - 30 cm
	Datum monsternam	08-03-09	Geadviseerde diepte	0 - 25 cm
	Monsternam	door Lab ZVL (565)	Datum ontvangst	10-03-09
	Grondsoort	dekzand	Pagina	1 van 1

Resultaat	pH-KCl	Magnesium MgO	Fosfaat Pw-getal	Fosfaat P-AI	Kali K-getal	Kali K-HCl	Silic	Org.stof	Koolzure kalk
Resultaat		13							
Waardering		laag							
Streefgetal		30							

Organische stof, koolzure kalk, stik (stikstof) in % van droge grond; K-HCl in mg K2O en P-AI in mg P2O5/100 gram droge grond.

magnesium in mg MgO/kg droge grond; Pw-getal in mg P2O5/liter droge grond.

Advies	in kg zuivere meststof per ha		Fosfaat (P2O5)		Kali (K2O)	
	gevoonden	streef-	gevoonden	streef-	gevoonden	streef-
	Pw-getal	getal	Pw-getal	getal	K-getal	getal
Consumptie-, pootaardappelen, uien, groentegewassen	175	120				
Fabrieks- en industriële aardappelen, spruitkool	175	120				
Bonen (als fosfaat-rijenbemesting), erwten (breedwerpig)	175	120				
Suiker- en zaadbieten, vlas, kanwij	150	90				
Voederbieten	150	90				
Granen (geen gerst), zaderijgewassen	90	20				
Gerst	120	55				
Mais (bij fosfaat-rijenbemesting de halve hoeveelheid)	175	120				
Witlof	175	120				

Om gevonden bemestingstoestand naar de streefwaarde te brengen

Magnesiumbemesting (MgO)

Bouwplan	Streef-pH	reparatiebekalking	onderhoudsbekalking	totale kalkgift (4 j.)
50% aardappelen - 0% bieten				
20% tot 40% aardappelen - 0% bieten				
33% tot 50% aardappelen - 16% tot 25% bieten				
0% tot 33% aardappelen - 20% tot 33% bieten				

Resultaat	Koper (Cu)	Mangaan (Mn)	Borium (B)	Zink (Zn)
Analyseresultaat				
Streeftraject				
Waardering				
Bemesting (kg/ha)				

Koolstofgehalte =

Bij voedselbieten en suikerbieten wordt een bemesting van 200 kg Na2O per ha aangetoond.

Grauw, 30-03-09 Ing. J.C. Heijens (directeur)

Grondonderzoek: Bouwland

Waterschap Brabantse Delta

Maas A J M

Rapportnummer: 00035686_240381

Laagweg 3
4727 SH MOERSTRATEN

Perceelsbenaming : Maas Van Iersel (0-30 cm)

Analyse	Laboratoriumnummer	09AJ240D	Bemonsteringsdiepte	0 - 30 cm
	Datum monsternam	08-03-09	Geadviseerde diepte	0 - 25 cm
	Monsternam	door Lab ZVL (565)	Datum ontvangst	10-03-09
	Grondsoort	dekzand	Pagina	1 van 1

Resultaat	pH-KCl	Magnesium MgO	Fosfaat Pw-getal	Fosfaat P-AI	Kali K-getal	Kali K-HCl	Silic	Org.stof	Koolzure kalk
Resultaat		35							
Waardering		ruim voldoende							
Streefgetal		30							

Organische stof, koolzure kalk, stik (stikstof) in % van droge grond; K-HCl in mg K2O en P-AI in mg P2O5/100 gram droge grond.

magnesium in mg MgO/kg droge grond; Pw-getal in mg P2O5/liter droge grond.

Advies	in kg zuivere meststof per ha		Fosfaat (P2O5)		Kali (K2O)	
	gevoonden	streef-	gevoonden	streef-	gevoonden	streef-
	Pw-getal	getal	Pw-getal	getal	K-getal	getal
Consumptie-, pootaardappelen, uien, groentegewassen	100	120				
Fabrieks- en industriële aardappelen, spruitkool	100	120				
Bonen (als fosfaat-rijenbemesting), erwten (breedwerpig)	100	120				
Suiker- en zaadbieten, vlas, kanwij	75	90				
Voederbieten	75	90				
Granen (geen gerst), zaderijgewassen	0	20				
Gerst	40	55				
Mais (bij fosfaat-rijenbemesting de halve hoeveelheid)	100	120				
Witlof	100	120				

Om gevonden bemestingstoestand naar de streefwaarde te brengen

Magnesiumbemesting (MgO)

Bouwplan	Streef-pH	reparatiebekalking	onderhoudsbekalking	totale kalkgift (4 j.)
50% aardappelen - 0% bieten				
20% tot 40% aardappelen - 0% bieten				
33% tot 50% aardappelen - 16% tot 25% bieten				
0% tot 33% aardappelen - 20% tot 33% bieten				

Resultaat	Koper (Cu)	Mangaan (Mn)	Borium (B)	Zink (Zn)
Analyseresultaat				
Streeftraject				
Waardering				
Bemesting (kg/ha)				

Koolstofgehalte =

Bij voedselbieten en suikerbieten wordt een bemesting van 200 kg Na2O per ha aangetoond.

Grauw, 30-03-09 Ing. J.C. Heijens (directeur)

Grondonderzoek: Bouwland

Waterschap Brabantse Delta

Maas A J M

Rapportnummer: 00035588_240382

Laagweg 3
4727 SH MOERSTRATEN

Perceelsbenaming: Maas Van Iersel (30-60 cm)

Analyse	Laboratoriumnummer	09A.041D	Bemonsteringsdiepte	0 - 30 cm
	Datum monstername	06-05-06	Geadviseerde diepte	0 - 25 cm
	Monsternummer	door Lab ZVL (565)	Datum ontvangen	10-03-09
	Grondsoort	dekzand	Pagina	1 van 1

Resultaat	pH-KCl	Magnesium MgO	Fosfaat P _{av} -getal	Fosfaat P-AI	Kali K-getal	Kali K-HCl	Slib	Org. stof	Koolzure kalk
Resultaat		14							
Waardering		10ng							
Streefgetal		30							

Organische stof, koolzure kalk, silt (afrisbaarheid) in % van droge grond; K-HCl in mg K₂O en P-AI in mg P₂O₅/100 gram droge grond; magnesium in mg MgO/kg droge grond; P_{av}-getal in mg P₂O₅/t_{er} droge grond.

Advies	in kg zuivere meststof per ha	Fosfaat (P ₂ O ₅)		Kali (K ₂ O)	
		gevonden P _{av} -getal	streef- getal	gevonden K-getal	streef- getal
	Consumptie- pootaardappelen, uien, groentegewassen	170	120		
	Fabriek- en industriële aardappelen, spruitkool	170	120		
	Bonen (als fosfaat-rijenbemesting), erwten (broodwerpig)	170	120		
	Suiker- en zaadbeten, vlas, karnw	145	90		
	Voederbeten	145	90		
	Grassen (geen gerst), zaderigewassen	85	20		
	Gerst	115	55		
	Mais (bij fosfaat-rijenbemesting de halve hoeveelheid)	170	120		
	Witlof	170	120		
	Om gevonden bemestingsbeestand naar de streefwaarde te brengen	760			

Magnesiumbemesting (MgO)			
Bemestings	Streef-pH	reparatiebemesting	onderhoudsbemesting
50% aardappelen - 0% bieten			totale kalkgift (4.)
20% tot 40% aardappelen - 0% bieten			
30% tot 50% aardappelen - 10% tot 20% bieten			
0% tot 30% aardappelen - 20% tot 30% bieten			

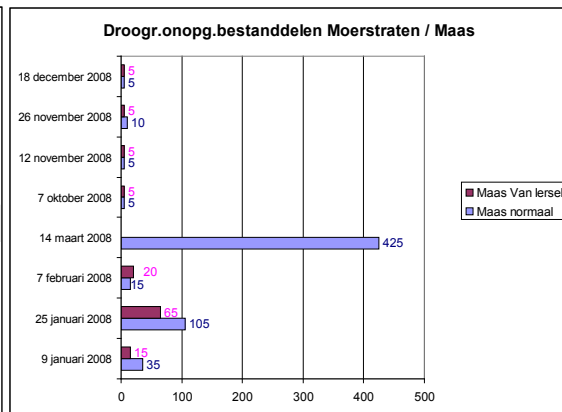
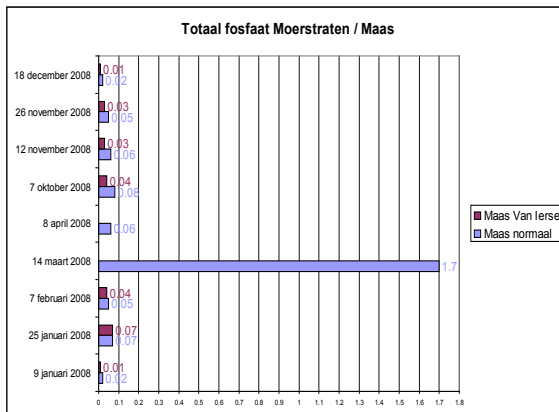
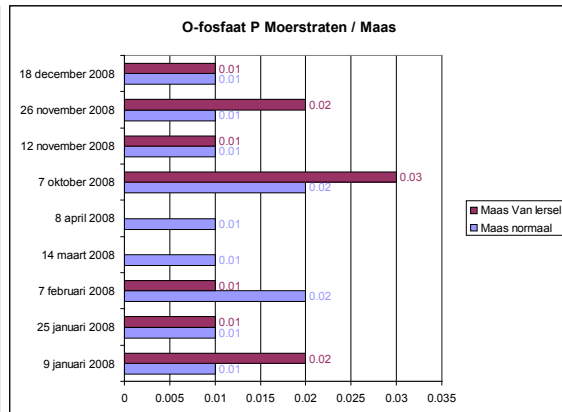
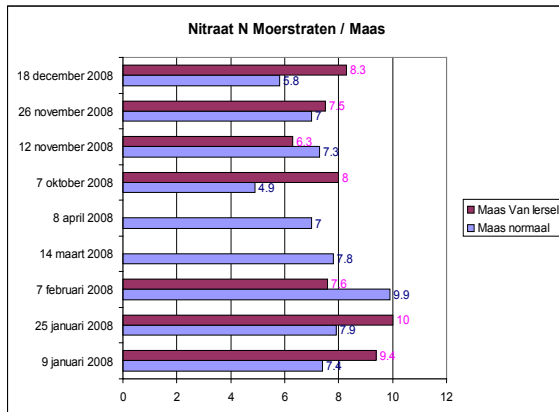
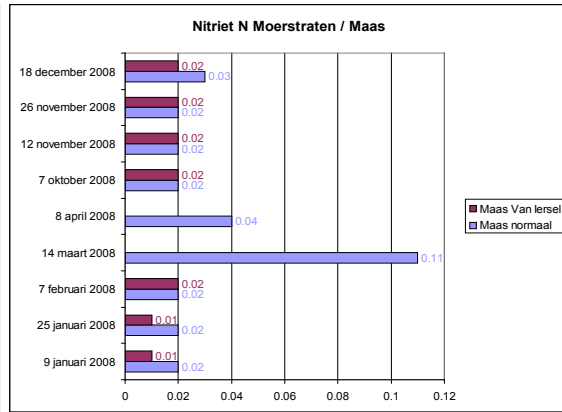
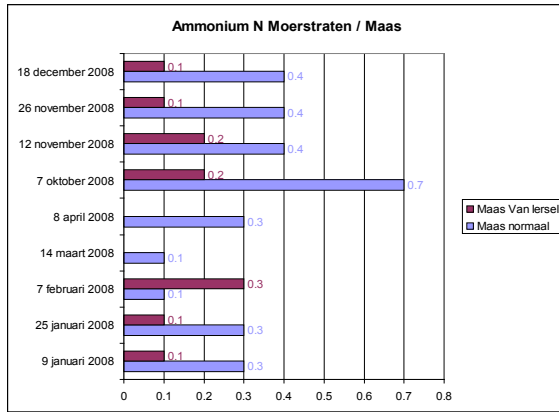
Resultaat	Koper (Cu)	Mangaan (Mn)	Borium (B)	Zink (Zn)
Analyseresultaat				
Streefwaarde				Koolstofgehalte =
Waardering				El voederbeten en suikerbeten wordt een bemesting van 200 kg Na ₂ O per ha aangeraden.
Bemesting (kg/ha)				

Graauw, 30-03-09 Ing. J.C. Heijens (directeur)

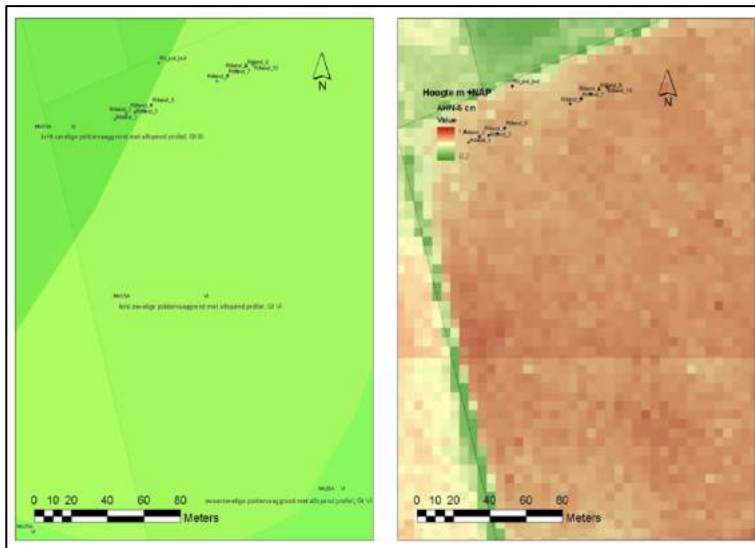
Grondwaterstanden

Moerstraten

datum	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	R10
woensdag 24 december 2008	39	42	40	39	48	92		92	93	droog
woensdag 14 januari 2009	27	42	38	44	57	droog	droog	droog	droog	droog
dinsdag 10 februari 2009	0	0	0	0	10	60	67	67	71	71
donderdag 26 februari 2009	51	56	53	56	64	92	93	94	91	droog
donderdag 12 maart 2009	51	56	53	56	64	droog	droog	droog	droog	droog
donderdag 26 maart 2009	30	40	33	41	52	droog	droog	droog	droog	droog

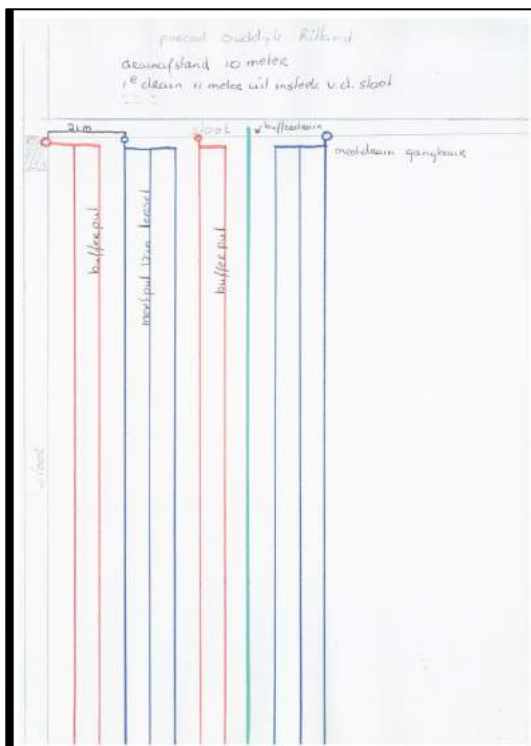


Proeflocatie Rilland



Figuur 268

Proeflocatie 'Rilland': bodemkaart (links) en maaiveldhoogtekaart (rechts).



Figuur 269

Proeflocatie 'Rilland': lay-out van de drainagesystemen.

Grondonderzoek: Bouwland

Waterschap Brabantse Delta

Oudijk C

Rapportnummer: 00013136_240380

Westhofweg 12
4411 TA RILLAND

Perceelsbenaming : Oudijk normaal (0-30 cm)

Analyse	Laboratoriumnummer	09AJ252D	Bemonsteringsdiepte	0 - 30 cm
	Datum monstername	06-03-09	Geadviseerde diepte	0 - 25 cm
	Monstername	door Lab ZVL (565)	Datum ontvangst	10-03-09
	Grondsoort	zoekbl	Pagina	1 van 1

Resultaat	pH-KCl	Magnesium	Fosfaat	Fosfaat	Kali	Kali	Stib	Org.stof	Koolzure
		MgO	Pw-getal	P-Al	K-getal	K-HCl			alkali
Resultaat			42						
Waardering			ruim voldoende						
Streefgetal			25						

Organische stof, koolzure kalk, stib (aflatabaarheid) in % van droge grond; K-HCl in mg K₂O en P-Al in mg P₂O₅/100 gram droge grond; magnesium in mg MgO kg droge grond; Pw-getal in mg P₂O₅/ha droge grond

Advies	Fosfaat (P ₂ O ₅)		Kali (K ₂ O)	
	gevonden	streef-	gevonden	streef-
	Pw-getal	getal	K-getal	getal
Consumptie-, pootaardappelen, uien, groentegewassen	115	135		
Fabrieks- en industriële aardappelen, spruitkool	115	135		
Bonen, erwten	115	135		
Suiker- en zaadbieten, vlas, kanzij	70	95		
Voederbieten	70	95		
Granen (geen gerst), zaderijgewassen	0	0		
Gerst	0	45		
Mais (bij fosfaat-rijenbemesting de halve hoeveelheid)	115	135		
Witlof	0	45		
Om gevonden bemestingsbestand naar de streefwaarde te brengen		0		

Magnesiumbemesting (MgO)				
Reparatiebepaling				
Ondermoudbepaling				

Resultaat	Koper (Cu)	Mangaan (Mn)	Borium (B)	Zink (Zn)
Analyseresultaat				
Streefwaarde				
Waardering				
Bemesting (kg/ha)				Koolstofgehalte =

Graauw, 30-03-09 Ing. J.C. Heijens (directeur)

Grondonderzoek: Bouwland

Waterschap Brabantse Delta

Oudijk C

Rapportnummer: 00013136_240379

Westhofweg 12
4411 TA RILLAND

Perceelsbenaming : Oudijk normaal (30-60 cm)

Analyse	Laboratoriumnummer	09AJ253D	Bemonsteringsdiepte	0 - 30 cm
	Datum monstername	06-03-09	Geadviseerde diepte	0 - 25 cm
	Monstername	door Lab ZVL (565)	Datum ontvangst	10-03-09
	Grondsoort	zoekbl	Pagina	1 van 1

Resultaat	pH-KCl	Magnesium	Fosfaat	Fosfaat	Kali	Kali	Stib	Org.stof	Koolzure
		MgO	Pw-getal	P-Al	K-getal	K-HCl			alkali
Resultaat			42						
Waardering			ruim voldoende						
Streefgetal			25						

Organische stof, koolzure kalk, stib (aflatabaarheid) in % van droge grond; K-HCl in mg K₂O en P-Al in mg P₂O₅/100 gram droge grond; magnesium in mg MgO kg droge grond; Pw-getal in mg P₂O₅/ha droge grond

Advies	Fosfaat (P ₂ O ₅)		Kali (K ₂ O)	
	gevonden	streef-	gevonden	streef-
	Pw-getal	getal	K-getal	getal
Consumptie-, pootaardappelen, uien, groentegewassen	80	135		
Fabrieks- en industriële aardappelen, spruitkool	80	135		
Bonen, erwten	80	135		
Suiker- en zaadbieten, vlas, kanzij	30	95		
Voederbieten	30	95		
Granen (geen gerst), zaderijgewassen	0	0		
Gerst	0	45		
Mais (bij fosfaat-rijenbemesting de halve hoeveelheid)	80	135		
Witlof	0	45		
Om gevonden bemestingsbestand naar de streefwaarde te brengen		0		

Magnesiumbemesting (MgO)				
Reparatiebepaling				
Ondermoudbepaling				

Resultaat	Koper (Cu)	Mangaan (Mn)	Borium (B)	Zink (Zn)
Analyseresultaat				
Streefwaarde				
Waardering				
Bemesting (kg/ha)				Koolstofgehalte =

Graauw, 30-03-09 Ing. J.C. Heijens (directeur)

Grondonderzoek: Bouwland

Waterschap Brabantse Delta

Oudijk C

Rapportnummer: 00013136_240377

Westhofweg 12
4411 TA RILLAND

Perceelbenaming : Oudijk Van Iersel (0-30 cm)

Analyse	Laboratoriumnummer	09AJ234D	Bemonsteringsdiepte	0 - 30 cm
	Datum monstername	00-03-09	Geadviseerde diepte	0 - 25 cm
	Monstername	door Lab ZVL (565)	Datum ontvangst	10-03-09
	Grondsoort	dekzand	Pagina	1 van 1

Resultaat	pH-KCl	Magnesium	Fosfaat	Fosfaat	Kali	Kali	Silic	Org.stof	Koolzure kalk
		MgO	Pw-getal	P-AI	K-getal	K-HCl			
Resultaat									
Waardering									
Streefgetal									

Organische stof, koolzure kalk, silic (afhankelijkheid) in % van droge grond: K-HCl in mg K2O en P-AI in mg P2O5/100 gram droge grond.
magnesium in mg MgO/ kg droge grond, Pw-getal in mg P2O5/liter droge grond.

Advies	in kg zuivere meststof per ha								
		Fosfaat (P2O5)	streef-	streef-	Kali (K2O)	gefounden	gefounden	streef-	streef-
		Pw-getal	getal	K-getal	getal			getal	getal
Consumptie- pootaardappelen, uien, groentegewassen		170	120						
Fabrieks- en industriële aardappelen, spruitkool		170	120						
Bonen (als fosfaat-rijenbemesting), erwten (breedwerpig)		170	120						
Suiker- en zaadbielen, vlas, kanarij		145	90						
Voederbielen		145	90						
Granen (geen gerst), zadenrijgewassen		85	20						
Gerst		115	55						
Mais (bij fosfaat-rijenbemesting de halve hoeveelheid)		170	120						
Witlof		170	120						

Om gevonden bemestingsbestand naar de streefwaarde te brengen
Magnesiumbemesting (MgO)

Bouwplan	Streef-pH	reparatiebalking	onderhoudsbalking	totale kalkgift (4 j.)
50% aardappelen - 0% bielen				
20% tot 40% aardappelen - 0% bielen				
33% tot 50% aardappelen - 10% tot 25% bielen				
0% tot 33% aardappelen - 20% tot 33% bielen				

Resultaat	Koper (Cu)	Mangaan (Mn)	Borium (B)	Zink (Zn)	
Analyseresultaat					Koolstofgehalte =
Streefresultaat					
Waardering					Bij voederbielen en suikerbielen wordt een bemesting van 200 kg N2O per ha aangeraden.
Bemesting (kg/ha)					

Graauw, 30-03-09 Ing. J.C. Heijens (directeur)

Grondonderzoek: Bouwland

Waterschap Brabantse Delta

Oudijk C

Rapportnummer: 00013136_240378

Westhofweg 12
4411 TA RILLAND

Perceelbenaming : Oudijk Van Iersel (30-60 cm)

Analyse	Laboratoriumnummer	09AJ235D	Bemonsteringsdiepte	0 - 30 cm
	Datum monstername	00-03-09	Geadviseerde diepte	0 - 25 cm
	Monstername	door Lab ZVL (565)	Datum ontvangst	10-03-09
	Grondsoort	dekzand	Pagina	1 van 1

Resultaat	pH-KCl	Magnesium	Fosfaat	Fosfaat	Kali	Kali	Silic	Org.stof	Koolzure kalk
		MgO	Pw-getal	P-AI	K-getal	K-HCl			
Resultaat									
Waardering									
Streefgetal									

Organische stof, koolzure kalk, silic (afhankelijkheid) in % van droge grond: K-HCl in mg K2O en P-AI in mg P2O5/100 gram droge grond.
magnesium in mg MgO/ kg droge grond, Pw-getal in mg P2O5/liter droge grond.

Advies	in kg zuivere meststof per ha								
		Fosfaat (P2O5)	streef-	streef-	Kali (K2O)	gefounden	gefounden	streef-	streef-
		Pw-getal	getal	K-getal	getal			getal	getal
Consumptie- pootaardappelen, uien, groentegewassen		160	120						
Fabrieks- en industriële aardappelen, spruitkool		160	120						
Bonen (als fosfaat-rijenbemesting), erwten (breedwerpig)		160	120						
Suiker- en zaadbielen, vlas, kanarij		135	90						
Voederbielen		135	90						
Granen (geen gerst), zadenrijgewassen		70	20						
Gerst		105	55						
Mais (bij fosfaat-rijenbemesting de halve hoeveelheid)		160	120						
Witlof		160	120						

Om gevonden bemestingsbestand naar de streefwaarde te brengen
Magnesiumbemesting (MgO)

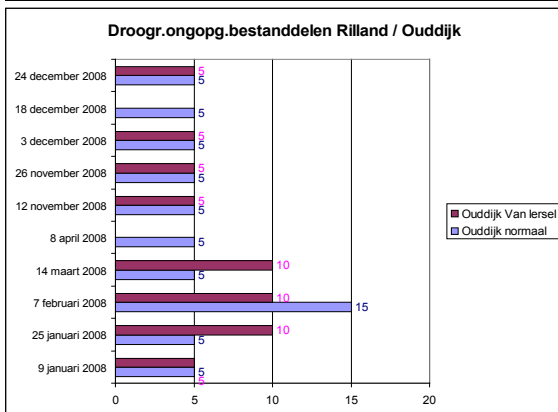
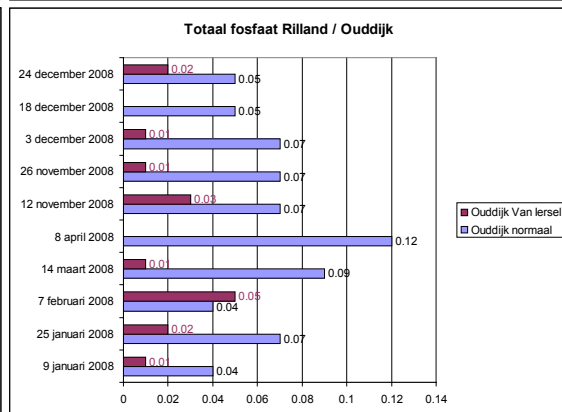
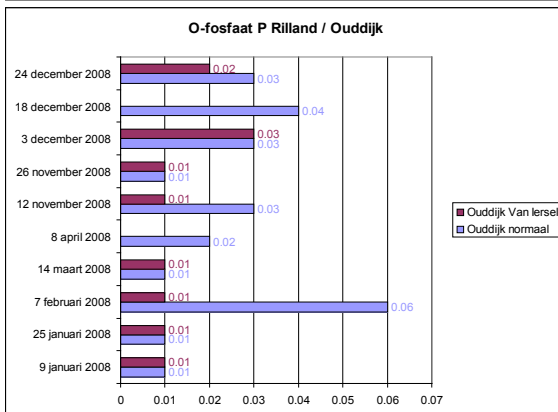
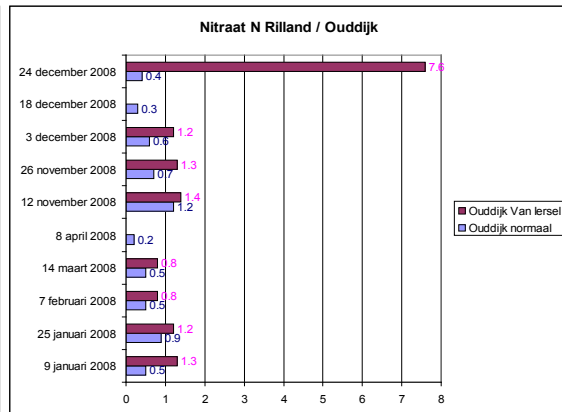
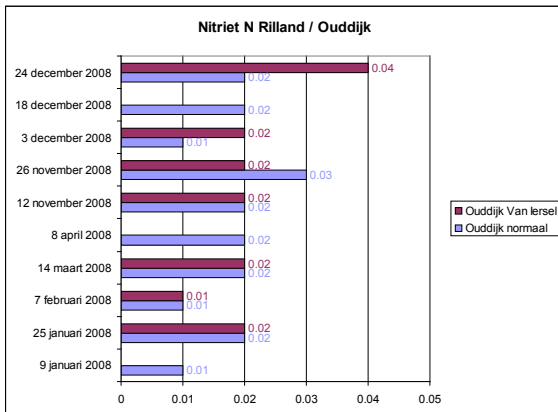
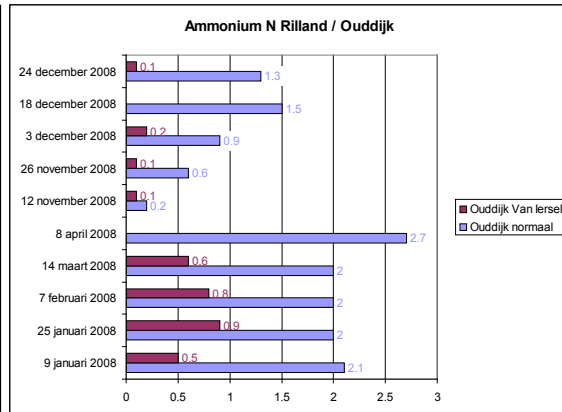
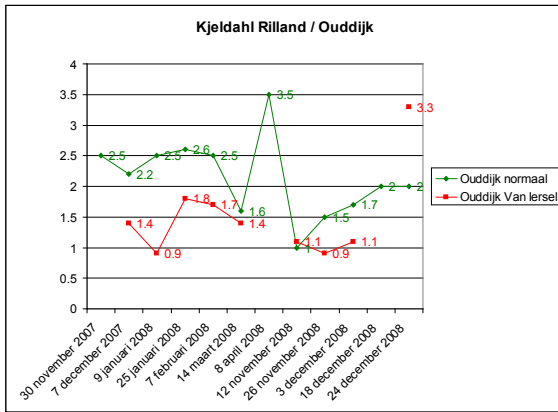
Bouwplan	Streef-pH	reparatiebalking	onderhoudsbalking	totale kalkgift (4 j.)
50% aardappelen - 0% bielen				
20% tot 40% aardappelen - 0% bielen				
33% tot 50% aardappelen - 10% tot 25% bielen				
0% tot 33% aardappelen - 20% tot 33% bielen				

Resultaat	Koper (Cu)	Mangaan (Mn)	Borium (B)	Zink (Zn)	
Analyseresultaat					Koolstofgehalte =
Streefresultaat					
Waardering					Bij voederbielen en suikerbielen wordt een bemesting van 200 kg N2O per ha aangeraden.
Bemesting (kg/ha)					

Graauw, 30-03-09 Ing. J.C. Heijens (directeur)

Grondwaterstanden

Rilland										
datum	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
woensdag 24 december 2008	59	62	61	65	63	75	76	82	82	94
woensdag 14 januari 2009	55	48	56	61	59	64	64	64	70	85
dinsdag 10 februari 2009	0	0	10	0	17	33	0	39	0	37
donderdag 26 februari 2009	61	62	60	66	64	75	76	80	81	91
donderdag 12 maart 2009	62	64	62	67	66	74	73	79	80	80
donderdag 26 maart 2009	56	58	55	61	59	71	69	75	73	86



Bijlage 10 KIWA Beoordelingsrichtlijn BRL 1411 Buisdrainage

BRL 1411
Technisch document
24 januari 2013

Technisch document

Gebaseerd op concept BRL 1411
d.d. 22 juni 2012

Buisdrainage

BRL 1411
Technisch document
24 januari 2013

Kiwa Nederland B.V.

Sir Winston Churchilllaan 273
Postbus 70
2280 AB RIJSWIJK

Tel 070 414 44 00
Fax 070 414 44 20
www.kiwa.nl

© 2013 Kiwa N.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Onverminderd de aanvaarding van de Beoordelingsrichtlijn door de Harmonisatie Commissie Bouw van de Stichting Bouwkwiteit als Nationale Beoordelingsrichtlijn berusten alle rechten bij Kiwa. Het gebruik van deze Beoordelingsrichtlijn door derden, voor welk doel dan ook, is uitsluitend toegestaan nadat een schriftelijke overeenkomst met Kiwa is gesloten waarin het gebruiksrecht is geregeld.

Dit technische document is niet bedoeld voor certificatie doeleinden. Het is gebaseerd op concept BRL 1411 d.d. 22 juni 2012 waarvan de actuele versie te downloaden is op www.kiwa.nl.

Deze BRL is opgesteld op basis van de thans beschikbare (praktijk) kennis, voorschriften en regelgeving op het gebied van buisdrainage. Voor het dimensioneren, aanleggen en controleren van buisdrainage moet gebruik gemaakt worden van:

- De wet- en regelgeving;
- De keur voorschriften van het waterschap;
- De gemeentelijke voorschriften of aanbevelingen zoals die zijn vastgelegd door Stichting RIONED.
- De informatieve bijlagen IV tot en met VIII bij deze BRL.

In deze BRL wordt onderscheid gemaakt tussen vrij uitstromende- en regelbare drainagesystemen.

Inhoud

Voorwoord Kiwa

Inhoud

- 1 Inleiding**
 - 1.1 Algemeen
 - 1.2 Toepassingsgebied
 - 1.3 Eisen en bepalingsmethoden
 - 1.3.1 Eisen
- 2 Terminologie**
 - 2.1 Afkortingen en definities
- 3 Proceseisen en bepalingsmethoden**
 - 3.1 Algemeen
 - 3.2 Procesomschrijving
 - 3.3 Procesopbouw
 - 3.4 Ontwerp
 - 3.4.1 Technische parameters
 - 3.4.2 Ontwerp
 - 3.4.3 Drainageplan
 - 3.4.4 Drainageplan
 - 3.4.5 Aanleg en installeren
 - 3.4.5.1 Kwalificatie medewerkers
 - 3.4.5.2 Draineermachines en meetapparatuur
 - 3.4.5.3 Draineermachines en diepteligging
 - 3.4.6 Installatie en revisie drainageplan
 - 3.5 Opleveren
 - 3.5.1 Installatie welke functioneert
 - 3.5.2 Opleveren
 - 3.5.2.1 Oplevering juiste aanleg, installatie en werking
 - 3.5.2.2 Inspectie juiste ligging
 - 3.5.3 Rapport van oplevering
 - 3.6 Nazorg (optioneel)
 - 3.6.1 Controleovereenkomst
 - 3.6.2 Nazorg
 - 3.6.2.1 Nazorg
 - 3.6.2.2 Reiniging
 - 3.6.2.3 Controlerapport
 - 3.7 Certificatiemerk
- 4 Systeemeisen en bepalingsmethoden**
 - 4.1 Algemeen

4.2	Opbouw van het systeem
4.3	Draineerbuisdiepte, -afstand, -helling
4.4	Verwerkingsrichtlijnen
4.5	Maximale ontwateringsdiepte
5	Producteisen en bepalingsmethoden
5.1	Algemeen
5.2	Producteisen draineerbuis-leidingen
5.3	Producteisen verzamelbuis-leidingen
5.4	Producteisen (regel)putten en regelpunten
6	Lijst van vermelde documenten
6.1	Publiekrechtelijke regelgeving
6.2	Normen / normatieve documenten:
I	Model IKB-schema of raam-IBK-schema
II	Ontwerp van een drainagesysteem (informatief)
1.	Het drainageplan
III	Opslag en transport van drainagemateriaal (informatief)
IV	Aanleg en oplevering (informatief)
V	Controle en onderhoud (informatief)
VI	Voorbeelden vrij uitstromende en samengestelde regelbare drainage

1 Inleiding

1.1 Algemeen

In deze BRL zijn naast de proceseisen voor het ontwerp, de aanleg en het onderhoud van drainagesystemen eisen opgenomen voor producten en systemen.

Drainagesystemen kunnen als volgt worden uitgevoerd:

- Vrij uitstromend: Enkelvoudig of samengesteld;
- Regelbaar: Enkelvoudig of samengesteld.

In bijlage IX zijn voorbeelden opgenomen van vrij uitstromende en (samengestelde) regelbare drainagesystemen.

Voor het deugdelijk functioneren moeten vrij uitstromende en (samengestelde) regelbare drainagesystemen tenminste bestaan uit de volgende componenten en de daarbij behorende producten:

1. Draineerbuizen;
2. Verzamelbuizen of hoofdleidingen (optioneel);
3. Regelputten of regelpunten (regelbare drainage);
4. Hulpstukken zoals drainageputten, T stukken, doorspoelvoorzieningen en klikmoffen.

Andere voorzieningen voor bijvoorbeeld de inlaat van water in het samengestelde regelbare drainagesysteem kunnen zijn:

- Pompputten;
- Inspectieputten of inspectievoorzieningen;
- Taludgoten.

1.2 Toepassingsgebied

De richtlijn is van toepassing op de aanleg van drainagesystemen voor de ontwatering en/of infiltratie van gronden ten behoeve van land- en tuinbouw, bouwrijp maken van bouwlocaties, natuurterreinen, sport-, en recreatieterreinen en op de hierin toegepaste producten.

1.3 Eisen en bepalingmethoden

In deze beoordelingsrichtlijn zijn eisen en bepalingmethoden vastgelegd. Daaronder wordt verstaan:

1.3.1 Eisen

Functionele eisen: essentiële eisen die aan een product gesteld moeten worden om het product door de gebruiker veilig te kunnen gebruiken en functioneel is voor het doel waar het voor bedoeld is.

Proceseisen: geconcretiseerde eisen waaraan het proces moet voldoen, zonodig met inbegrip van de daarbij aan te houden condities en randvoorwaarden waaronder het proces mag of moet plaats vinden.

Systeemeisen: in maten of getallen geconcretiseerde eisen die zijn toegespitst op bepaalde (functionele) eigenschappen van het systeem en die een te behalen grenswaarde bevatten die ondubbelzinnig kan worden berekend of gemeten.

Producteisen: in maten of getallen geconcretiseerde eisen die zijn toegespitst op de (identificeerbare) eigenschappen van de in het bouwdeel (component) toegepaste producten en die een te behalen grenswaarde bevatten die ondubbelzinnig kan worden berekend of gemeten.

2 Terminologie

2.1 Afkortingen en definities

In deze beoordelingsrichtlijn wordt verstaan onder:

1. BRL: Beoordelingsrichtlijn.
2. Buizenkast: Onderdeel van de draineermachine waardoor de draineerbuis wordt geleid.
3. CI: Certificatie-instelling.
4. Doorspoelvoorziening: Een voorziening in de drainagebuis om deze schoon te spoelen.
5. Drainageplan: Een op schrift gesteld bestek waarin alle van toepassingen zijnde technische parameters zijn opgenomen zoals diepte, afstand, diameter, verhang, diepteligging, type omhullingsmateriaal en sleufvulling.
6. Drainagesysteem: een systeem van ondergrondse (geperforeerde) buizen dat grondwater uit de grond opneemt en verwijdert dan wel aangevoerd water de grond inbrengt.
7. Draineerbuis: een in de grond aangebrachte geperforeerde buisleiding ten behoeve van de beheersing van de grondwaterstand. Deze buisleiding bestaat uit een draineerbuis of meerdere aaneengesloten draineerbuizen met inbegrip van de daarin opgenomen hulpstukken en voorzieningen (samengestelde drainage).
8. Enkelvoudige drainage: een drainagesysteem waarbij de draineerbuizen alle afzonderlijk in open water uitmonden.
9. Geribbelde draineerbuis: een flexibele geperforeerde buis van kunststof in ribbelform. De ribbels verlopen in de vorm van parallelle ringen.
10. Horizontale drainage: een drainagesysteem waarbij de draineerbuizen horizontaal of onder een gering verhang worden aangelegd. Het drainagesysteem kan enkelvoudig of samengesteld zijn.
11. Hulpstukken: Spruitstukken, verloopstukken, ontstoppingstukken, eindkappen, eindbuizen en taludgoten.
12. IKB-schema: een beschrijving van de door de leverancier uitgevoerde kwaliteitscontroles, als onderdeel van zijn kwaliteitssysteem.
13. Omhullingsmateriaal: een poreus, vezelig of granulair materiaal dat een draineerbuis geheel omsluit. Het omhullingsmateriaal heeft niet alleen als functie de overmatige inspoeling van bepaalde bodemdeeltjes te voorkomen (selectief filterende werking), maar tevens de wateropname door de draineerbuis te verbeteren (hydrologische werking). Als derde functie van het omhullingsmateriaal kan worden genoemd de bescherming van de draineerbuis tijdens opslag, transport en installatie.
14. Ontwateringsdiepte (ontwateringsbasis): De grondwaterstand uitgedrukt in diepte t.o.v. het maaiveld (cm-mv). Dit is de eindbuisdiepte bij vrij uitstromende of regelhoogte bij regelbare drainage, waarbij de drainafvoer stopt.
15. Opdrachtgever: de partij die opdracht verleent voor de aanleg van het drainagesysteem.
16. Opdrachtnemer: de partij die er voor verantwoordelijk is dat processen en/of producten bij voortdurend voldoen aan de eisen waarop de certificatie is gebaseerd;
17. Regelbaar drainagesysteem: een drainagesysteem dat is aangesloten op een regelput of sloot met een regelbaar peil (stuw).
18. Regelbuis: een buis waarmee één of meerdere waterniveaus in een regelput of regelpunt kunnen worden ingesteld.
19. Regelput of -punt: een put of punt waarin de verzamelbuis of draineerbuis uitmondt en waar de drainagebasis met behulp van de regelbuis wordt ingesteld.

20. Samengestelde drainage: een drainagesysteem waarbij de draineerbuisen worden aangesloten op een verzamelbuis.
21. Samengesteld regelbaar drainagesysteem: een samengesteld drainagesysteem dat is aangesloten op een regelput of sloot met een regelbaar peil (stuw).
22. Sleufdrainage: een installatiemethode voor drainage waarbij de draineerbuisen worden gelegd in op vereiste diepte gegraven sleuven welke na het leggen van de draineerbuisen worden opgevuld met de ontgraven grond en/of ander materiaal.
23. Sleufloze drainage: een installatiemethode voor drainage waarbij de draineerbuisen worden gelegd in een, door een V-vormig mes op vereiste diepte gemaakte ruimte in de grond. De draineerbuis wordt via een opening aan de achter-onderzijde van het V-vormige mes in de grond gebracht.
24. Sleufvulling: een materiaal dat bij de drainageaanleg op (en/of onder) de draineerbuis wordt aangebracht.
25. Taludgoot: Een voorziening aan de eindbuis in de vorm van een goot waarlangs het uitstromende water in de sloot wordt geleid (ter bescherming van het sloottalud).
26. Verhang: Het verloop in installatiediepte in de stroomrichting van de draineerbuis (bij positief verhang naar beneden en bij negatief verhang naar boven).
27. Verzamelbuis: een buis waarop bij samengestelde drainage, de drainbuisen zijn aangesloten en die het water transporteert naar de sloot of regelput.

3 Proceseisen en bepalingsmethoden

3.1 Algemeen

In dit hoofdstuk zijn de eisen opgenomen waaraan processen voor het aanleggen van samengestelde regelbare drainagesystemen moeten voldoen.

3.2 Procesomschrijving

3.3 Procesopbouw

Het proces is als volgt vorm gegeven in de volgende processtappen.

Input	Processtap	Output	Proceseigenaar
Technische parameters	4.4 ONTWERP	Drainageplan	Gecertificeerd installateur op basis van BRL1411
Drainageplan	4.5 AANLEG EN INSTALLEREN	Installatie / Revisie drainageplan	Gecertificeerd installateur op basis van BRL1411
Installatie welke functioneert	4.6 OPLEVEREN	Rapport van Oplevering / Logboek/installatie certificaat	Gecertificeerd installateur op basis van BRL1411
Controleovereenkomst	4.7 NAZORG	Controlerapport	Gecertificeerd installateur op basis van BRL1411

3.4 Ontwerp

3.4.1 Technische parameters

Het ontwerp moet worden uitgevoerd op basis van technische parameters die worden verkregen en vastgesteld met de volgende documenten:

1. Wetgeving of keur waterschap (*);
2. Klanteisen.

(*) Het waterschap hanteert soms voorschriften voor de ontwateringsdiepte. In het vastgestelde drainageplan moet dit worden vastgelegd en beschikbaar zijn voor de certificerende instantie.

3.4.2 Ontwerp

Richtlijnen voor het ontwerp zijn informatief vastgelegd in bijlage IV.

3.4.3 Drainageplan

Het ontwerp van een systeem wordt vastgelegd in een drainageplan dat is voorzien van een documentversie en (revisie)datum.

In het drainageplan moeten tenminste de volgende onderdelen worden opgenomen.

A1. Algemene informatie over het drainagesysteem:

- Doelstelling van de drainage: alleen ontwateren of ook infiltratie of waterconservering (regelbaar).;
- Bodemkundige onzekerheden die de werking van de drainage kunnen beïnvloeden: slecht doorlatende lagen of ijzerhoudend grondwater (zie kleur slotwater);

A2. Algemene informatie over de aanleg (deze informatie kan worden bijgehouden in een logboek):

- Datum/tijd aanvang en gereedkomen installatie;
- Betrokken personen;
- Grondwaterstand;
- Weersomstandigheden;
- Bijzonderheden.

A3. Perceel:

Een tekening, kaart of omschrijving van de omvang en begrenzing van het perceel met daarop:

- Drainrichting;
- Drainagesloot;
- In geval van regelbare drainage het regelpunt;
- Kadastrale aanduiding;
- Winter en zomerpeil van de sloot waarop wordt ontwaterd (in cm -mv van het perceel).

A. Draineerbuis:

- Diameter;
- Materiaal;
- Afstand;
- Verhang: geen, positief of negatief (in ‰);
- (Gemiddelde) diepteligging ten opzichte van het maaiveld;
- Type omhullingsmateriaal en indien van toepassing de aard van de sleufvulling;
- Wijze van installatie (sleuf of sleufloze draineermachine);

B. Verzamelbuis:

- Diameter;
- Materiaal;
- Stijfheidsklasse;
- Type buis zoals glad, gestructureerd, wel of geen perforaties;
- Doorspuitvoorziening (optioneel).

C. Regelpunt:

- Hoofdafmetingen (hoogte, diameter, aansluitdiameters);
- Materiaal;

D. Ontwateringsdiepte:

- Eventueel lokaal maximaal voorgeschreven ontwateringsdiepte (door bijvoorbeeld het Waterschap).
- Bij regelbare drainage het instellingsbereik van het regelpunt. Aanleg en installeren

3.4.4 Drainageplan

De door de opdrachtgever ondertekende versie van het drainageplan moet worden gehanteerd voor de aanleg van het systeem.

3.4.5 Aanleg en installeren

3.4.5.1 Kwalificatie medewerkers

Voor het leggen van draineerbuizen is voldoende vakkennis betreffende materialen en uitvoering vereist. Het leggen van de drains moet daarom worden verricht door gekwalificeerde medewerkers. Medewerkers kunnen worden gekwalificeerd als ze een opleiding en ervaring hebben volgens tabel 1.

De inhoud van de opleiding moet worden goedgekeurd door de certificerende instantie en vervolgens vastgelegd in het IKB-schema. De beoordeling van de medewerkers vindt plaats tijdens het aanleggen van een proefveld dat wordt gecontroleerd op de technische specificaties volgens het drainageplan. Dit proefveld moet op de volgende manier worden gecontroleerd:

- Met een hoogtemeter op de juiste diepteligging in het verticale vlak.

De bevoegdheid om te kwalificeren ligt bij:

- Certificatie-instelling: kwalificatie van projectleiders;
- Projectleiders: kwalificatie van ontwerpers, machinisten en grondwerkers.

Tabel 1: Eisen opleiding en ervaring van de medewerkers.

	Ontwerper	Machinist	Grondwerker	Projectleider
Opleiding Algemeen	<ul style="list-style-type: none"> • MBO denk- en werk niveau. • Moet bekend zijn met de gangbare drainagenormen voor bodem- en bodemgebruiks-vormcombinaties. • 1) 	<ul style="list-style-type: none"> • VMBO denk- en werkniveau. • 1). 	<ul style="list-style-type: none"> • VMBO denk- en werkniveau. • 1) 	<ul style="list-style-type: none"> • MBO denk- en werkniveau • 1)
Ervaring Algemeen	<ul style="list-style-type: none"> • 2 jaar relevante werkervaring • deelname aan minimaal vier ontwerpen en één ontwerp zelfstandig uitgevoerd onder supervisie. 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 jaar in draineerwerk bedrijven waarin minimaal aan vier projecten werd deelgenomen terwijl minimaal één project zelfstandig werd uitgevoerd onder supervisie 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 jaar in aannemerij bedrijven waarin minimaal aan vier projecten werd deelgenomen terwijl minimaal één project zelfstandig werd uitgevoerd onder supervisie 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 jaar werkervaring waarvan tenminste 1 jaar m.b.t. drainage

1) Een basistraining draineertechniek is in ontwikkeling en moet bij voorkeur zijn gevolgd.

3.4.5.2 *Draineermachines en meetapparatuur*

De laser in het veld en op de draineermachine moet zijn gekalibreerd door een hiervoor erkend bedrijf. Voor de kalibratie-frequentie gelden de gebruiksvoorschriften van de leverancier.

3.4.5.3 *Draineermachines en diepteligging*

De draineermachine moet één keer per twee jaar worden gecontroleerd op diepteligging van de gelegde draineerbuizen door een inspectiebedrijf dat is toegelaten door de certificerende instantie. De certificerende instantie voert periodiek controles uit op diepteligging, volgens tabel 8.1.

De hoogteligging mag niet meer afwijken dan de halve diameter van de buis ten opzichte van de hartlijn waaronder de buis wordt geïnstalleerd.

De controle van de diepteligging vindt plaats door een peilschaal te bevestigen op de buizenkast van de draineermachine, en gedurende tenminste 300 meter, af te lezen tijdens het draineren (zie tevens bijlage IV).

In het controlerapport moeten de volgende specificaties worden opgenomen:

- Type machine;
- Identificatienummer, of - code van de machine;
- Afstand tussen de laseropstelling en de draineermachine tijdens de meting;
- Meetresultaat.

In de bijlagen IV en VI zijn ter informatie aandachtspunten opgenomen.

3.4.6 *Installatie en revisie drainageplan*

Indien het ontwerp van het systeem tussentijds of in het werk wordt gewijzigd dan moet het drainageplan worden gereviseerd en de documentversie en revisiedatum hierop worden vastgelegd.

3.5 **Opleveren**

3.5.1 *Installatie welke functioneert*

Het (gereviseerde) drainageplan is het document dat wordt gehanteerd bij het opleveren van de installatie. In dit drainageplan wordt de daadwerkelijk geïnstalleerde drainage omschreven alsmede de afwijkingen van het oorspronkelijke drainageplan en de doelstellingen.

3.5.2 *Opleveren*

3.5.2.1 *Oplevering juiste aanleg, installatie en werking*

Tijdens de oplevering moet visueel worden gecontroleerd of alle onderdelen in de installatie volgens het drainageplan zijn uitgevoerd en functioneren.

3.5.2.2 *Inspectie juiste ligging*

Steekproefsgewijs moet de installatie worden gecontroleerd op een juiste ligging en kwaliteit door middel van een camera inspectie of doorsteekapparaat, door een inspectiebedrijf dat is toegelaten door de certificerende instantie. De certificerende instantie voert periodiek steekproefsgewijs controles uit op juiste constructie en goede werking, volgens tabel 8.1.

De controle moet plaatsvinden op tenminste 100 meter buislengte. De buizen mogen geen breuk, scheur of verstoppingen vertonen. De diepteligging mag niet meer

afwijken dan de halve diameter van de buis ten opzichte van de hartlijn waaronder de buis wordt geïnstalleerd.

3.5.3 Rapport van oplevering

- Het uitgevoerde drainageplan(al dan niet gereviseerd) moet worden gehanteerd als een rapport van oplevering dat door de opdrachtgever en installateur wordt ondertekend en gedateerd na de oplevering.

3.6 Nazorg (optioneel)

3.6.1 Controleovereenkomst

Nazorg wordt vastgelegd in een controleovereenkomst met daarin de controle aspecten, - frequentie en -werkzaamheden, die beschikbaar moeten zijn voor de CI tijdens inspecties.

3.6.2 Nazorg

3.6.2.1 Nazorg

De nazorg moet plaatsvinden conform de controleovereenkomst (zie bijlage VII).

3.6.2.2 Reiniging

In bijlage VII is informatie opgenomen over het onderhoud aan drainagesystemen.

3.6.2.3 Controlerapport

In het controlerapport moet elke controle en onderhoud door de opdrachtgever en installateur worden ondertekend en gedateerd.

3.7 Certificatiemerk

Gecertificeerde processen moeten een certificatiemerk bevatten dat, op het drainageplan en op de regelputten, op de volgende wijze is aangebracht:

- Naam installateur of handelsmerk;
- KOMO en certificaatnummer;
- BRL-nummer.
- Installatiedatum.

4 Systeemeisen en bepalingmethoden

4.1 Algemeen

Buisdrainagesystemen van kunststof moeten de overtollige neerslag in voldoende mate afvoeren. In dit hoofdstuk zijn de systeemeisen opgenomen waaraan buisdrainagesystemen moeten voldoen.

4.2 Opbouw van het systeem

In artikel 1.1 zijn de volgende componenten beschreven die het systeem moet bevatten:

1. Draineerbuizen;
2. Verzamelbuizen of hoofdleidingen (optioneel);
3. Regelputten of regelpunten (regelbare drainage);
4. Hulpstukken zoals drainageputten, T stukken, doorspoelvoorzieningen en klikmoffen.

Optioneel kunnen de volgende componenten worden toegepast:

5. Pompputten;
6. Inspectieputten of inspectievoorzieningen.

In het drainageplan volgens artikel 4.4.3 worden de specificaties van het systeem vastgelegd.

4.3 Draineerbuisdiepte, -afstand, -helling

De draineerdiepte en -afstand zijn afhankelijk van de grondsoort, de doorlatendheid van de grond en de teelt. Informatie over de berekening is opgenomen in bijlage IV.

4.4 Verwerkingsrichtlijnen

Ten aanzien van de verwerking en installatie van de producten dienen de leverancier van de producten en de installateur te beschikken over installatierichtlijnen waarin onder meer aanwijzingen zijn opgenomen voor:

- het plaatsen van de buizen en putten;
- het maken van de verbindingen en aansluitingen;
- de inspectie- en doorspoelvoorziening.

4.5 Maximale ontwateringsdiepte

De maximale ontwateringsdiepte van het systeem moet worden aangebracht in de regelputten conform het drainageplan.

5 Producteisen en bepalingmethoden

5.1 Algemeen

In dit hoofdstuk zijn de eisen opgenomen waaraan producten, toegepast in samengestelde regelbare drainagesystemen moeten voldoen.

5.2 Producteisen draineerbuis-leidingen

De eisen te stellen aan de producten zijn vastgelegd in:

Nummer	Titel
BRL 1401	Geribbelde draineerbuisen van ongeplasticiseerd PVC
BRL 1402	Omhuilingsmateriaal van kokosvezel voor draineerbuisen
BRL 1404	Cilindrische moffen van ongeplasticiseerd PVC met klikverbinding voor geribbelde draineerbuisen
BRL 1408	Omhuilingsmateriaal van polystyreenkorrels met een casing van polyetheennet voor draineerbuisen
BRL 1409	Omhuilingsmateriaal van kunststofvezel voor draineerbuisen
BRL 1410	Geribbelde draineerbuisen, klikmoffen en eindbuisen van PE, PP en mengsels daarvan

Aansluit- of T-stukken die in een aangeboord gat worden gemonteerd moeten volgens de installatierichtlijn van de producent worden geïnstalleerd. Deze installatierichtlijn moet beschikbaar zijn bij de certificaathouder(s) en de certificerende instantie.

5.3 Producteisen verzamelbuis-leidingen

De eisen te stellen aan de producten zijn vastgelegd in:

Nummer	Titel
BRL 1401	Geribbelde draineerbuisen van ongeplasticiseerd PVC
BRL 1404	Cilindrische moffen van ongeplasticiseerd PVC met klikverbinding voor geribbelde draineerbuisen
BRL 1410	Geribbelde draineerbuisen, klikmoffen en eindbuisen van PE, PP en mengsels daarvan
BRL 2023	PVC buizen en hulpstukken met gestructureerde wand voor buiten- en binnenriolering
BRL 9208	Buizen en hulpstukken met gestructureerde wand vervaardigd uit polyolefinen bestemd voor buitenriolering onder vrij verval
BRL 52200	Kunststofleidingssystemen voor vrij verval buitenriolering

De volgende producten moeten voldoen aan de eisen in BRL.2023, BRL.9208 of BRL.52200:

- PVC-buizen met aangevormde mof;
- Buizen uit polyolefinen met aangevormde mof.

Aansluit- of T-stukken die in een aangeboord gat worden gemonteerd moeten volgens de installatierichtlijn van de producent worden geïnstalleerd. Deze installatierichtlijn moet beschikbaar zijn bij de certificaathouder(s) en de certificerende instantie.

5.4 Producteisen (regel)putten en regelpunten

De eisen te stellen aan de producten kunnen worden gevonden in:

Nummer	Titel
BRL 2017	Thermoplastische kunststof putten voor rioolstelsels
BRL 2021	Straatkolken van kunststof
BRL 2023	PVC buizen en hulpstukken met gestructureerde wand voor buiten- en binnenriolering
BRL 9202	Betonnen putten
BRL 9208	Buizen en hulpstukken met gestructureerde wand vervaardigd uit polyolefinen bestemd voor buitenriolering onder vrij verval
BRL 52200	Kunststofleidingssystemen voor vrij verval buitenriolering

Aansluit- of T-stukken die in een aangeboord gat worden gemonteerd moeten volgens de installatierichtlijn van de producent worden geïnstalleerd. Deze installatierichtlijn moet beschikbaar zijn bij de certificaathouder(s) en de certificerende instantie.

Regelputten moeten voorzien zijn van ontluchting.

Certificatiemerk regelputten

In aanvulling op de eisen voor het merken van de regelputten geldt dat het volgende in het merk is aangebracht:

- Maximale ontwateringsdiepte van de put.

6 Lijst van vermelde documenten

6.1 Publiekrechtelijke regelgeving

In de keur van het Waterschap zijn eventuele eisen opgenomen.

6.2 Normen/ normatieve documenten:

Nummer	Titel
BRL 1401	Geribbelde draineerbuizen van ongeplasticiseerd PVC
BRL 1402	Omhuilingsmateriaal van kokosvezel voor draineerbuizen
BRL 1404	Cilindrische moffen van ongeplasticiseerd PVC met klikverbinding voor geribbelde draineerbuizen
BRL 1408	Omhuilingsmateriaal van polystyreenkorrels met een casing van polyetheennet voor draineerbuizen
BRL 1409	Omhuilingsmateriaal van kunststofvezel voor draineerbuizen
BRL 1410	Geribbelde draineerbuizen, klikmoffen en eindbuizen van PE, PP en mengsels daarvan
BRL 2017	Thermoplastische kunststof putten voor rioolstelsels
BRL 2021	Straatkolken van kunststof
BRL 2023	PVC buizen en hulpstukken met gestructureerde wand voor buiten- en binnenriolering
BRL 9202	Betonnen putten
BRL 9208	Buizen en hulpstukken met gestructureerde wand vervaardigd uit polyolefinen bestemd voor buitenriolering onder vrij verval
BRL 52200	Kunststofleidingssystemen voor vrij verval buitenriolering
BRL 52200	Kunststofleidingssystemen voor vrij verval buitenriolering
NEN-EN 45011: 1998	General requirements for bodies operating product certification systems
NEN-EN-ISO/IEC 17020: 2004	General criteria for the operation of various types of bodies performing inspection
NEN-EN ISO/IEC 17021: 2011	Conformity assessment - Requirements for bodies providing audit and certification of management systems
NEN-EN-ISO/IEC 17024: 2003	Conformity assessment - General requirements for bodies operating certification of persons
NEN-EN-ISO/IEC 17025: 2005	Algemene eisen voor de bekwaamheid van beproevings- en kalibratielaboratoria

I Model IKB-schema of raam-IKB-schema

Onderwerpen	Aspecten	Methode	Frequentie	Registratie
Grondstoffen c.q. toegeleverde materialen: <ul style="list-style-type: none"> • Ingangscontrolle onderdelen. 				
Productieproces, productieapparatuur, materieel: <ul style="list-style-type: none"> • Procedures • Werkinstructies • Apparatuur • Materieel • Opleiding en ervaring 				
Eindproducten				
Meet- en beproevingsmiddelen <ul style="list-style-type: none"> • Meetmiddelen • Kalibratie • Laser 				
Logistiek <ul style="list-style-type: none"> • Transport • Opslag • Verpakking • Identificatie c.q. merken van half- en eindproducten 				

II Ontwerp van een drainagesysteem (informatief)

1. Het drainageplan

Het ontwerp van een systeem moet worden vastgelegd in een drainageplan. In het drainageplan moeten de volgende onderdelen worden opgenomen zoals opgenomen in artikel 4.4.3.

2 Diepte, afstand en diameter van de draineerbuizen

De diepte en afstand zijn gerelateerd. Ze worden bepaald door de volgende factoren:

- de doorlatendheid van de bodem,
- de realiseerbare drooglegging en de maatgevende opbolling van het grondwater tussen de draineerbuizen,
- de maatgevende drainafvoer en de diepte van ondoorlatende lagen.

De bovenstaande factoren dienen in een drainagevooronderzoek te worden bepaald.

De diepte en de afstand van de drainbuizen kunnen uit de gevonden factoren worden berekend en vastgesteld. Als minimale draindiepte dient bij voorkeur 0,70 m te worden aangehouden in verband met wortelgroei, diepere grondbewerkingen, vorstvrije ligging. De diepte dient constant te zijn ten opzichte van het referentieniveau. De diameter in combinatie met de drainafstand moet afgestemd zijn op de maatgevende drainafvoer, die voortvloeit uit de te ontwateren oppervlakte (draineerbuis-afstand maal draineerbuis-lengte) en de maatgevende opbolling. De optimale draindiepte is opgenomen in tabel 1.

Tabel 1: Optimale draindiepte voor de drainage van landbouwgrond (bron: Huinink, J. *AdFundum* 1988-7; pp1-9)

<i>bovengrond (35 cm)</i>	<i>moerig</i>	<i>zand + löss</i>	<i>lichte zavel</i>	<i>zware zavel</i>	<i>klei</i>
ondergrond v.a. 35 cm:					
veen:	95	95	100	95	90
zand:					
< 8% leem	85	85	80	80	80
16% leem	90	90	105	90	90
> 32,5% leem	100	100	110	100	100
zavel/klei:					
10% lutum	100	100	120	110	110
15% lutum	100	100	120	105	115
25% lutum	100	100	110	105	115
> 35% lutum	100	100	110	105	120

3. Verhang van de drainbuizen

Voor 1980 werden draineerbuizen onder een vooraf gekozen positief verhang gelegd om de weerstand tegen stroming in de buis zelf te overwinnen. De beschikbare grondwaterstand boven de buis werd volledig beschikbaar geacht voor stroming naar de buis waarmee de drainafstand werd berekend. Een nadeel van draineerbuizen onder positief verhang is dat zodra het grondwater boven de buis stijgt en deze begint vol te stromen, de lucht in de buis door de natte bodem naar boven moet ontwijken, en dus de oppervlaktespanning van het water in de bodemporiën (en buisperforaties) moet zien te overwinnen.

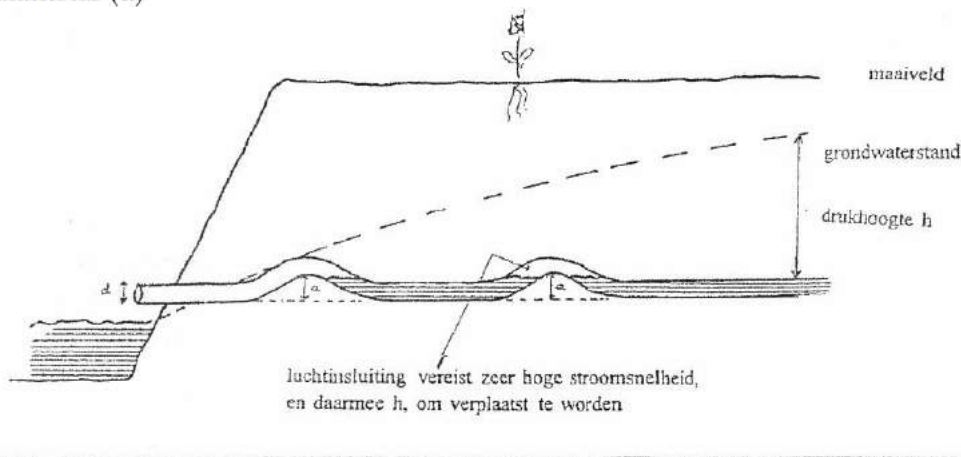
Tegenwoordig kan met behulp van computerprogramma's de benodigde drukhoogte voor stroming in de buis worden geoptimaliseerd, waardoor de draineerbuizen parallel aan het maaiveld kunnen worden gelegd. Hierdoor krijgt het gehele perceel eenzelfde ontwateringsbasis.

Bij drainage kan het wenselijk zijn om het systeem onder tegengesteld (negatief) verhang aan te leggen, zodat eventueel aanwezige luchtbelllen altijd kunnen ontsnappen.

4. Diepteligging van de drainbuizen

Bij een onregelmatige diepteligging van de drain kan de in de drain optredende stromingsweerstand ontoelaatbaar hoog worden ten gevolge van luchtsloten in relatief hogere delen en inslibbing in lagere delen. Een afwijking van de diepteligging kan een verhoging van de stromingsweerstand veroorzaken en tot een verhoogde grondwaterstand kan leiden (zie afb. 1).

Afb. 1: Risico voor luchtinsluitingen is groot indien afwijking in diepte (a) groter is dan buisdiameter (d)



Deze mogelijke afwijkingen hebben geleid tot de volgende eisen met betrekking tot de diepteligging van de drain, die algemeen in de standaardbepalingen bij bestekken en overeenkomsten zijn opgenomen.

- De afwijking van de binnen-onderkant van de draineerbuis ten opzichte van de voorgeschreven verhanglijn mag niet meer dan de helft van de inwendige diameter van de drain bedragen.
- De in sub 1 bedoelde afwijking mag nergens zodanig zijn dat als gevolg van een negatief verhang op enige plaats in de draineerbuis het water boven de aslijn van de buis kan blijven staan.

5.Omhullingsmateriaal

De volgende factoren moeten worden geïnventariseerd en opgenomen in het drainageplan:

- het leemgehalte en de zandgrofheid (M50) bij zand- en leemgronden;
- het lutumgehalte bij zavel- en kleigronden;
- wel of geen aanwijzingen voor ijzerrijk grondwater (blauwe olieachtige vlekken op het slootwater, bruin of rood slootwater, voorkomen van oerbanken in de bodem);
- de rijping van zavel en kleigronden (op de voorgenomen draaindiepte);
- het voorkomen van moerige veenlagen in het bodemprofiel.

Deze bepaling kan ook fysiek in het veld worden uitgevoerd door een vakbekwaam persoon met voldoende ervaring op dit gebied en met behulp van eenvoudige testapparatuur.

Via de onderstaande tabel 2 dient vervolgens de voor de toepassing geschikte omhulling te worden geselecteerd.

Tabel 2: Toepassingsmogelijkheden van de meest gebruikte, KOMO-gecertificeerde omhullingsmaterialen (bron: Huinink, J. Herziening keuzetabel drainageomhullingsmateriaal; Landinrichting 1992/32 3 pp31-33)

	Grondsoort ¹⁾							
	Klei > 25% lutum)		Overige klei, zavel, en zeer fijn zand		Sterk lemig zand + löss	Overig zand (<17% leem)		Veen
	Profiel volledig gerijpt?				M50			
	ja	nee	ja	nee	<100		>100	
Poriegrootte omhullingsmateriaal O ₉₀ (in µm)	²⁾	300-1500	50-700 ³⁾	450 of 700 ⁴⁾	450-1500 ⁵⁾	50-400 ⁶⁾	300-1500 ⁵⁾	450-1500 ⁵⁾

- 1) in gelaagde bodemprofielen uitgaan van het lichtste materiaal;
- 2) geen omhulling nodig;
- 3) ca. 700 bij ijzerrijk grondwater en/of indien drains voor infiltratie worden gebruikt;
≥ 450 indien er een veenlaag in het profiel voorkomt;
50 - 200 bij uiterst fijn zand (M%0 <100);
- 4) sleuf op drainniveau vullen met gerijpt doch humus arm materiaal;
- 5) ≥ 700 bij ijzerrijk grondwater en/of indien drains voor infiltratie worden gebruikt;
- 6) ca. 400 indien het grondwater ijzerrijk is.

6. Sleufvulling

De draineerbuis, die niet sleufloos wordt gelegd, moet direct na het leggen in de gegraven sleuf worden afgedekt met een laag van de aanwezige goed doorlatende ondergrond van circa 0,10 in dikte of met een voorgeschreven laag afdek materiaal. Bij voorkeur humusarme grond aanbrengen in verband met de kans op zwelling en daarmee de afname van de waterdoorlatendheid.

Bij aanvulling van de sleuf met uitkomende grond moet dan ook eerst een laag goed doorlatende grond of doorlatend zand uit de zijkant van de sleuf op de draineerbuis worden aangebracht.

Bij aanleg van draineerbuizen in slecht doorlatende grond, in grond waaraan hoge eisen aan een snelle ontwatering worden gesteld (sportvelden) of in grond die door middel van de draineerbuis wordt geïnfiltrerd, wordt vaak een sleufaanvulling met grof afdek materiaal toegepast. Het is van belang deze sleufaanvulling van bijv. goed doorlatend grof zand, grindzand, schelpen en dergelijke zorgvuldig aan te brengen. Bij slecht gerijpte grond of versmering van de zijwand van de sleuf bij gebruik van een kettinggraver, wordt aanbevolen de sleuf te laten uitdrogen voordat deze wordt gedicht.

De sleuf dient op de dag van ontgraving zodanig te worden aangevuld, dat geen inspoeling kan plaats hebben en de nazakking beperkt blijft.

7. Terrein- en weersomstandigheden bij aanleg drainage

Terrein- en weersomstandigheden zijn tijdens de aanleg van groot belang voor een goede werking van de aan te leggen drainage. Ook de keuze van de wijze van aanleg (sleuf of sleufloos) kan hierbij een rol spelen. Een sleuf gravende draineermachine vereist een draagkrachtige bovengrond.

De grondwaterstand en het bodemvochtgehalte zijn verder een belangrijke factor. Bij een te hoog vochtgehalte van de grond boven de aan te leggen draineerbuis kan vooral bij slib houdende gronden versmering van de sleufwand ontstaan. De weerstand voor toestroming van grondwater naar de draineerbuis wordt hierdoor aanzienlijk groter en de grondwaterafvoer stagneert. Deze weerstand kan zowel bij sleuf gravende als bij sleufloze draineermachines ontstaan. Aanleg van drainage in gronden met een dusdanig gehalte aan bodemvocht, dat versmering van de sleufwand kan optreden dient te worden ontraden. Aanleg van drainage dient bij voorkeur te geschieden in perioden, dat de grondwaterstand onder het drainniveau ligt.

III Opslag en transport van drainagemateriaal (informatief)

1. Opslag

Tijdens het productieproces worden de draineerbuisen opgerold tot kernloze rollen welke met een bindmateriaal worden vastgebonden. De afmetingen van de rollen (breedte en diameter) zijn afhankelijk van de buisdiameter en de lengte van de opgerolde buis. De buislengte per rol wordt in het algemeen kleiner bij een grotere buisdiameter.

Na de fabricage worden de rollen meestal liggend gestapeld en bij voorkeur niet hoger dan 6 rollen. Bij langdurige opslag is het belangrijk dat de druk op de onderste rol beperkt blijft om mogelijke vervorming van de buis te voorkomen. Algemeen is de draineerbuis bij genoemde stapeling vormbestendig. De rollen dienen te worden gestapeld op een vlakke ondergrond, welke vrij is van stoffen die de buizen kunnen aantasten of beschadigen. Dit geldt zowel voor niet omhulde als omhulde draineerbuisen.

Bij langdurige opslag (langer dan één maand) dienen de rollen van niet omhulde draineerbuisen en draineerbuisen met een omhulling van synthetische materialen tegen de inwerking van direct zonlicht (ultraviolette straling) te worden beschermd. Hiertoe kunnen de rollen binnen worden opgeslagen of worden afgedekt met dekzeilen die over en naast de opgestapelde rollen worden aangebracht.

Drainagehulpstukken dienen bij voorkeur verpakt en binnen te worden opgeslagen.

2. Transport

Zowel het laden, het transporteren als het lossen van drainagematerialen dient in verband met de kwetsbaarheid van het product zorgvuldig te geschieden. Ten behoeve van het transport dienen de rollen zodanig op het transportmiddel te worden geplaatst dat deze tijdens het vervoer niet kunnen gaan schuiven.

Door het schuiven en het stoten kunnen de draineerbuisen en/of het omhullingsmateriaal worden beschadigd. Touwen die over de lading worden aangebracht dienen niet te strak te worden gespannen om insnoeringen van en deuken in de draineerbuisen te voorkomen. De schotten en de vloer van de wagens dienen vrij te zijn van scherpe, uitstekende voorwerpen.

Bij het lossen van de rollen dient rekening te worden gehouden met het oppervlak waarop men de rollen laat vallen en de valhoogte. De rollen mogen nimmer rechtstreeks vanaf de auto op een verhard oppervlak vallen, doch moeten worden opgevangen door middel van een vooraf neergelegde en afgedekte rol, een stootkussen of iets dergelijks. Door kleine oneffenheden kunnen de buizen worden beschadigd.

Bij het lossen op niet verharde oppervlakken dient de valhoogte beperkt te blijven tot maximaal 1 m. Bij een grotere valhoogte kan dezelfde methode worden toegepast als bij het lossen op verharde oppervlakken. Bij lage temperaturen dient men in verband met de verhoogde brosheid van PVC-materialen extra voorzichtig te zijn met het vervoeren en het lossen van deze materialen.

IV Aanleg en oplevering (informatief)

1. Kwalificatie medewerkers

Voor het leggen van draineerbuizen is voldoende vakkennis betreffende materialen en uitvoering vereist. Het leggen van de draineerbuizen moet daarom worden verricht door gekwalificeerde medewerkers. Medewerkers kunnen worden gekwalificeerd als ze een opleiding hebben gevolgd. De inhoud van deze opleiding moet worden goedgekeurd door de certificerende instantie en vervolgens vastgelegd in het IKB-schema. De kwalificatie van de medewerkers geschiedt na het aanleggen van een proefveld dat wordt gecontroleerd op de technische specificaties volgens het drainageplan.

2. Laseropstelling en laserapparatuur

Aan de diepteligging van de draineerbuizen worden hoge nauwkeurigheidseisen gesteld. Om een juiste diepteligging van de draineerbuizen te realiseren wordt gebruik gemaakt van laserapparatuur om een referentieniveau in te stellen van waaruit de diepteregeling van de draineermachines gebeurt. Een goede werking en opstelling van de laserapparatuur is van groot belang. De te gebruiken apparatuur dient vooraf te worden gecontroleerd op onderhoud en werking en periodiek door een erkende instantie te worden gekalibreerd.

Bij de opstelling van de laserapparatuur dient gelet te worden op het volgende:

- het statief van de laserzender moet vast en stevig zijn en niet worden beïnvloed door trillingen en dergelijke. Bij slappe bodem (veen) is het gewenst de zender buiten het te draineren perceel of kavel te plaatsen
- de richting van het verhang van de laser moet overeenkomen met de drainrichting
- bij aanwezige hoogspanningsleidingen dient een opstelling onder de leiding te worden gekozen om de invloed op de laser te vermijden
- bij geconstateerde invloed van radar op het systeem het drainagewerk uitvoeren als de radar niet werkt of op verzoek is versteld
- bij goede weersomstandigheden als maximale afstand tot de laserzender 300 m aanhouden.
- Bij krachtige wind (windkracht 6 tot 7 op de schaal van Beaufort) deze maximale afstand beperken tot 200 m. Bij windkracht 7 geen draineerwerken uitvoeren.
- De rijsnelheid moet aan de omstandigheden worden aangepast.

3. Draineermachines (zie afb. 3)

Sleuf gravende draineermachine:

De breedte van de sleuf is bij een sleuf gravende draineermachine minimaal 0,20 m. De sleufbodem dient vlak te zijn. Bij de inzet van de draineermachine dient erop gelet te worden dat de slof van de draineermachine op de juiste hoogte wordt ingezet. Ter voorkoming van opdrijving en beschadiging dient met behulp van een aan de slof van de draineermachine bevestigde woeler een circa 0,10 tot 0,20 m dikke laag, goed doorlatende ondergrond uit de zijwand van de sleuf op de draineerbuis te worden aangebracht.

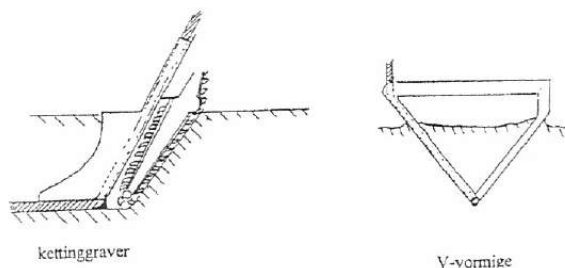
De sleuf dient met de uitkomende grond daarna regelmatig te worden aangevuld en zo nodig worden "aangereden". Wegens nazakking van de sleuf dient enige overhoogte te worden aangehouden.

Sleufloze draineermachine:

Bij sleufloze drainage is het gewenst, dat na het aanbrengen van de draineerbuis de grond boven de draineerbuis met een van de rupsen van de draineermachine in

tegengestelde richting bij de teruggang wordt aangereden. Bij zeer droge gronden kan deze wijze van verdichting onvoldoende zijn, vooral indien een verschuiving van de zode laag heeft plaatsgehad. In dat geval boven de draineerbuis aanrollen met een zware gladde rol in tegengestelde richting van het aanbrengen van de drain.

Afb.3 Typen draineermachines



4. Draineerbuisaanleg

Ter bevordering van een rechte ligging van de te leggen draineerbuis dient de draineerbuis onder geringe spanning te worden aangebracht. Deze spanning wordt tijdens het leggen door middel van drukrollen of door middel van de haspel op de draineerbuis aangebracht. De aan te houden spanning is verschillend per diameter buis en moet proefondervindelijk worden bepaald en vastgelegd.

Dit om te voorkomen dat de draineerbuis ten gevolge van een te grote spanning wordt gedeformeerd.

5. Eindbuis en taludgoot

Iedere draineerbuis die in een sloot uitmondt dient te worden voorzien van een talud beschermende eindbuis, dit wil zeggen een eindbuis met of zonder taludgoot. De eindbuis wordt door middel van een trekvlaste klikverbinding aan de draineerbuis bevestigd alvorens deze in de grond wordt gebracht.

Voorgeschreven taludgoten goed aansluitend aan de ondergrond aanbrengen, zodanig dat de bovenkant van de opstaande randen 0,05 m tot 0,10 m onder het vlak van het talud komt.

De taludgoot dient vanaf de eindbuis tot circa 0,20 m onder het slootpeil te worden aangebracht.

Het voordeel van een taludgoot is dat uitspoeling van het talud en uitholling onder de eindbuis wordt voorkomen en tevens de draineerbuizen zijn gemarkeerd.

Bij de inzet van de draineermachine moet de eindbuis met handkracht zorgvuldig op zijn plaats worden gehouden. Eindbuizen zijn ook te markeren met perkoenpalen horizontaal in het talud boven of verticaal naast de draineerbuis ingeheid.

6. Koppeling, T-stuk en eindkap

Trekvlaste koppelingen (cilindrische klikmof), T-stukken en eindkappen moeten voldoen aan de eisen in de betreffende BRL.

7. Controleputten en controlestukken

Controleputten en controlestukken dienen te worden aangebracht volgens het drainageplan. De controleputten en controlestukken moeten direct na het leggen van de draineerbuizen vakkundig en nauwkeurig op de juiste hoogte worden geplaatst.

De koppelingen tussen draineerbuizen moeten spanningsvrij en met trekvlaste klikverbindingen worden uitgevoerd. Bij de koppeling dient gelet te worden op de

spanning, waaronder de draineerbuis is gelegd (zie paragraaf 4). Te hoge spanning en onvoldoende trekvlaste koppelingen kunnen tot verstoring van de aansluiting leiden. De bodem van de controleputten dient tenminste 0,07 m beneden het niveau van de aansluitende draineerbuizen te worden aangebracht. Na het monteren van de controleputten en controlestukken dient de ontgraven montageput gelijkmatig en droog te worden aangevuld om verschuivingen of scheefstand te voorkomen. Er dient aandacht te worden besteed aan de markering van de doorspuitvoorziening moet duurzaam worden gemarkeerd zodat deze met een prikstang of metaaldetector gemakkelijk is te lokaliseren.

8. Revisietekeningen

Indien tijdens het werk wijzigingen aan de tekening in het drainplan plaatsvinden dan moeten deze wijzigingen in revisietekeningen worden vastgelegd.

Revisietekeningen moeten in het dossier van het drainplan worden bewaard om in de toekomst onderhoud aan het systeem te kunnen uitvoeren.

9. Controle van het resultaat

Een controle op de diepteligging en binnenkant van de draineerbuizen moet periodiek plaatsvinden door de draineur en aantoonbaar worden vastgelegd door de certificerende instantie.

V Controle en onderhoud (informatief)

Onderhoud

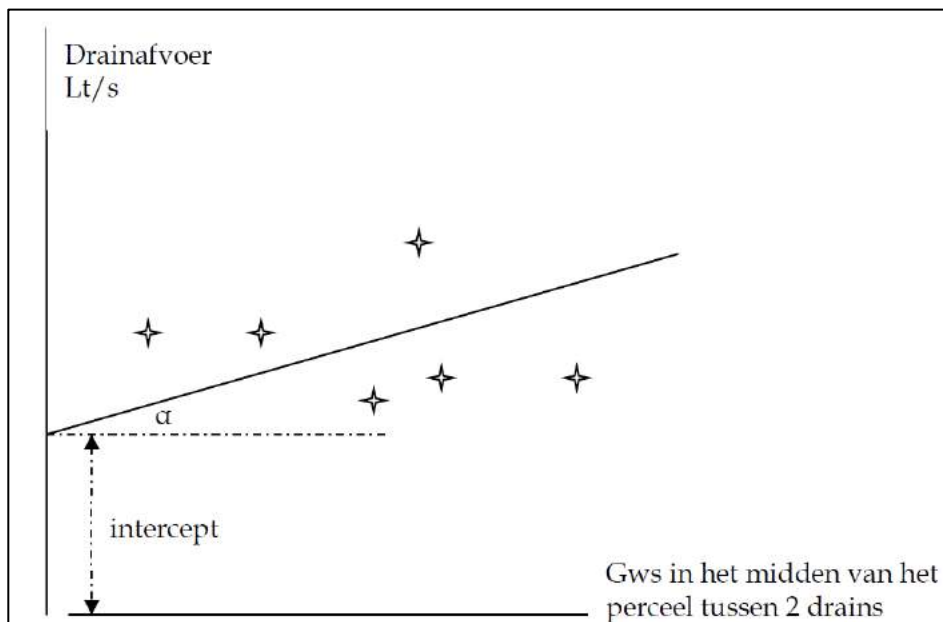
Voor het goed functioneren van het drainagesysteem is na de aanleg een regelmatige controle en onderhoud van de draineerbuisen nodig. De eindbuizen met taludgoten worden vaak met gras overgroeid of met grond bedekt. De waterafvoer uit de draineerbuis kan hierdoor ernstig stagneren.

Bij slootonderhoud of anderszins worden de eindbuizen nogal eens afgebroken, terwijl bij de afvoer van ijzerhoudend water zich vooral kort na de aanleg ijzerafzettingen in de eindbuis voordoen.

De eindbuizen met taludgoten dienen dan ook enkele malen per jaar te worden schoongemaakt, zo nodig gerepareerd en doorgestoken.

Met name bij een onjuiste keuze van het omhullingsmateriaal kan inspoeling van silt of zelfs fijn zand in de buis optreden die, evenals ijzerafzettingen, kunnen leiden tot verstopping in de drainbuis. Door kort na aanleg de drainafvoer en grondwaterstand gelijktijdig te meten en tegen elkaar uit te zetten verkrijgt men een referentie voor toekomstige metingen en kunnen veranderingen in drain functioneren (verstopping) worden vastgesteld.

Afb.4: Kengetallen voor drain functioneren (relatie tussen de drainafvoer en de grondwaterstand (gws))



Indien dit optreedt, kunnen de draineerbuisen worden doorgespoeld of doorgestoken. Bij regelbare systemen kan alleen worden doorgestoken of gespoeld als hiervoor op elke drainbuis een doorspuithulpstuk is aangebracht ter plaatse van de verzameldraineerbuis.

Bij ijzerafzetting kan doorsteken of -spoelen vrij snel na de aanleg nodig zijn. In de praktijk neemt ijzerafzetting in de loop van de tijd af, behalve in kwelgebieden. Bij het doorsteken /spoelen kunnen tevens andere verstoringen als verbroken verbindingen worden opgespoord. Het doorspoelen dient bij voorkeur tijdens drainafvoer te worden uitgevoerd. De frequentie waarmee de draineerbuizen worden doorgespoeld of doorgestoken is afhankelijk van de hydrologische en bodemkundige omstandigheden.

Meestal worden een half jaar na aanleg van de drainage enkele draineerbuizen als steekproef doorgestoken of gespoeld.

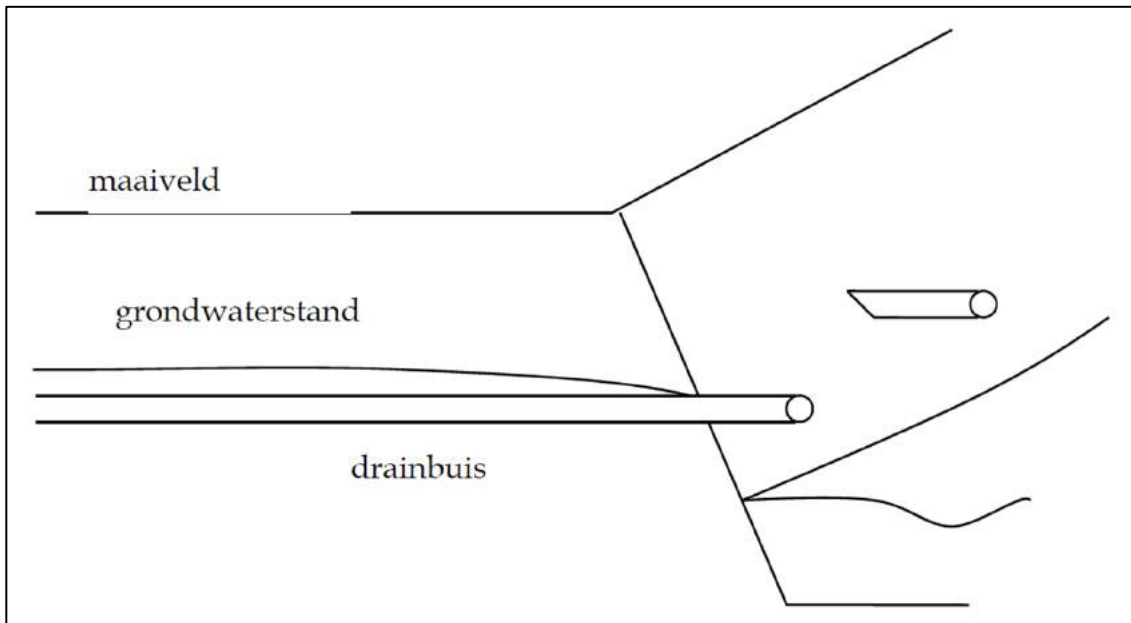
Afhankelijk van het resultaat wordt besloten of ook de resterende draineerbuizen worden gereinigd, zo niet dan kan de proef na een half jaar worden herhaald.

Bij doorspoelen mag de druk aan de spuitkop niet hoger zijn dan 10-12 bar.

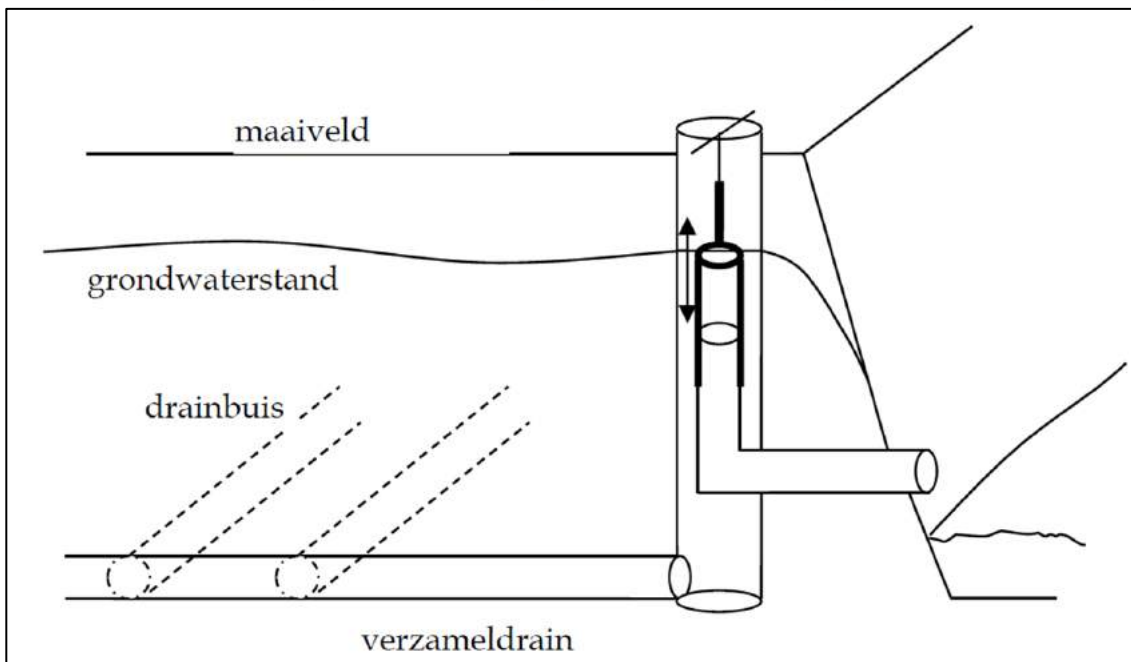
Hogere drukken kunnen zowel de bodemstructuur (doorlaatbaarheid), als de drainbuis en het omhullingsmateriaal ernstige schade geven en dienen daarom te worden vermeden.

VI Voorbeelden vrij uitstromende en samengestelde regelbare drainage

Afb. 4: Enkelvoudige vrij uitstromende drainage



Afb. 5: Samengestelde, regelbare drainage





Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

Meer informatie: www.wageningenUR.nl/alterra