



Pilot onderwaterdrains Krimpenerwaard

J.J.H. van den Akker, R.F.A. Hendriks, I.E. Hoving, B. Meerkerk, K. van Houwelingen,
J. van Kleef, M. Pleijter en A. van den Toorn



ALTERRA
WAGENINGEN UR

Pilot onderwaterdrains Krimpenerwaard

J.J.H. van den Akker, R.F.A. Hendriks, I.E. Hoving, B. Meerkerk, K. van Houwelingen,
J. van Kleef, M. Pleijter en A. van den Toorn

Alterra Wageningen UR
Wageningen, oktober 2013

Alterra-rapport 2466
ISSN 1566-7197

J.J.H. van den Akker, R.F.A. Hendriks, I.E. Hoving, J. van Kleef, B. Meerkerk, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2013. *Pilot onderwaterdrains Krimpenerwaard*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research Centre), Alterra-rapport 2466. 114 blz.; 43 fig.; 27 tab.; 31 ref.

Dit rapport beschrijft het onderzoek in 2011 en 2012 naar de pilot onderwaterdrains Krimpenerwaard, waarin voornamelijk het effect van onderwaterdrains op de waterkwantiteit (debieten) en de waterkwaliteit is onderzocht. De meetresultaten zijn uitgewerkt en geëvalueerd met de modellen SWAP en ANIMO. Daarnaast zijn de economische en bedrijfsmatige aspecten van onderwaterdrains voor de veehouderij onderzocht. Een overzicht van eerder en lopend onderzoek naar maaiveldddaling, waterkwantiteit, waterkwaliteit, bedrijfseconomische aspecten en effect op weidevogels is gegeven en betrokken in de conclusies. In de conclusies zijn ook de resultaten van pilots in de Keulevaart en Demmeriksekade betrokken (gerapporteerd in een volgend Alterra-rapport). De hoeveelheden in en uit te pompen water blijken in het algemeen toe te nemen. Het effect op de waterkwaliteit is in het algemeen neutraal of gunstig. Melkveehouders zijn in het algemeen positief over de effecten van onderwaterdrains.

Trefwoorden: ANIMO, fosfor, inlaatwater, interne eutrofiëring, Kaderrichtlijn Water (KRW), maaiveldddaling, modelberekeningen, nutriëntenbelasting, onderwaterdrains, oppervlaktewater, stikstof, sulfaat, SWAP, veen, veenafbraak, veenweide, waterkwaliteit.

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, T 0317 48 07 00, E info.alterra@wur.nl, www.wageningenUR.nl/alterra. Alterra is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

- 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.

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	19
	1.1 Achtergrond en probleemstelling	19
	1.1.1 Eerder en lopend onderzoek	19
	1.1.2 Pilots in het Groene Hart	21
	1.1.3 Probleemstelling	22
	1.1.4 Projectdoelstelling	23
	1.1.5 Leeswijzer	23
2	Methoden	25
	2.1 Proefveld en metingen	25
	2.1.1 Situatie en profielbeschrijvingen	25
	2.1.2 Inrichting proefvelden en metingen	25
	2.2 Modevaluatie en -analyse met SWAP en ANIMO	28
	2.2.1 SWAP	29
	2.2.2 ANIMO	36
3	Meetresultaten en discussie	39
	3.1 Maaiveldhoogten pilot Krimpenerwaard	39
	3.2 Grondwaterstanden pilot Krimpenerwaard	40
	3.3 Hoeveelheden in- en uitgepompt water pilot Krimpenerwaard	41
	3.4 Waterkwaliteit pilot Krimpenerwaard	41
	3.5 Grasopbrengsten in 2011 en 2012 en bedrijfskundige verschillen tussen de percelen met en zonder drains pilot Krimpenerwaard	43
	3.6 Draagkracht en geschiktheid voor weidevogels	45
4	Onderzoek naar de maximale lengte van onderwaterdrains en de kwaliteit van aanleg	47
	4.1 Onderzoek naar de maximale lengte van onderwaterdrains	47
	4.1.1 Inleiding	47
	4.1.2 Proefopzet bepaling maximale lengte van onderwaterdrains	48
	4.1.3 Resultaten en discussie metingen aan de maximale lengte van onderwaterdrains	49
	4.1.4 Conclusies betreffende de maximale lengte van onderwaterdrains	52
	4.2 Metingen aan de kwaliteit van aanleg van onderwaterdrains	52
	4.2.1 Inleiding	52
	4.2.2 De uitvoering	53
	4.2.3 Resultaten en conclusies van de test van de aanlegkwaliteit van onderwaterdrains	54
	4.2.4 Conclusies	57
5	Praktijkervaringen met onderwaterdrains en de economische haalbaarheid	59
	5.1 Onderwaterdrains in de praktijk: ervaringen en communicatie	59
	5.1.1 Verrichte activiteiten	59
	5.1.2 Hebben de bovenstaande punten bijgedragen aan de realisatie van de doelstellingen van dit project?	60

5.1.3	Welke praktijkkennis en informatie heeft dit project tot nu toe opgeleverd?	62
5.2	Economische haalbaarheid van onderwaterdrains	65
5.2.1	Graslandgebruik op natte veengrond	65
5.2.2	Onderwaterdrains verbeteren graslandgebruik en benutting nutriënten	66
5.2.3	Economie onderwaterdrains	66
6	Verwerking en evaluatie resultaten met modelonderzoek	71
6.1	Water	71
6.1.1	Analyse veldonderzoek	71
6.1.2	Scenario's van natte en droge jaren	80
6.2	Nutriënten	95
6.2.1	Analyse veldonderzoek	95
6.2.2	Scenario's van natte en droge jaren	98
7	Conclusies en aanbevelingen	101
7.1	Conclusies Krimpenerwaard	101
7.2	Algemene conclusies	101
7.3	Aanbevelingen	104
	Referenties	107
	Bijlage 1 Schets drains en indeling pilot Krimpenerwaard	109
	Bijlage 2 Boringen Krimpenerwaard, bedrijf M. de Vries	111

Woord vooraf

In de herfst na de droge zomer van 2003 is op het Praktijkcentrum Zegveld het initiatief genomen om onderwaterdrains toe te passen voor vermindering van de maaiveldddaling door veenafbraak en voor verbetering van de landbouwkundige productieomstandigheden in veenweidegebieden. Dit eerste onderzoek heeft samen met onderzoek op enkele andere locaties tot het inzicht geleid dat door de toepassing van onderwaterdrains de maaiveldddaling inderdaad sterk kan worden verminderd en de productieomstandigheden kunnen worden verbeterd. Vanuit het waterbeheer en het beleid waren er echter ook vragen over de effecten van toepassing van onderwaterdrains op onder andere de waterkwantiteit en de waterkwaliteit. Daarnaast waren er ook vragen in welke mate onderwaterdrains een aantrekkelijke optie zijn voor de melkveehouderij. Dit was reden voor de provincies Zuid-Holland en Utrecht om op semi-praktijkschaal (minimaal twee percelen met de sloot ertussen) onderzoek te initiëren en te coördineren, waarin een situatie met en zonder onderwaterdrains werd vergeleken in een drietal pilots: Krimpenerwaard, Keulevaart en Demmeriksekade. De pilot Krimpenerwaard ligt in het gebied van het Hoogheemraadschap Schieland en Krimpenerwaard. Het onderzoek naar deze pilot is onderwerp van dit rapport. Dit onderzoek is begeleid en gefinancierd door de provincie Zuid-Holland, het Hoogheemraadschap Schieland en Krimpenerwaard, LTO-Noord en het Hoogheemraadschap Rijnland. De pilot Keulevaart ligt in het gebied van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden. De pilot Demmeriksekade ligt in het gebied van het waterschap Amstel, Gooi en Vecht. Het onderzoek aan deze beide pilots is begeleid en gefinancierd door de provincie Utrecht, de twee eerder genoemde betrokken waterschappen en LTO-Noord. Het onderzoek naar deze twee pilots is in Alterra-rapport 2469 beschreven. Wel zijn de resultaten en conclusies van alle onderzoeken aan de pilots verwerkt in beide rapporten.

Jan van den Akker
janjh.vandenakker@wur.nl
tel.: 0317-486519

Rob Hendriks
rob.hendriks@wur.nl
tel.: 0317-486465

Samenvatting

Doel onderzoek

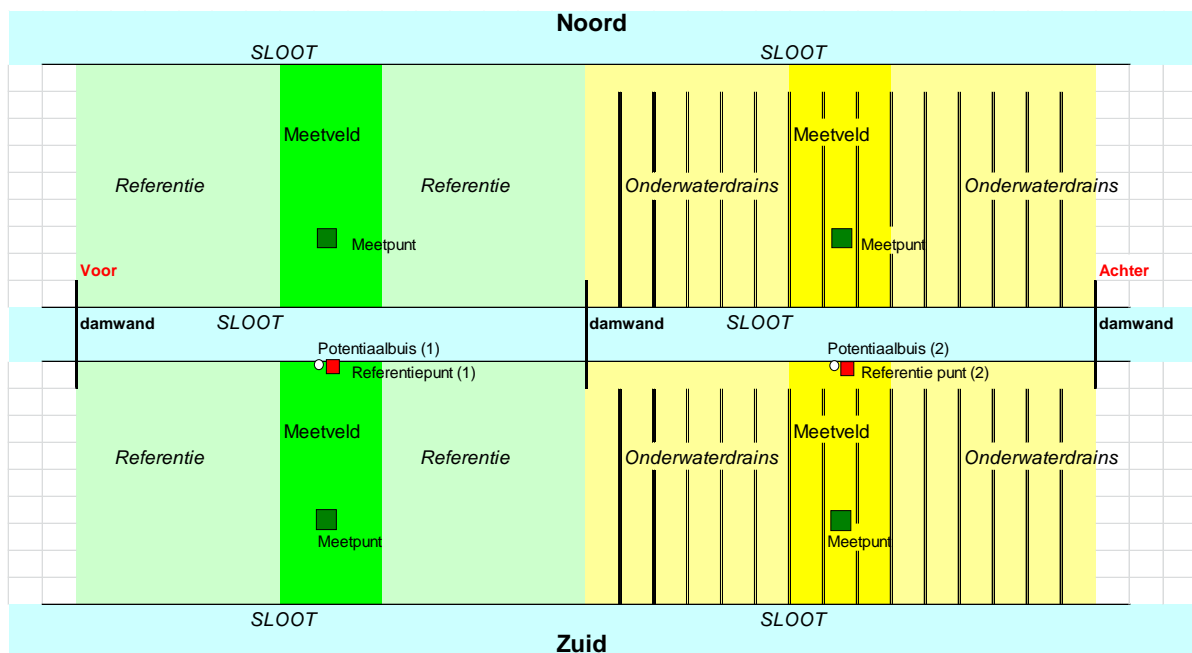
Het uitgevoerde onderzoek heeft tot algemeen doel om inzicht te krijgen in de toepassingsmogelijkheden, randvoorwaarden, kansen en risico's van onderwaterdrains (OWD) voor het versterken van de landbouw en beperken van de bodemdaling. De focus van dit onderzoek ligt op de kansen en risico's voor waterkwaliteit en de waterbeheersing (hoeveelheden water die in de polder ingelaten en uitgeslagen moeten worden en slootpeilstijgingen). Waaraan de waterkwaliteit moet voldoen en hoeveel extra watergebruik of slootpeilstijgingen toelaatbaar zijn verschilt van gebied tot gebied en is uiteindelijk ter beoordeling aan de verschillende overheden, vooral de betrokken waterschappen. Bij de pilot Krimpenerwaard is ook onderzocht wat het economisch perspectief is van OWD en wat de inzichten en ervaringen zijn van veehouders met OWD. In de samenvatting wordt naast het onderzoek in de pilot Krimpenerwaard ook het onderzoek in de pilots Keulevaart en Demmeriksekade betrokken en ook eerdere proefveld- en modelonderzoeken die door Alterra en Livestock Research zijn uitgevoerd. Op deze manier wordt een vollediger overzicht gegeven van het onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden, randvoorwaarden, kansen en risico's van onderwaterdrains voor het versterken van de landbouw en het beperken van de maaiveld­daling.

Aanpak studie

Er is eerder onderzoek aan onderwaterdrains gedaan, maar voor de waterkwaliteit en de waterkwantiteit was dit onderzoek op kleine schaal aan de drains zelf en modelonderzoek. Uit modelonderzoek volgde dat de waterkwaliteit meestal (in lichte mate) positief en soms in lichte mate negatief wordt beïnvloed door toepassing van onderwaterdrains (Hendriks en Van den Akker, 2012). Voor waterkwantiteit volgde uit modelonderzoek dat het watersysteem door toepassing van onderwaterdrains sneller reageert, met als effect dat grondwaterstanden worden gedempt, slootpeilen juist meer kunnen variëren, de hoeveelheid inlaatwater vooral in droge perioden toeneemt en de hoeveelheid uit te pompen water toeneemt (Jansen et al., 2009; Van den Akker et al., 2011). De bedoeling van onderhavig onderzoek is om meer op praktijkschaal te werken om met metingen vast te stellen wat de effecten van onderwaterdrains op de waterkwantiteit en -kwaliteit zijn. In deze samenvatting worden naast de pilot Krimpenerwaard ook de pilots Demmeriksekade en Keulevaart betrokken. Half 2010 is de pilot Demmeriksekade gestart en begin 2011 zijn de twee andere pilots met onderwaterdrains gestart.

Inrichting pilots

Bij de pilots is de sloot tussen twee percelen met drie damwanden afgesloten van de rest van het watersysteem en opgesplitst in twee delen (zie figuur 0.1). Bij één deel zijn op beide percelen onderwaterdrains met een diameter van 6 cm op onderlinge afstanden van 6 m aangelegd, waarbij bij één perceel de drains uitkomen op het afgedamde deel van de sloot (de meetsloot). De drains van het andere perceel komen uit op de naburige sloot, waaraan niet wordt gemeten. Het tweede deel van de percelen vormt het referentiedeel. De aanliggende perceelhelften van het referentiedeel wateren af op het tweede afgesloten deel van de meetsloot. Het waterpeil in de twee afgesloten delen van de meetsloot wordt geregeld met elk twee pompen (één voor uitpompen en één voor inpompen). Gemeten zijn de hoeveelheden in- en uitgepompte water, de waterkwaliteit van het in- en uitgepompte water, elke twee weken de slootwaterkwaliteit in de afzonderlijke meetslootdelen en de aan- en afvoersloot. Slootpeilen, grondwaterstanden en neerslag zijn continu gemonitord. Incidenteel zijn waterkwaliteitsmonsters genomen van uitstromend drainwater en grondwater in peilbuizen. In maart van elk jaar zijn in een aantal dwarsraaien de maaiveldhoogten gemeten.



Figuur 0.1 Algemene schets van de inrichting van de pilots. Bij 'meetpunt' worden continu de grondwaterstanden gemeten.

Uitwisseling tussen pilots en praktijk

In samenwerking met het Veenweide Innovatie Centrum (VIC, proefboerderij Zegveld) zijn de ervaringen van de betrokken veehouders geïnventariseerd en de grasopbrengst bepaald. Door het agrarisch adviesbureau PPP-Agro zijn in samenwerking met het VIC, Alterra en Livestock Research demonstraties verzorgd, ervaringen uitgewisseld met veehouders in een praktijknetwerk en een economische evaluatie gemaakt. In 2012 is het project uitgebreid met een onderzoek naar de maximale lengte van onderwaterdrains en naar de kwaliteit van de aanleg. Door het Landschapsbeheer Zuid-Holland is bij de pilots Krimpenerwaard en Keulevaart onderzoek gedaan naar het effect van OWD op de foerageermogelijkheden van weidevogels.

De meetresultaten van de proef zijn verwerkt en geëvalueerd met het model SWAP-ANIMO, waarna een aantal scenario's zijn doorgerekend om inzicht te krijgen in de effecten van onderwaterdrains op de waterkwantiteit en -kwaliteit bij verschillende weersomstandigheden en op polderniveau.

Proeflocaties

De pilot Krimpenerwaard is een koopveengrond in de provincie Zuid-Holland en in het gebied van het hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard (HHSK), ongeveer in het hart van de Krimpenerwaard, nabij Berkenwoude. Een koopveengrond is een pure veengrond zonder een minerale deklaag en is daardoor gevoelig voor veenafbraak (oxidatie) en maaiveldval. De koopveengrond is kenmerkend voor het middengedeelte van de Krimpenerwaard. Koopveengronden zijn de meest algemeen voorkomende veengronden. Het gebied is een wegzijgingsgebied, de mate van wegzijging is beperkt. De drooglegging is ca. 45 cm en is daarmee zeer geschikt voor een pilot met onderwaterdrains. Een drooglegging van 45 cm is namelijk voor een goede bedrijfsvoering aan de krappe kant. De drainerende werking van onderwaterdrains kan de draagkracht van deze grond goed verbeteren, terwijl het relatief hoge slootpeil er voor zorgt dat de infiltrerende werking van de onderwaterdrains goed tot zijn recht komt en de maaiveldval potentieel wordt gehalveerd. Omdat de proeflocatie midden in de Krimpenerwaard ligt is er maar beperkt effect van ingelaten rivierwater. De lokale waterkwaliteit is matig tot slecht.

De pilot Demmeriksekade is een koopveengrond in de polder Groot-Wilnis Vinkeveen, in het gebied van het waterschap Amstel Gooi en Vecht (Waternet). De drooglegging van de proefpercelen is 43 cm. In de winterperiode is dit dezelfde drooglegging als op de rest van het bedrijf, maar in de zomer blijven de proefpercelen op het winterpeil (-2,60 m NAP), terwijl de rest van het bedrijf een 10 cm

hoger zomerpeil heeft. Bij de proefpercelen is namelijk geanticipeerd op het toekomstige polderpeil van -2,60 m NAP. Het gebied wordt gekenmerkt door een grote wegzijging, waardoor ondanks de vrij geringe drooglegging de draagkracht in het algemeen voldoende is. Door de wegzijging zakt de grondwaterstand dieper uit dan men zou verwachten op basis van de 43 cm drooglegging. De maaiveld daling is ongeveer een centimeter per jaar. Het inlaatwater komt via een korte verbinding van het Amsterdam-Rijn kanaal in het gebied. In de zomerperiode bestaat daardoor het slootwater al snel voornamelijk uit dit inlaatwater, dat op zich van goede kwaliteit is.

De pilot Keulevaart is een waardveengrond in de polder Keulevaart in de Lopikerwaard nabij Vlist, in het gebied van het hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden (HDSR). Een waardveengrond heeft een kleidek van maximaal 40 cm dik. In dit geval is het kleidek 30-40 cm dik. Na koopveengronden zijn waardveengronden de meest voorkomende veengronden. De drooglegging van de proefpercelen is in de zomer ca. 55 cm en in de winter 65 cm. Het gebied kenmerkt zich door een zeer lichte kwel. De waterkwaliteit van het gebied is matig tot slecht.

De pilots in de Krimpenerwaard, de Demmeriksekade en in de polder Keulevaart representeren de twee meest voorkomende veengronden in het Groene Hart. De droogleggingen zijn ook representatief voor het Westelijk veenweidegebied. Het belang van deze pilots is daarmee duidelijk.

De pilot in de Demmeriksekade representeert een situatie met een landbouwkundig geringe drooglegging, waar een vrij grote wegzijging zorgt dat de draagkracht toch nog redelijk is. De diepere grondwaterstanden door de wegzijging zorgen echter ook voor naar schatting 2 mm per jaar meer maaiveld daling dan uit alleen de drooglegging zou volgen. Deze is in dit gebied ca. 1 cm per jaar. De wegzijging verlaagt vooral de grondwaterstand in het middendeel van het perceel, doordat vanuit de sloot nog water infiltreert. De percelen worden daardoor steeds holler en het lage middendeel maakt uiteindelijk peilverlagingen noodzakelijk. Door het vlak trekken van de grondwaterstand door toepassing van onderwaterdrains en het beperken van de maaiveld daling wordt het steeds holler worden van de percelen voorkomen. Door de drainerende werking van de drains in natte perioden kan (voorlopig) een alternatief worden geboden voor de peilverlaging of kan veel langer worden geprofiteerd van een beperkte peilverlaging. Het bedrijf grenst aan de achterzijde aan een natuurgebied, waarvan het peil zeker niet wordt verlaagd. Het feit dat het maaiveld en de bijbehorende slootpeilen van het agrarische gebied naast natuurgebieden steeds dieper wegzakken ten opzichte van het natuurgebied wordt een steeds algemener probleem. Dit maakt een pilot die op dit probleem ingaat van groot belang.

Meetjaren

De metingen bij de pilot Demmeriksekade in de polder Groot-Wilnis Vinkeveen zijn eind mei 2010 gestart. De metingen in de polder Keulevaart en in de Krimpenerwaard zijn begin februari 2011 begonnen. De zomer van 2010 was vrij nat. De winter van 2010/2011 viel vroeg in en kende lange vorstperioden. In 2011 was het voorjaar uitzonderlijk droog, waarna echter een zeer natte zomer volgde. Ook de winter van 2011/2012 kende een lange vorstperiode, waarna een nat jaar 2012 volgde. Deze uitzonderlijke klimaatomstandigheden hebben de metingen duidelijk beïnvloed.

Verwerking en evaluatie van de metingen met de modellen SWAP en ANIMO

De meetresultaten van de drie pilots zijn geanalyseerd en geëvalueerd met de modellen SWAP (hydrologie) en ANIMO (nutriëntenuitspoeling). Eerst is het model SWAP gekalibreerd (geijkt) tegen gemeten grondwaterstanden en in- en uitgepompte hoeveelheden water. Vervolgens is ANIMO gekalibreerd op gemiddelde uitspoelings-concentraties van stikstof, fosfor en sulfaat. De gekalibreerde drainageweerstand en infiltratieweerstand van de drains van de drie pilots zijn 42-51 dagen voor de drainageweerstand en 55-61 dagen voor de infiltratieweerstanden. Dit is bijna twee keer zo groot als op theoretische gronden is berekend in andere modelstudies (Jansen et al., 2009; Van den Akker et al., 2011; Hendriks en Van den Akker, 2012). De drains werken daardoor theoretisch wat minder goed dan verwacht in deze modelstudies. Een belangrijke bevinding uit de analyse en evaluatie met SWAP is dat de verschillen in bepalende kenmerken tussen de twee proefvelden van elke pilot te groot waren om alleen op basis van de metingen uitspraken te kunnen doen. Het gaat dan vooral om slootpeilen, effectieve maaiveldhoogte en effectieve grootte van het afwateringsgebied. De laatste twee zijn uiteindelijk vastgesteld met de kalibratie van SWAP.

In het kort de effecten van onderwaterdrains

Grondwaterstanden

De onderwaterdrains blijken goed te voldoen aan de verwachting dat de grondwaterstanden naar het slootpeil worden 'toegetrokken'. Uit de schattingen op grond van de metingen en de interpretatie met het model daarvan is het verhogende effect van drains op de grondwaterstand in de droge periode van 2011 bij de Keulevaart en de Krimpenerwaard 10-15 cm en bij Demmeriksekade 20-30 cm (tabel 0.1). Pieken in de grondwaterstand bij hevige neerslag worden met drains beter verwerkt waardoor de pieken minder hoog worden en sneller dalen. Dit leidt tot een maximale grondwaterstandsverlaging van 20-30 cm. Een echte praktijktest van de effectiviteit van drains om de grondwaterstand in droge perioden substantieel te verhogen is er nog niet geweest. Ditzelfde geldt voor de infiltratie in zeer droge perioden. De droogteperiode in het voorjaar van 2011 was te kort en de zomers van 2010, 2011 en 2012 te nat.

Tabel 0.1

Vastgestelde grondwaterstandverhogingen en -verlagingen door onderwaterdrains. Het zijn perceelsgemiddelde grondwaterstanden en niet de opbolling of uitzakking midden tussen de sloten of drains.

Pilot	Verhoging (cm)		Verlaging (cm)	
	meetjaren	extreem droog	meetjaren	extreme buien
Demmeriksekade	20-30	tot 30 (75 bij een zomerbui)	tot 30	tot 45
Keulevaart	10-15	tot 20	20-30	tot 48
Krimpenerwaard	10-15	tot 20 (40 bij een zomerbui)	20-30	tot 45

Hoeveelheden in- en uitgepompt water

Zoals verwacht werd er bij toepassing van drains meer water in- en uit de meetsloot gepompt dan bij de referentie. Netto gezien zijn de verschillen klein. De drains leidden tot een snellere en grotere afvoer van neerslag (drainage) en infiltratie van slootwater dan bij de referentie (tabel 0.2). Drains vergrootten wel de pieken in de drainage bij hevige buien; volgens de modelsimulaties tot maximaal 40-60% in de meetperiode, met als uitzondering een verlaging van de grootste piek in 2012 in de Keulevaart met 23%. De effecten van drains op de gesimuleerde 'pieken in infiltratie' waren relatief gezien groter dan bij drainage. Absoluut gezien gaat het echter om geringe verhogingen. Reden is dat infiltratie een veel geleidelijker proces is dan drainage zodat niet echt sprake is van pieken.

Tabel 0.2

Berekende toename in drainage en infiltratie door toepassen van onderwaterdrains in de twee meerjaren.

Pilot	Drainage				Infiltratie			
	2011		2012		2011		2012	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Demmeriksekade	53	13	59	16	93	74	93	110
Keulevaart	65	17	20	5	12	28	8	42
Krimpenerwaard	53	11	54	13	52	50	23	44

Het effect van een droge periode op het verwachte extra waterverbruik bij drains kon niet goed getoetst worden met de metingen, omdat de zomers in de meetperiode (zeer) nat waren en de droogte in het voorjaar van 2011 te kort was voor substantieel watertekort met diepe grondwaterstanden en droogteschade bij in ieder geval de referentie (waardoor bij de referentie het waterverbruik zou teruglopen).

Effect van piekbuien

Met het gekalibreerde SWAP-model zijn twee extreme buienreeksen doorgerekend: een zeer extreme bui (48 mm in één uur) in juni 1953 en een reeks van extreme buien in juni-augustus 2002. Hiervoor is gebruik gemaakt van de optie in het model om een eenvoudig oppervlaktewatersysteem met peilbeheer door wateruitslag en -inlaat mee te modelleren. Hierbij is het peilbeheer van elk gebied zelf aangehouden zoals aangeleverd door de waterbeheerders, met een maximale capaciteit van het gemaal van 13,8, 12 en 10 mm per dag voor respectievelijk Demmeriksekade, Keulevaart en Krimpenerwaard. Alle overige kenmerken van het oppervlaktewatersysteem komen voor elke pilot van de eigen proefsloten. Met deze uitgangspunten liggen de berekende verhogingen van de pieken in het oppervlaktewaterpeil en toename van de uitslag door toepassing van onderwaterdrains bij de drie pilots in dezelfde orde van grootte (tabel 0.3).

Tabel 0.3

Berekende maximale verhoging (max verhg) van het oppervlaktewaterpeil tijdens minimale drooglegging (min drglg) en toename van de uitslag en daarmee gepaard gaande extra draaiuren van het gemaal door toepassen van onderwaterdrains bij extreme buien in 1952 en 2002.

Pilot	Verhoging peil (cm)				Toename uitslag (mm) en draaiuren			
	bui 1953		buien 2002		bui 1953		buien 2002	
	max verhg	min drglg	max verhg	min drglg	uitslag	draaien	uitslag	draaien
Demmeriksekade	1,9	32	-0,5	40	3 7%	4 7%	11 9%	23 9%
Keulevaart	0,8	34	0,9	39	3 7%	6 7%	6 4%	12 4%
Krimpenerwaard	2,4	32	2,1	34	3 8%	7 9%	7 5%	17 5%

Het belangrijkste mechanisme dat in werking treedt bij extreme buien is de berging van neerslagwater in de veenbodem, en vooral ook, door het grote (11-16%) aandeel in het areaal daarvan, in het oppervlaktewater. Hierdoor stijgt het slootpeil, in eerste instantie door de neerslag direct op het wateroppervlak. Wat later treedt het afvoermechanisme van de bodem in werking en stijgt het peil nog meer. Bij onderwaterdrains gaat dat sneller door de grotere drainage vanwege de geringere weerstand van de drains. De snellere peilverhoging en grondwaterstandsverlaging bij drains verkleinen het potentiaalverschil tussen grondwaterstand en peil en dempen daarmee de toename van de drainage tot een evenwicht is bereikt met de afvoer van het gemaal en het peil weer gaat dalen. Met deze dempings- en terugkoppelingsmechanismen is de maximale invloed van de drains een extra peilstijging van -0,5 (geringere stijging) tot 2,4 cm en een toename van het aantal draaiuren van het gemaal met 4 tot 9%. Met drains wordt het streefpeil twee tot drie uur later bereikt dan zonder. Bij hevige buien van een omvang en intensiteit als de doorgerekende treedt direct plasmvorming op en schiet de grondwaterstand binnen enkele uren tot in het maaiveld. Een voordeel van drains is dan een snellere (1-5 dagen) daling van de grondwaterstand vanuit het maaiveld tot een niveau dat geschikt is voor beweiding en berijden.

De verschillen in extra peilstijging zijn voor een deel afhankelijk van belangrijke gebiedskenmerken als mate van kwel of wegzijging en het aandeel oppervlaktewater. Uit eerdere berekeningen, hier niet getoond, bleek dat bij kwelgebied Keulevaart de extra peilstijging het grootst was. Tweede in grootte van extra peilstijging was Demmeriksekade. Een uitgesproken wegzijgingsgebied, maar met het relatief geringste aandeel (11%) oppervlaktewater en daardoor met de minste bufferende werking van het oppervlaktewater. Hoe groter het aandeel oppervlaktewater, des te meer water kan worden geborgen. Per eenheid van oppervlakte kan het oppervlaktewater meer water bergen door peilverhoging dan de bodem door grondwaterstijging.

In de eerdere berekeningen was het peilbeheer voor de drie gebieden min of meer gelijk en geënt op het beheer van Krimpenerwaard. De berekeningen in tabellen 0.3 en 0.4 zijn uitgevoerd met het eigen peilbeheer van elk gebied. Streefpeilen, drempels voor uitslag en inlaat, en capaciteiten van gemaal en inlaat verschillen sterk tussen de drie gebieden. De volgorde in grootte van extra peilverhoging in tabel 0.3 is duidelijk anders dan de bovengenoemde volgorde uit de eerdere berekeningen. Dat laat

zien dat de invloed van het peilbeheer groot is en de invloed van gebiedskenmerken als kwel/wegzijing en aandeel oppervlaktewater volledig kan overschaduwen.

De betekenis van bovenbeschreven effecten van onderwaterdrains voor het waterbeheer van een geheel bemalingsgebied wordt bepaald door het areaal en de structuur van het oppervlaktewater-systeem, met peilvakken in relatie tot maaiveldhoogten en het areaal veenweiden met onderwater-drains. Uit de modelexperimenten valt ook af te leiden dat anticiperen op komende buien door voormalen de extra peilverhoging (sterk) kan beperken. Door de snellere communicatie tussen veenbodem en oppervlaktewater kan deze sturing bij drains beter dan zonder drains: met drains is in kortere tijd een extra berging in de veenbodem te creëren.

Effect van zeer droge en natte jaren op de inlaat en uitslag van water

Met het SWAP-model zijn twee zeer droge jaren (1976 en 2003) en een zeer nat jaar (1981) doorgerekend (tabel 0.4). De drains hebben een groot effect op de infiltratie van slootwater de bodem in en daarmee op de inlaat van water gedurende het zeer droge voorjaar en de zomer van het erg droge jaar 1976. De toename van de bruto inlaat is sterk afhankelijk van de onderrand: wegzijgings-gebied Demmeriksekade heeft bij toepassen van drains de meeste behoefte aan extra inlaatwater in droge tijden en kwelgebied de Keulevaart de minste. In deze droge jaren treedt bij de Keulevaart extra veel kwel op. De Krimpenerwaard neemt een tussenpositie in. Ook in deze droge jaren blijkt het beoogde effect van onderwaterdrains: een minder uitzakken van de grondwaterstand. De grondwaterstandverhoging door drains bedraagt dan maximaal 20-30 cm (tabel 0.1).

Tabel 0.4

Berekende extra inlaat (mm), uitslag (mm en %) en draaiuren van het gemaal door toepassen van onderwaterdrains in de twee droge jaren 1976 en 2003, en in het natte jaar 1981.

Pilot	1976 (droog)			2003 (droog)			1981 (nat)		
	inlaat	uitslag	draaiuren	inlaat	uitslag	draaiuren	inlaat	uitslag	draaiuren
Demmeriksekade	86 37%	44 22%	76 22%	77 41%	59 19%	99 19%	45 38%	60 12%	103 12%
Keulevaart	36 22%	17 10%	35 10%	36 23%	18 12%	36 12%	19 28%	33 7%	67 7%
Krimpenerwaard	65 28%	30 16%	72 16%	51 32%	35 12%	84 12%	40 42%	41 8%	99 8%

De relatieve toename in uitslag is in de droge jaren groter dan bij de extreme buien. Dit is het effect van een structureel snellere afvoer van overtollig neerslagwater uit de veenbodem bij drains. Opvallend is dat de volgorde van inlaatbehoefte ook geldt voor de grootste extra uitslag en aantal draaiuren bij toepassen van onderwaterdrains. De reden hiervoor is dat het droge jaren zijn waarin alle extra inlaatwater wordt benut voor vernatten van de bodem. De nattere bodem bereikt daardoor in perioden met neerslag sneller een grondwaterstand waarop drainage plaatsvindt. De toename van de draaiuren van het gemaal is relatief gezien groot, maar in absolute termen kleiner dan in een nat jaar.

In een nat jaar liggen de relatieve toename van de uitslag van water en de draaiuren van het gemaal in dezelfde orde van grootte als bij de extreme buien (4-9%). De relatieve toename in inlaatbehoefte is (meestal) groter dan in de droge jaren. Opvallend is dat in absolute zin de extra inlaat bijna gelijk is aan de extra uitslag: het extra uitgeslagen water moet ook in dit natte jaar op een gegeven moment weer worden aangevuld. Daarmee lijkt over het jaar gezien de inzet van onderwaterdrains niet erg zinvol. De reden hiervoor is dat zowel in de meetopstelling als in het model aan- en afvoer van water automatisch worden geregeld op basis van het oppervlaktewaterpeil. Als bij uitslaan en inlaten van water zou worden geanticipeerd op het verwachte weer in relatie tot de vochttoestand in het gebied zoals bepaald door het recente weer, kan worden gestuurd op de actuele waterbehoefte. Door de snellere communicatie tussen bodem en oppervlaktewater bij drains, kan dit sturen in principe beter en preciezer dan in een situatie zonder drains. Nadere bestudering van de modelresultaten laat zien dat situaties waarin zich dit voordoet ook toevalligerwijs voorkomen in de berekeningen.

Waterkwaliteit en nutriëntenvrachten

Voor de drie de pilots geldt dat de verschillen in uitgepompte nutriëntenvrachten tussen de proefvelden zonder en met drains gering zijn. Dit geldt zowel voor de vrachten als de gemiddelde uitspoelingsconcentraties. Ook zijn de verschillen in de gemeten concentraties in de proefsloten zonder en met drains klein en niet eenduidig, op enkele incidentele uitschieters na. Bij de Krimpenerwaard lijkt er voor fosfor wel een verlagend effect van drains op de vrachten te zijn. Het effect van drains op de gemiddelde uitspoelingsconcentraties is hier een lichte verlaging bij stikstof en sulfaat, en een duidelijke verlaging bij fosfor. Voor fosfor tonen de statistische maten voor deze pilot wel een duidelijke verlaging van de concentraties in de orde van 30% aan.

Hierbij moet worden bedacht dat de metingen van de proefvelden met drains gedaan zijn aan een recent verstoorde situatie, hooguit één (2011) tot twee (2012) jaar nadat de drains zijn ingebracht. In de hoogreactieve veenbodem betekent dit inbrengen een verstoring van de fysio-biochemische toestand rond de drains die enkele jaren kan duren. De conclusies aan de hand van de metingen zijn daarom voorlopig hooguit richtinggevend.

Met SWAP-ANIMO zijn scenarioberekeningen uitgevoerd naar de effecten van onderwaterdrains op de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater voor een extreem droog jaar (1976) en een extreem nat jaar (1981). De resultaten laten over het algemeen een (geringe) afname zien van de nutriëntenbelasting als netto belasting op jaarbasis (thema 'afwenteling') en als netto belasting op zomerhalfjaarbasis inclusief de nutriëntenvoorraad in de slootwaterberging aan het begin van het zomerhalfjaar (thema 'waterkwaliteit'). Wel zijn er detailverschillen tussen de drie pilots. Voor de Krimpenerwaard geven de modelberekeningen vooral bij sulfaat en stikstof een gering tot sterk verlagend effect van onderwaterdrains op de belasting aan in extreem droge en natte jaren. Het sterke effect treedt vooral op in een droog jaar als 1976. Bij fosfor is juist in zo'n jaar geen relevant effect voor de belasting van thema 'afwenteling' te verwachten maar wel een relatief grote afname voor de belasting van thema 'waterkwaliteit'. In het natte jaar 1981 is het effect voor fosfor een (lichte) afname van de belasting van beide thema's. Demmeriksekade laat een in absolute termen zeer geringe verhoging van de fosfor belasting zien in het droge jaar 1976. De stikstofbelasting is hier vooral in het natte jaar geringer door drains en de sulfaatbelasting juist in het droge jaar. Keulevaart is door de grotere drooglegging gevoeliger voor de sulfaatbelasting. Deze laat een verhoging van circa 15% zien in het natte jaar 1981. Oorzaak is de drainerende werking van de drains onder natte omstandigheden die de pyrietoxidatie in dat jaar bevordert. In het droge jaar gebeurt het omgekeerde en is door de vernattende werking van de drains de sulfaatbelasting ruim 30% lager bij drains.

Maaiveld dalingen

Metingen bij de proefboerderij Zegveld sinds 2004 laten zien dat daar de toepassing van onderwaterdrains de maaiveld dalingen minstens halveren en daarmee volledig aan de verwachtingen voldoen (Van den Akker et al., 2010, 2012). Zegveld is een koopveengrond met een drooglegging van 55-60 cm met een kenmerkende maaiveld daling van 1 cm per jaar. Het liefst zou men van meerdere representatieve locaties in het veenweidegebied een vergelijking tussen de maaiveld daling met en zonder drains hebben. Het aantal proefpercelen met onderwaterdrains is echter beperkt en ervaring leert dat minstens zes jaar moet worden gemeten om de gemiddelde jaarlijkse maaiveld daling te bepalen. De belangrijkste reden hiervoor is dat maaiveld dalingen sterk afhankelijk zijn van de diepste grondwaterstanden en daarmee van droge zomers (Van den Akker et al., 2007a). Naast Zegveld zijn er slechts twee locaties (De Boer en Steenman) in de polder Zeevang (Hoving et al., 2011) die nu genoeg jaren metingen hebben om een eerste trend te laten zien. Bij De Boer lijken de onderwaterdrains de maaiveld daling te halveren. Bij Steenman zijn geen duidelijke verschillen in maaiveld daling te zien tussen de perceeldelen met en zonder onderwaterdrains. Voor beide locaties geldt echter dat de resultaten van de metingen nog slechts indicatief zijn, omdat het aantal metingen nog te beperkt blijkt om trends in de maaiveld daling overtuigend aan te tonen. Bij de pilots in de Krimpenerwaard, Demmeriksekade en Keulevaart zijn de maaiveld hoogten tot nu toe slechts twee jaren gemeten en voorlopig kunnen geen conclusies worden getrokken over de maaiveld dalingen en of toepassing van onderwaterdrains deze beperken.

Wel kan gebruik worden gemaakt van de sterke samenhang tussen maaiveld daling en diepste grondwaterstanden in het jaar, die empirisch is gevonden en in kwantitatieve relaties is vastgelegd

door Van den Akker et al. (2007a). Deze grondwaterstanden treden meestal op aan het einde van de zomer in begin september. Als bij toepassing van onderwaterdrains de grondwaterstanden in die droge perioden inderdaad duidelijk hoger liggen dan bij de referentiepercelen, dan is dat een sterke indicatie dat de onderwaterdrains de maaiveldddaling zullen beperken. Uit de gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden blijkt dat onderwaterdrains de grondwaterstand in droge perioden duidelijk verhogen. Met bovengenoemde relaties kan worden ingeschat dat de maaiveldddalingen van de referentievelden bij de Krimpenerwaard ca. 10 mm/jaar, bij de Keulevaart ca. 6 mm/jaar en bij de Demmeriksekade ca. 11 mm/jaar zijn. Door toepassing van onderwaterdrains worden bij de Keulevaart en Krimpenerwaard de jaarlijkse maaiveldddalingen met 3 tot 6 mm verlaagd. Bij de Demmeriksekade is de ingeschatte jaarlijkse verlaging van de maaiveldddaling zelfs 5 tot 8 mm.

Emissie van broeikasgassen

De afbraak (mineralisatie, oxidatie) van het veen veroorzaakt niet alleen maaiveldddaling, maar ook een grote emissie van CO₂ en in mindere mate van N₂O. Eén mm maaiveldddaling komt overeen met een emissie van 2,26 ton CO₂ per hectare (Van den Akker et al., 2007a, 2008). Bij de Keulevaart en de Krimpenerwaard wordt dan bij toepassing van onderwaterdrains de jaarlijkse CO₂-emissie per hectare met 6,8 tot 13,5 ton verlaagd. Bij de Demmeriksekade is dit zelfs 11,3 tot 18,1 ton CO₂ per hectare per jaar.

Grasopbrengsten in 2011 en 2012

In tabel 0.5 zijn de gemeten grasopbrengsten in 2011 en 2012 gepresenteerd. De opbrengsten zijn vooral bepaald om informatie te verschaffen voor de modevaluatie. Daardoor is er niet uitgebreid genoeg gemeten om het effect van onderwaterdrains op grasopbrengsten goed te kunnen vaststellen. Voor deze effecten wordt verwezen naar onderzoek van Hoving et al. (2008, 2011).

Tabel 0.5

Gemeten grasopbrengsten in kg droge stof per hectare en nutriënten N en P in 2011 en 2012.

jaar Object	Demmeriksekade			Keulevaart			Krimpenerwaard		
	DsOpbr	KgP/ha	KgN/ha	DsOpbr	KgP/ha	KgN/ha	DsOpbr	KgP/ha	KgN/ha
2011 Referentie	10965	45.9	390.7	12452	52.4	416.5	11948	49.3	332.7
2011 Drain	10437	44.5	375.7	12043	51.2	388.8	12187	49.1	337.0
Verschiil Drain - Ref	-528	-1.4	-15.0	-409	-1.2	-27.8	239	-0.2	4.3
2012 Referentie	12144	50.7	366.4	11243	48.2	301.6	10739	43.4	274.8
2012 Drain	11612	46.6	357.5	12448	53.4	355.8	9808	37.1	234.7
Verschiil Drain - Ref	-532	-4.1	-8.9	1205	5.1	54.2	-932	-6.3	-40.1

De opbrengsten zijn in beide jaren bij de Demmeriksekade bij de drains lager dan bij de referentie. Bij de Keulevaart zijn de opbrengsten bij de drains in 2011 lager en in 2012 duidelijk hoger dan bij de referentie. Bij de Krimpenerwaard is dit het omgekeerde van de Keulevaart: in 2011 zijn de opbrengsten bij de drains iets hoger en in 2012 duidelijk lager dan bij de referentie. Bij een vergelijking tussen de resultaten in 2011 en 2012 moet worden bedacht dat 2011 een uitzonderlijk droog en warm voorjaar had, dat in juni omsloeg naar een zeer natte zomer. Eind 2011 was juist weer vrij droog, zodat tot begin december jongvee kon grazen (deze extra grasopbrengst is niet in tabel 0.5 vermeld, wel ingeschat en meegenomen in de modevaluatie). Het jaar 2012 kenmerkte zich vooral als nat jaar, zonder echte droge en warme perioden. Beide jaren verschilden daarmee nogal van een gemiddeld jaar, zodat het effect van onderwaterdrains op de grasopbrengst moeilijk is te duiden.

Een verklaring voor de in het algemeen lagere grasopbrengsten bij de drains is minder N-mineralisatie van het veen, doordat de drains inderdaad doen waarvoor ze zijn bedoeld, namelijk het verminderen van de veenafbraak. Door Hoving et al. (2008, 2011) werd deze verminderde N-mineralisatie inderdaad geconstateerd, echter, zonder dat de grasopbrengsten terugliepen. Dit werd door Hoving et al. (2008, 2011) verklaard uit een betere benutting van de nutriënten uit de bemesting. Een goede verklaring voor het verschil met de resultaten van Hoving et al. (2008, 2011) is moeilijk te geven. Wel moet worden bedacht dat de metingen van Hoving et al. veel uitgebreider en diepgaander waren dan in de drie beschouwde pilots. In 2013 en 2014 wordt in de polder Zeevang, nabij Warder, door Hoving

van Livestock Research verder onderzoek gedaan naar het effect van onderwaterdrains op opbrengsten en draagkracht bij droogleggingen van 40 en 60 cm. Dat zal zeker leiden tot meer inzicht op dit punt.

Bij de beschouwing van de opbrengsten in tabel 0.5 moet worden bedacht dat het netto-opbrengsten van uitgemaaidde stroken zijn. In de praktijk kan echter bij een lage draagkracht veel gras verloren gaan door vertrapping. Daarnaast levert een betere ontwatering en daardoor betere draagkracht ook een langer weideseizoen op en kan er eerder worden bemest of gemaaid. Verder bestaat er bij de veehouders de verwachting dat bij onderwaterdrains de kwaliteit van het grasbestand beter wordt. Al deze zaken verbeteren de nuttige (daadwerkelijk bruikbare) opbrengst, waardoor toepassing van onderwaterdrains ook economisch gezien aantrekkelijker wordt.

Ervaringen agrariërs met onderwaterdrains, draagkrachtmetingen en economie

Dit zijn de ervaringen van de drie veehouders betrokken bij de pilots en van veehouders met de eerste ervaringen met OWD, die lid zijn van een praktijknetwerk dat onder andere in het kader van de pilot Krimpenerwaard was opgezet. De drie veehouders van de pilots waren ook betrokken bij het praktijknetwerk. In het praktijknetwerk zijn ook draagkrachtmetingen gedaan en grondwaterstanden gemeten.

De ervaringen van de veehouders zijn in het algemeen positief, hoewel een enkeling geen groot verschil zag (onder andere bij de Demmeriksekade). Het land werd als droger ervaren met een hogere draagkracht. Dit bleek ook uit de draagkrachtmetingen, hoewel de gemeten verschillen niet bijzonder groot waren. De ervaring leerde dat de toepassing van onderwaterdrains een langer weideseizoen opleverde en de koeien eerder en langer op het land konden. In het droge voorjaar van 2011 speelde draagkracht geen rol, maar in de natte zomer van 2011 en het natte jaar 2012 zeker wel. Bij de betrokken veehouders speelt ook een rol dat onderwaterdrains de maaiveldvaling beperken en holle percelen voorkomen. Onderwaterdrains zijn daarmee een investering in de toekomst. De toename van de draagkracht en daarmee de bedrijfszekerheid blijft echter voor de veehouder het belangrijkste voordeel van onderwaterdrains.

Uit een economische analyse en evaluatie van de veehouders kwam dat een langer weideseizoen samen met een extra nuttige grasopbrengst de basis zijn voor een rendabele inzet van onderwaterdrains. Bij een investering (aanlegkosten) van € 1800 per ha wordt bij een afschrijving over 20 jaar en inclusief onderhoud gerekend met jaarlijkse kosten van € 117 per ha (6,5% over de investering). Aan baten wordt een toename van extra grasbenutting van 500 kg ds/ha gerekend en 30 extra weidedagen. Dit zou ca. € 171 opleveren, zodat aanleg van onderwaterdrains een positief saldo van ca. € 54 per ha per jaar zou opleveren. Daarnaast zijn onderwaterdrains een investering in het behoud van de bodem, waardoor de economische waarde beter behouden blijft en relatief ten opzichte van percelen zonder onderwaterdrains zelfs zal stijgen.

De ingeschatte extra grasbenutting van 500 kg ds/ha en de 30 extra weidedagen zijn vrij hoog. Bij een voorzichtigere aanname en niet onrealistische halvering van beide getallen komt men op een verlies van ca. € 30 per ha per jaar. Subsidiëring van onderwaterdrains met 50% van de aanlegkosten zou dit verlies weer in een licht voordeel kunnen omzetten.

Effectieve maximale lengte van onderwaterdrains

In de pilots zijn uit proeftechnische overwegingen de drains in de breedte van de percelen gelegd. Dit levert de meeste zekerheid dat het perceel inderdaad goed en volledig wordt gedraineerd en geïnfilteerd. In de praktijk levert dit echter extra aanlegkosten op omdat veel veenweidepercelen erg smal zijn. Verder wordt het aantal punten waarop de drain in de sloot uitkomt erg groot. Dit levert bij het onderhoud van de sloten extra werk op en moet veel zorgvuldiger worden gewerkt om schade aan de eindbuizen te voorkomen. Voor de aanleg van de drains en het slootonderhoud zijn onderwaterdrains in de lengte van het perceel het meest praktisch. Daarnaast biedt het ook de mogelijkheid om de draineinden in verband met het onderhoud dicht bij elkaar te leggen en van daaruit de drains in waaivorm naar een serie parallelle drains in de lengterichting aan te leggen. Op deze manier kunnen de lengtedrains ook in een zijslot beginnen in plaats van in een kopsloot. Met lengtedrains wordt ook voorkomen dat de drains bij het berijden van het perceel voelbaar zijn. Een nadeel is wel dat greppelbuizen worden gekruist. Een ander belangrijk nadeel is dat de drainlengte al snel enkele

honderden meters, tot meer dan 1000 meter wordt. De verwachting bestaat dat bij deze lengten de drains voor zowel drainage als infiltratie niet goed meer functioneren. Het oorspronkelijke project is daarom uitgebreid met een extra proef op de proefboerderij Zegveld. Daar zijn in 2013 metingen verricht aan drains die in de lengte van een perceel zijn gelegd. Hieruit volgde dat op een afstand van 250 m vanaf de sloot de effectiviteit van de drain ongeveer was gehalveerd. Vanaf een afstand van ca. 450 m vanaf de sloot, doen de drains helemaal niets meer. Voor de drainerende functie moeten grotere lengten dan ca. 250 m worden afgeraden en zou men zich eigenlijk moeten beperken tot ca. 150 m. Dit zijn drains met een buisdiameter van 6 cm. Drains met een grotere diameter zijn waarschijnlijk over grotere lengtes effectief.

Kwaliteit van aanleg

Een vraag uit de praktijk was of de aanleg van de drains altijd even goed gebeurt en of de manier van aanleg het uiteindelijke functioneren van de drains niet sterk beïnvloedt. Als uitbreiding van het oorspronkelijke project is daarom tijdens twee demonstratiedagen de kwaliteit van aanleg van vier draineurs onderzocht en met elkaar vergeleken. Met speciale apparatuur is de hoogteligging en de vlakligging van de drains over de eerste 50 meter vanaf de slootkant gemeten. Van de vier draineurs bleken er twee goed aan de eisen van diepteligging en vlakligging te voldoen. Wel bleek dat voldoende draagkracht noodzakelijk is om goed werk af te leveren. Eén draineur leverde matig werk en één draineur leverde slecht werk op. Dit laatste zou ook goed het gevolg kunnen zijn van een slecht opgestelde of niet goed functionerende laserwaterpas. Dit is namelijk een essentiële basis voor een goede vlakligging van de drains.

Effect op weidevogels

In 2011 en 2012 is door Landschapsbeheer Zuid-Holland (Van der Zijden en Kruk, 2011; Kruk en Van der Zijden, 2012) op de pilots Krimpenerwaard en Keulevaart onderzoek gedaan naar het effect van onderwaterdrains op de geschiktheid van de percelen voor de foeragering van weidevogels. Hiertoe werden tellingen verricht aan wormen en emelten en werd de indringweerstand bepaald met een conus met een tophoek van 60° en een basisoppervlakte van 1 cm². De verschillen tussen percelen met en zonder onderwaterdrains bleken nihil te zijn. Uit dit onderzoek blijkt niet dat de omstandigheden voor weidevogels verslechteren door het gebruik van onderwaterdrains. Wel wijzen de onderzoekers op een mogelijk indirect effect, namelijk het door de betere draagkracht vroeger uitrijden van mest ten koste gaat van de weidevogelkuikens.

Conclusies

- De metingen bevestigen dat door toepassing van onderwaterdrains de grondwaterstand naar het slootpeil wordt 'toegetrokken': grondwaterstanden onder het slootpeil worden verhoogd, grondwaterstanden boven het slootpeil worden verlaagd. Hoge grondwaterstanden door extreme buien zijn bij toepassing van onderwaterdrains minder hoog en van kortere duur dan bij percelen zonder drains.
- De hoeveelheden inlaatwater en uit te pompen water nemen toe door onderwaterdrains. De waterbehoefte in droge perioden neemt toe en extreme buien kunnen leiden tot tijdelijk hogere slootpeilen. Dit komt overeen met eerdere modelstudies. Deze modelstudies laten echter ook zien dat door een aangepast watermanagement deze negatieve effecten voor een belangrijk deel kunnen worden gecompenseerd.
- Toepassing van onderwaterdrains heeft meestal een positief effect op de waterkwaliteit en soms een licht negatief effect. Dit komt overeen met eerdere modelstudies. Metingen naar nutriënten zijn gedaan binnen twee jaar na aanleg van de drains. Deze aanleg zal in de hoogreactieve veenbodem een verstoring van de fysio-biochemische toestand rond drains betekenen die enkele jaren kan duren. De conclusies aan de hand van de metingen zijn daarom voorlopig richtinggevend.
- Uit metingen sinds 2003 blijkt dat de maaivelddaling door toepassing van onderwaterdrains meer dan gehalveerd wordt.
- Ditzelfde geldt voor de CO₂-emissie door oxidatie (afbraak) van veen.
- Melkveehouders zijn in het algemeen positief over de toepassing van onderwaterdrains. De verwachting is dat de nuttige grasopbrengst wordt vergroot waardoor de aanleg van onderwaterdrains rendabel wordt. Door een beter bodembehoud en verbeterde bedrijfszekerheid wordt de toekomst van het bedrijf zekerder.

Aanbevelingen

In alle meetjaren waren de zomers nat. Wat de effecten van een droge zomer zijn, is daarom in deze proefopzet niet gemeten. Aanbevolen wordt om de pilots minder intensief voort te zetten, vooral door de (dure) waterkwaliteitsmetingen sterk te beperken. Treedt een droge periode op, dan kan dan worden besloten om de metingen tijdelijk te intensiveren.

De aanleglengte van onderwaterdrains blijft een heikel punt. Uit globale berekeningen (niet gepubliceerd) volgt dat de draindiameter een grote invloed heeft op de maximaal toelaatbare lengte. Voorgesteld wordt om in de praktijk verder te onderzoeken of een grotere diameter van de drainbuis niet veel grotere lengten mogelijk maakt.

De kwaliteit van aanleg van de drains heeft een grote invloed op het functioneren. Aanbevolen wordt om bij bestaande langere drains te onderzoeken wat de vlakligging is en of eventueel luchtinsluitingen aanwezig zijn.

Om de betekenis van de beschreven effecten van onderwaterdrains voor het waterbeheer van een geheel bemalingsgebied vast te stellen, wordt aanbevolen om het gebied met een hydraulisch netwerkmodel door te rekenen waaraan een 'neerslagafvoermodule' is gekoppeld die op een realistische manier de invloed van onderwaterdrains op de wateruitwisseling tussen veenbodem en oppervlaktewater kan beschrijven. Deze terugkoppeling moet naar twee kanten kunnen werken: van de veenbodem naar het oppervlaktewater (drainage) en van het oppervlaktewater naar de veenbodem (infiltratie). De hier besproken resultaten geven aan dat voor realistische berekeningen een terugkoppeling tussen bodem en oppervlaktewatersysteem op kleine tijdschaal (≤ 1 uur) onontbeerlijk is.

De melkveehouder speelt bij de introductie van onderwaterdrains in het veenweidegebied uiteraard een centrale rol. Voortzetting van het bestaande praktijknetwerk en uitbreiding daarvan is daarom essentieel.

In bijgaand kader worden een aantal aandachtspunten bij de aanleg van onderwaterdrains aanbevolen. Deze zijn gebaseerd op het onderzoek en ervaringen in de praktijk op dit moment.

Aandachtspunten bij de aanleg van onderwaterdrains

Gebaseerd op de bestaande kennis en ervaringen komen we op de volgende aandachtspunten bij de aanleg van onderwaterdrains:

1. Drooglegging mag maximaal 60 cm zijn.
2. Bovenkant drain moet minimaal 15 cm onder slootpeil liggen.
3. Bovenkant drain maximaal 25 cm onder slootpeil (ter voorkoming van te diepe drain).
4. Bovenkant drain minimaal 45 cm -mv (ter voorkoming van te ondiepe drain).
5. Bovenkant drain maximaal 75 cm -mv (ter voorkoming van te diepe drain).
6. Drainafstand mag maximaal 6 m zijn.
7. Drains die parallel langs sloot liggen moeten op minimaal 6 m afstand van de sloot liggen.
8. Drainlengte mag maximaal 300 m zijn (bij een draindiameter van 6 cm) voor de infiltratie.
9. Draindiameter moet minimaal 6 cm zijn.
10. Drainuiteinden bij de sloot moeten goed worden aangeven/gemarkeerd.

Van deze tien aandachtspunten levert punt 8 vaak het meeste discussie op. De aangegeven 300 m als maximum lengte geldt voor de infiltratie, die wordt bepaald door de gewasverdamping en eventuele wegzijging. Voor de drainerende functie van de onderwaterdrains is de neerslag van belang, waarbij veel meer water moet worden afgevoerd in een zo kort mogelijke tijd om de grond snel wat droger te krijgen na een natte periode. Uit de metingen volgde dat bij drainage na ca. 250 m lengte het effect van de drains op de verlaging van de grondwaterstand is gehalveerd. Dit pleit ervoor om de drains niet te lang te maken. In de praktijk bestaat echter de wens om langere drainlengten toe te passen, omdat aanleg in de lengterichting van een perceel veel aantrekkelijker is dan aanleg in de breedterichting van een perceel. Niet alleen wordt de aanleg goedkoper, maar het aantal eindbuizen dat in de sloot uitkomt wordt ook veel kleiner. Bij aanleg op droge grond bestaat ook de kans dat de insnijding nog lang voelbaar is bij berijding. Bij aanleg in de dwarsrichting levert dit dan ongemak op.

Bij de aanleg moet er voor gezorgd worden dat de drains goed horizontaal liggen. Het is daarom van groot belang dat het laservlak goed horizontaal ligt. De afwijkingen in de hoogte van de drain mag niet groter zijn dan de halve diameter van die drains. Bij de aanleg van de drains moet de draagkracht voldoende zijn. Een slechte draagkracht beïnvloedt duidelijk de kwaliteit van de aanleg.

Onderhoud van de sloot is essentieel om de drains goed te laten functioneren. Voor een goede infiltratie vanuit de sloot is het belangrijk dat de eindbuizen van de drains niet in de bagger liggen.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en probleemstelling

De maaiveldddaling in het westelijk veenweidegebied na grootschalige peilverlagingen in de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw is 5 tot 12 mm per jaar (Van den Akker et al., 2007a). Deze wordt voor een groot deel veroorzaakt door biologische afbraak van veen (oxidatie), waarbij nutriënten, organische deeltjes en CO₂ en N₂O vrijkomen. Ook veranderen op termijn wegzijgebieden in kwelgebieden. Dit is bijvoorbeeld geconstateerd bij de onderbemalingen op de proefboerderij Zegveld. Deze kwel is in het veenweidegebied nutriëntenrijk, waardoor de waterkwaliteit steeds slechter dreigt te worden. Het tegengaan van maaiveldddaling door slootpeilverhogingen stuit op grote weerstand van boeren, omdat rendabele landbouw daardoor moeilijk wordt en bedrijfsrisico's groter worden. Het draagvlak van de melkveehouderij voor toepassing van onderwaterdrains om de maaiveldddaling te beperken is veel hoger dan voor de veelal voorgestelde peilverhogingen. Bovendien blijkt uit modelberekeningen dat toepassing van onderwaterdrains de veenafbraak nu, maar nog veel meer in de toekomst (door klimaatverandering!), veel effectiever beperkt dan peilverhogingen. Toepassing van onderwaterdrains voorkomt in hoge mate dat door toenemende kwel in de toekomst de nutriëntenbelasting met tientallen procenten toeneemt.

In de Voorloper Groene Hart (2008) wordt door de colleges van gedeputeerde staten van de provincies Noord-Holland, Utrecht en Zuid-Holland aangegeven, dat men veel ziet in toepassing van onderwaterdrains (eventueel) gecombineerd met een drooglegging van 40-50 cm. Echter, modelstudies en enkele kleinschalige praktijkexperimenten zijn een te smalle basis voor grootschalige invoering van onderwaterdrains, temeer daar onjuist gebruik (bijvoorbeeld toepassing bij droogleggingen van meer dan 60 cm) tegengesteld kan werken. Ook zijn mogelijk de consequenties voor het waterbeheer niet zonder meer altijd aanvaardbaar, omdat verwacht kan worden dat er meer water in en uit de polder gaat, met mogelijk nadelige gevolgen voor de waterkwaliteit. Er waren in het verleden ook vragen of de inlaat van gebiedsvreemd water de afbraak van het veen en de mobilisatie van stikstof en fosfor (interne eutrofiëring) zou kunnen bevorderen. Infiltratie van gebiedsvreemd water diep in het perceel via de drains zou dan de maaiveldddaling kunnen bevorderen. De afbraakproducten (nutriënten en DOC, opgeloste koolstofverbindingen) zouden vervolgens in natte perioden via de drains uitspoelen en het oppervlaktewater verder belasten. Een tegenargument is dat de kwaliteit van het inlaatwater in een groot aantal gevallen beter is dan het water in de polder. Dit doet echter niets af aan het feit dat met het inlaatwater ook een bepaalde hoeveelheid nutriënten en sulfaat de polder wordt ingelaten.

1.1.1 Eerder en lopend onderzoek

Het onderzoek naar toepassing van onderwaterdrains in het veenweidegebied om de maaiveldddaling te beperken is gestart in het project 'Waarheen met het Veen' (www.waarheenmethetveen.nl). Daarbij is onder andere aangesloten op een praktijkexperiment op de proefboerderij Zegveld door Animal Science Group (ASG) (Hoving et al., 2008), waarbij door Alterra de maaiveldddaling is gemonitord en er gemeten is aan het drainwater. Uit metingen aan drainwater in Zegveld en uit modelstudies volgt geen duidelijke toename van de belasting van de sloot met nutriënten en DOC, echter door de nog redelijk grote drooglegging op het proefperceel te Zegveld (ca. 55 cm) en de vrij natte zomers in de meetperiode, is de infiltratie van slootwater beperkt gebleven. Ondanks het beperkte aantal meetjaren lijkt het er niettemin steeds meer op dat de maaiveldddalingen door toepassing van onderwaterdrains wordt gehalveerd (Woestenburg, 2009). Uit modelstudies in het kader van 'Waarheen met het Veen' en het Europese project EUROPEAT bleek dat door klimaatverandering de jaarlijkse maaiveldddaling eind deze eeuw met ca. 70% zal zijn toegenomen. Toepassing van onderwaterdrains bleek geen groot effect te hebben op de belasting van de sloot met nutriënten (Woestenberg et al., 2009; Jansen et al., 2010; Hendriks en Van den Akker, 2012). Bij een W+ klimaatscenario leidt toepassing van onderwaterdrains bij zowel N als P tot een lagere belasting op het oppervlaktewater vanuit het perceel.

Door Hoving et al. (2008, 2009, 2013) is praktijkonderzoek gedaan naar de mogelijkheden van onderwaterdrains voor de melkveehouderij. Naast het eerder genoemde praktijkexperiment in Zegveld zijn in 2006 op twee praktijkbedrijven in de polder Zeevang onderwaterdrains aangelegd, waarbij ook een economische analyse naar de rendabiliteit is uitgevoerd. Uit dit onderzoek en het onderzoek op de proefboerderij Zegveld blijkt dat voor de melkveehouderij de aanleg van onderwaterdrains rendabel is bij een gedwongen keuze tussen peilverhoging (c.q. geen peilverlaging meer om de voortdurende maaiveld daling te compenseren) of toepassing van onderwaterdrains. Op bedrijfsniveau lijkt toepassing van onderwaterdrains ook milieuvoordelen te hebben voor de nutriëntenbenutting en de beperking van de veenafbraak en daarmee de mineralisatie van N en P. Dat er minder N vrijkomt door mineralisatie betekent in principe dat er minder N beschikbaar komt voor grasgroei, echter, dit wordt meer dan volledig gecompenseerd door een betere nutriëntenbenutting van de bemesting (Hoving et al., 2008, 2009). Al met al komen er door minder veenmineralisatie en een betere nutriëntenbenutting veel minder nutriënten in het milieu terecht.

In 2011 en 2012 is op het Veenweiden Innovatie Centrum (VIC, melkveeproefbedrijf Zegveld) een experiment uitgevoerd naar de toepassing van dynamisch slootpeilbeheer op veengrond om het grondwater zo weinig mogelijk te laten uitzakken (Hoving et al., 2013). Hierbij is ook naar de werking van onderwaterdrains gekeken. In het algemeen is de conclusie dat met dynamisch peilbeheer het effect van onderwaterdrains op de diepere zomergrondwaterstanden aanzienlijk wordt vergroot. Zonder onderwaterdrains zakten de grondwaterstanden aanmerkelijk verder uit dan met onderwaterdrains.

In september 2012 zijn in het noordelijk deel van de polder Zeevang nabij Warder een aantal proefvelden met en zonder onderwaterdrains ingericht. Door het toepassen van onderwaterdrains bij een gemiddelde drooglegging van 60 cm - mv in de winter en 40 cm -mv in de zomer wordt naar verwachting de diepste grondwaterstand in de zomer verhoogd ten opzichte van de oorspronkelijke situatie zonder drains met in het gehele jaar een drooglegging van 40 cm - mv. Verder wordt verwacht dat de drainerende werking van onderwaterdrains in de winter en tijdens natte perioden in de zomer zorgt voor een dusdanige verbetering van het economisch bedrijfsresultaat, dat de aanleg van onderwaterdrains een rendabele investering is. Opdrachtgever is de provincie Noord-Holland in samenwerking met het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. De proef wordt uitgevoerd door Livestock Research, VIC, Alterra en de Grontmij.

Een belangrijk milieuvoordeel van toepassing van onderwaterdrains is dat door de verminderde afbraak van veen de CO₂- en N₂O-emissies sterk worden gereduceerd. Deze is nu 2-3% van de totale Nederlandse CO₂- emissie van antropogene oorsprong (Kuikman et al., 2005). Momenteel komt beperking van CO₂-emissies van veenweide nog niet in aanmerking voor verkoop als CO₂-emissierechten, echter, als dit in de toekomst eventueel wel het geval is, dan zou hiermee de aanleg van onderwaterdrains volledig kunnen worden gefinancierd en bovendien winstgevend zijn.

Naar aanleiding van de resultaten in 'Waarheen met het Veen?' zijn door de provincies en de waterschappen waarin het westelijk veenweidegebied ligt een aantal aanvullende vragen gesteld naar de effecten van onderwaterdrains op de inlaatbehoefte en afvoer en naar de effecten op de waterkwaliteit. Ook waren er vragen naar het mogelijke effect van inlaatwater op de afbraak van veen. De waterkwantiteitsvragen zijn beantwoord aan de hand van een modelstudie (Jansen et al., 2009). In de modelstudie met SIMGRO is door Jansen et al. (2009) voor verschillende waterbeheerscenario's de extra inlaat- en afvoerbehoefte berekend bij toepassing van onderwaterdrains in de polder Zegveld voor een veengrond zonder en met een dun kleidek (ca. 30 cm dik). In de scenario's zonder drains was de drooglegging 60 cm en in de scenario's met drains 50 cm. Toepassing van onderwaterdrains resulteerde in ca. 40% minder maaiveld daling, maar wel in 35% (40 mm) toename van de inlaat in de zomer. Anderzijds werd door Jansen et al. (2009) ook een optimaal scenario doorgerekend, waarin de toepassing van onderwaterdrains werd gekoppeld met een dynamisch peil met 2 tot 5 cm marge rond het streefpeil en sparen van water door gebruik te maken van weersvoorspellingen. Dit leverde een bijna optimale beperking van de maaiveld daling op, terwijl er bijna geen extra inlaatwater nodig was (6 mm).

Daarnaast is een soortgelijke verkennende modelstudie uitgevoerd voor de bepaling van het effect van onderwaterdrains op de extra waterbehoefte van het Groene Hart in 2050 onder invloed van klimaatverandering (Droogtestudie Groene Hart, Van den Akker et al., 2011). In tegenstelling tot de eerdere studie hadden in dit geval de situaties met en zonder drains eenzelfde drooglegging, namelijk 50 cm. Uit deze verkennende modelstudie blijkt dat toepassing van onderwaterdrains in het Groene Hart leidt tot een toename van de watervraag met ca. 7% (ca. 5 miljoen m³) voor de veengebieden waar onderwaterdrains toegepast kunnen worden. Bij een klimaatscenario W+ en een extreem droge zomer zoals 1976 kan dit oplopen tot 14%. De piekvraag in de maatgevende decade blijkt bij toepassing van onderwaterdrains ca. 20% groter te zijn dan bij de referentie zonder drains.

De vraag of infiltrerend water inderdaad de veenafbraak bevordert, is in eerste instantie pragmatisch aangepakt door bij praktijkbedrijven in het Groene Hart onderwaterdrains op te graven die al meer dan vijftien jaar hebben gefunctioneerd. Hieruit bleek geen toename van de afbraak van veen rondom de drain (Van den Akker et al., 2007b). In een literatuurstudie naar het effect van toepassing van onderwaterdrains op interne eutrofiëring en veenafbraak (Kemmers en Koopmans, 2010) zijn een groot aantal publicaties naar interne eutrofiëring en anaerobe afbraak doorgenomen. Veel onderzoeken bleken gebaseerd op laboratoriumonderzoek en een conclusie uit de literatuurstudie was dat de praktijksituatie nogal verschilt van de situatie in de laboratoriumonderzoeken. Geconcludeerd werd dat in de praktijk de grootte van de afbraak veel minder zal zijn dan in de laboratoriumopstellingen. Afbraak onder anaerobe omstandigheden is zeker een bestaand mechanisme, maar geschat wordt dat de anaerobe afbraak van veen door het sulfaat in het infiltrerende water in het niet valt bij de 'normale' aerobe afbraak. Dit werd ook aangetoond door Hendriks en Van den Akker (2012) in een waterkwaliteitsonderzoek met een modelstudie met SWAP-Animo, waarbij kenmerkende veeneenheden zijn doorgerekend om de effecten van onderwaterdrains te bepalen. Kenmerkende veeneenheden kenmerken zich door: (1) veenprofiel (soort veen, met of zonder klei-afdekking), (2) hydrologische setting (drooglegging, kwel, wegzijging, kwel als bron van nutriënten), (3) hydraulische setting (indringing inlaatwater in de polder, indringing water in het veen, kwaliteit infiltrerend oppervlaktewater).

Aanbevelingen van 'Waarheen met het Veen' zijn onder andere een inventarisatie van ervaringen van melkveehouders die al langere tijd onderwaterdrains toepassen, het opgraven van onderwaterdrains in brakwatersituaties analoog aan het eerdere onderzoek in het Groene Hart (Van den Akker et al., 2007b), voortzetting van maaiveldhoogtemetingen aan de bestaande proefpercelen met en zonder onderwaterdrains om daadwerkelijke beperking van de maaivelddaling vast te stellen, het meten van broeikasgasemissies en het op praktijkschaal meten van de effecten van onderwaterdrains op waterkwantiteit (inlaat en afvoer) en de waterkwaliteit.

Vooraf voor het waterbeheer zijn de punten over de waterkwantiteit en waterkwaliteit van groot belang. Modelstudies geven niet voldoende zekerheid dat toepassing van onderwaterdrains in de praktijk echt niet leidt tot een significant grotere waterinlaat en waterafvoer en een grotere nutriëntenbelasting van de sloot. Daarom is het voor een verantwoord waterbeheer gewenst dat metingen op praktijkschaal worden uitgevoerd in een aantal pilots. Door de provincie Utrecht, de waterschappen AGV en HDSR en LTO-Noord is daarom het initiatief genomen om twee pilots in de provincie Utrecht te starten (Hendriks et al., 2013). De pilot in de Krimpenerwaard is een soortgelijke pilot geïnitieerd door de provincie Zuid-Holland, hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard, LTO-Noord en het hoogheemraadschap van Rijnland. De keuze van de pilots (soort veengrond, hydrologische setting, indeling als veenweide-eenheid) zijn op elkaar en eerder en lopend onderzoek afgestemd.

1.1.2 Pilots in het Groene Hart

In 2010 en 2011 zijn in de provincie Utrecht twee pilots op praktijkschaal (perceel en sloot als gekoppeld systeem) gestart om inlaat, afvoer en waterkwaliteit te meten bij proefvakken met en zonder drains. Daarnaast zijn maaiveldhoogten, neerslag, grondwaterstanden, bemesting en grasopbrengst gemonitord.

De eerste Utrechtse pilot ligt bij de Demmeriksekade nabij Vinkeveen in het gebied van het waterschap Amstel Gooi en Vecht (AGV, Waternet). Het bedrijf grenst aan de achterzijde aan een natuurgebied met een hoog waterpeil. Het zijn percelen op een mesotrofe broekveengrond zonder een dun mineraal dek. De grond is geclassificeerd als een koopveengrond, één van de meest algemeen voorkomende veengronden. De percelen hebben een vrij geringe drooglegging van slechts 35-40 cm. De wegzijging is aanzienlijk, namelijk 0,7-1 mm per dag. De wegzijging zorgt ervoor dat de grondwaterstanden wat lager zijn dan zou volgen uit het slootpeil. Het inlaatwater komt van niet al te ver van het Amsterdam-Rijnkanaal en is daarmee duidelijk gebiedsvreemd.

De tweede Utrechtse pilot ligt in de polder Keulevaart nabij Vlist in het gebied van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR). Het is een veengrond met een kleidek van 30 - 40 cm dik. Daaronder begint een laag met zwart veen dat vrij ver is verteerd tot ca. 80 cm diepte. Daaronder zit in het algemeen rietzeggeveen met veel houtresten en dat wijst op een rijker milieu. De grond is geclassificeerd als een waardveengrond, een veel voorkomende veengrond. De wegzijging is nihil (0,014 mm/dag). De drooglegging is in de zomer 55 cm en in de winter 65 cm. Het inlaatwater in het proefgebied is niet duidelijk gebiedsvreemd. Uit de monitoring moet beter bekend worden wat het verloop in kwaliteit van het inlaatwater in het proefgebied is.

De derde pilot is het onderhavige project in de Krimpenerwaard in de provincie Zuid-Holland en in het gebied van het hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard (HHSK), ongeveer in het hart van de Krimpenerwaard, nabij Berkenwoude. Het is een veengrond met een kleilig moerige bovengrond en een veenondergrond bestaande uit roodbruin zeggeveen. De bovengrond is ca. 35 cm dik, de gereduceerde zone begint op 60 cm -mv. De grond is geclassificeerd als een koopveengrond en kenmerkend voor het middengedeelte van de Krimpenerwaard. Koopveengronden zijn heel algemeen voorkomende veengronden. Het is een wegzijggebied, de mate van wegzijging is beperkt. De drooglegging is ca. 45 cm en is daarmee zeer geschikt voor een pilot met onderwaterdrains. Een drooglegging van 45 cm is namelijk voor een goede bedrijfsvoering aan de krappe kant. De drainerende werking van onderwaterdrains kan de draagkracht van deze grond merkbaar verbeteren, terwijl het relatief hoge slootpeil er voor zorgt dat de infiltrerende werking van de onderwaterdrains goed tot zijn recht komt en de maaiveld daling potentieel wordt gehalveerd.

De pilots in de Krimpenerwaard en in de polder Keulevaart representeren de twee meest voorkomende veengronden in het Groene Hart. Het belang van deze pilots is daarmee duidelijk.

De pilot in de Demmeriksekade representeert een situatie met een landbouwkundig (te) geringe drooglegging, waar een vrij grote wegzijging zorgt dat de draagkracht toch nog redelijk is. De diepere grondwaterstanden door de wegzijging zorgen echter ook voor een maaiveld daling van ca. 1 cm per jaar. De percelen worden daardoor steeds holler en maken peilverlagingen noodzakelijk. Door het vlak trekken van de grondwaterstand door toepassing van onderwaterdrains en het beperken van de maaiveld daling wordt het steeds holler worden van de percelen voorkomen. Door de drainerende werking van de drains in natte perioden kan (voorlopig) een alternatief worden geboden voor de peilverlaging of kan veel langer geprofiteerd worden van een beperkte peilverlaging. Het feit dat naast natuurgebieden peilverlagingen een probleem vormen wordt steeds algemener. Dit maakt een pilot die op dit probleem ingaat van groot belang.

1.1.3 Probleemstelling

Voor veranderingen in het waterbeheer zijn resultaten van modelstudies en metingen die zich beperken tot (delen van) percelen op een enkele locatie niet voldoende onderbouwing. Gezien de grote belangen en problemen met de watertoevoer en -afvoer en de waterkwaliteit in de veengebieden is dit logisch. Om de modelberekeningen en inschattingen te toetsen aan de realiteit, zijn pilotstudies in de vorm van praktijkproeven die minstens twee percelen en de sloot daartussen beslaan noodzakelijk. Daarbij is gewenst dat de effecten van onderwaterdrains op waterkwantiteit en -kwaliteit worden vastgesteld op meerdere onderscheidende locaties, die in overeenstemming met de waterschappen en provincies zijn gekozen.

Alléén als de effecten van toepassing van onderwaterdrains op de waterkwantiteit en waterkwaliteit geen belemmerende factor vormen, kan deze techniek worden geïntroduceerd in de Krimpenerwaard. De aanleg van onderwaterdrains in het veenweidegebied van de Krimpenerwaard moet door de melkveehouderij zelf worden gedaan. Een eerste vereiste voor een goede, afgewogen beslissing van de melkveehouder is een goed zicht op de economische rendabiliteit van de aanleg van onderwaterdrains. Het project zal daarom hierover duidelijkheid moeten verschaffen. Ook zal de communicatie met de melkveehouderij goed geregeld moeten zijn om een succesvolle introductie mogelijk te maken.

1.1.4 Projectdoelstelling

Het Veenweidepact Krimpenerwaard werkt aan vijf doelen: 1. de aanleg van nieuwe natuur, 2. duurzaam waterbeheer en het tegengaan van bodemdaling, 3. het versterken van de landbouwstructuur, 4. extra kansen voor toerisme en recreatie en 5. het stimuleren van vernieuwend ondernemerschap. In het pact werken overheden en maatschappelijke organisaties samen aan de toekomst van de Krimpenerwaard.

Toepassing van onderwaterdrains kan vooral een grote bijdrage leveren aan de beperking van maaiveldddaling (punt 2) en behoud cq. versterken van de landbouwstructuur (punt 3). Indirect wordt ook aan de resterende punten bijgedragen omdat een doorgaande maaiveldddaling een bedreiging vormt voor de doelstellingen van deze punten.

Het project moet op praktijkschaal overtuigend aantonen wat het effect van toepassing van onderwaterdrains is op de waterbehoefte en waterkwaliteit voor een aantal kenmerkende locaties in het veenweidegebied. De pilot in de Krimpenerwaard staat dus niet op zichzelf maar wordt samen met de locaties in de provincie Utrecht en de kennis opgedaan in eerdere projecten gebruikt om algemene conclusies te trekken voor het veenweidegebied. Daarnaast moet inzicht worden gegeven in hoeverre toepassing van onderwaterdrains bedrijfseconomisch rendabel is. Vooral bij de pilot in de Krimpenerwaard is een derde doelstelling een goede communicatie richting bedrijfsleven over de toepassing van onderwaterdrains in de praktijk.

1.1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 Methodes wordt het proefveld beschreven en ingegaan op de metingen en op de modellen SWAP en ANIMO en de manier waarop deze modellen zijn gebruikt om de meetgegevens te verwerken en te evalueren. In hoofdstuk 3 worden resultaten gegeven, die vervolgens worden uitgewerkt in de hoofdstukken 4, 5 en 6. Vooral hoofdstuk 6 speelt een hoofdrol in het rapport, waarin de meetresultaten wat betreft waterkwantiteit en -kwaliteit worden verwerkt en geëvalueerd met de modellen SWAP en ANIMO. Deze aanpak resulteert in een duidelijkere en consistentere uitwerking en presentatie van de meetresultaten en maakt het ook mogelijk om de effecten van droge en natte jaren en extreme neerslag te simuleren. Tot slot worden in hoofdstuk 7 de conclusies gepresenteerd.

2 Methoden

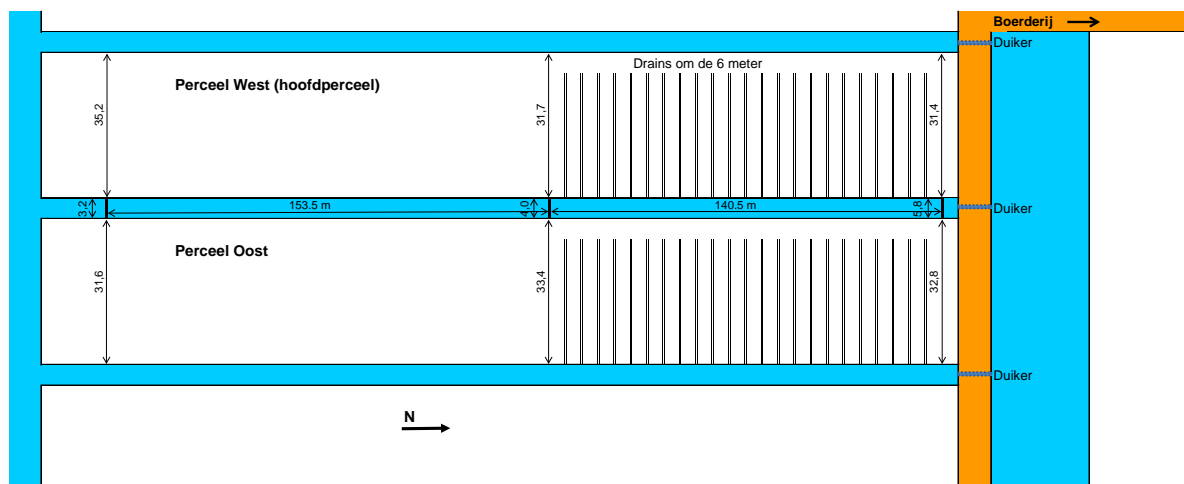
2.1 Proefveld en metingen

2.1.1 Situatie en profielbeschrijvingen

Van het bedrijf van de hr. M de Vries, Benedenheulseweg 31, 2821 LV Stolwijk zijn twee naastliggende percelen met daar tussen in een sloot geselecteerd (zie figuur 2.1). Het zijn 'koopveen-gronden', dat zijn veengronden waarop een moerige eerdlaag is ontwikkeld. Ter verkenning is een aantal boringen met een Edelmanboor verricht tot 2 m diepte. Naar aanleiding van de resultaten zijn twee percelen geselecteerd. Op het westelijke perceel bleken nog twee eerdere boringen uit 1984 van de bodemkartering aanwezig te zijn in BIS. Een overzicht waar de boringen zijn verricht en de boorbeschrijvingen zijn gegeven in bijlage 2. Bovenin het profiel is wat klei aanwezig, maar niet voldoende om het veen te classificeren als weideveengrond. De ondergrond (tot 120 cm -mv.) bestaat hoofdzakelijk uit mesotroof broekveen, maar ook gedeelten met zeggeveen, dat op een diepte van ca. 90 cm overgaat in eutroof broekveen. De drooglegging is ca. 45 cm. De gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) zit op 65 cm.

2.1.2 Inrichting proefvelden en metingen

Een overzicht van de proefvelden is gegeven in bijlage 1 en figuur 2.1.



Figuur 2.1 Overzicht proefveld Krimpenerwaard, meer details zijn aangegeven in bijlage 1.

Op de voorste, noordelijke, helft (richting boerderij) van de twee percelen zijn drains met een buisdiameter van 6 cm aangelegd met een omhulling bestaande uit versnipperde bollennetten. De drains zijn om de 6 meter dwars op het perceel gelegd. De bovenkant van de drains ligt ca. 15 cm onder het slootpeil. De drains zijn zo spoedig mogelijk na de verkenning aangebracht, zodat de hydrologische situatie en de daarbij behorende bodemfysische en -chemische situatie en processen zich alvast zoveel mogelijk kunnen aanpassen voordat de proef en de metingen beginnen. Het aanbrengen is sleufloos gebeurd. Van het westelijke perceel komen alle drains op de tussensloot uit. Van het andere perceel komen de drains in de naastliggende, oostelijke, sloot uit. De tussensloot wordt bemeten, de naastliggende, oostelijke, sloot niet. Het achterste deel van beide percelen en het daartussen liggende deel van de sloot vormen de referentie. Met drie damwanden wordt de tussensloot in twee delen opgesplitst. Het achterste deel voor het referentiedeel en het voorste deel voor het deel met de drains. De zuidoostelijke en zuidwestelijke proefvelden (zonder drains) wateren elk voor

de helft af naar de meetsloot in het midden en vormen de referentiesituatie. De drains wateren af naar het oosten, zodat het westelijke proefveld met drains op de meetsloot afwatert. Beide percelen hebben geen greppels. Het westelijk perceel is nagenoeg vlak, het oostelijk perceel heeft een opbolling. Aan de met damwanden afgesloten meetsloten worden de hoeveelheden en kwaliteit van het in en uit te pompen water gemeten.

Vaste punten

Er zijn twee vaste punten geïnstalleerd, bestaande uit gegalvaniseerde stalen buizen. Deze vaste punten dienen als referentie voor de hoogtemetingen. De buizen zijn in de meetsloot bij de middelste damwand en bij de noordelijke damwand geïnstalleerd en tot in de vaste zandondergrond gespoten/geslagen.

Grondwaterstanden

Freatische grondwaterstanden

In een dwarsraai over het perceel over het 'meetpunt' zijn negen grondwaterstandbuizen geplaatst. Bij het proefveld met drains liggen de grondwaterstandbuizen halverwege tussen de drains. De grondwaterstandbuizen zijn onder straatputjes geplaatst, met bovenkant buis zodanig diep dat bij maaiveldzakking door droogte de buiskop nog ruimte heeft. De grondwaterstandsbuizen hebben een filterlengte van 1 meter, met daarop een blinddeel van ca. 50 cm, zodat het filter van deze buizen zich op maximaal 150 cm - mv. bevindt. De buizen zijn in een raai over het meetveld dwars op de sloot geplaatst. Op het westelijk proefperceel, aan de westzijde van de meetsloot, liggen de grondwaterstandbuizen op 1, 3, 6, 9, 15, 22, 25, 28, 30 meter (vanaf de meetsloot naar het westen toe). Op het oostelijk proefveld, aan de oostzijde van de meetsloot, liggen de grondwaterstandbuizen op dezelfde afstanden (vanaf de meetsloot naar het oosten toe). Bij de referentie zijn op het oostelijk proefperceel de buizen op 22 en 25 m afstand van de meetsloot vervallen, omdat deze daar onverwacht op lompen stuitten.

Meetpunt

Op het westelijk proefveld zijn bij zowel de referentie als bij de drains op 9 meter vanaf de meetslootkant het 'meetpunt' gesitueerd (zie figuur in bijlage 1). Bij het oostelijk proefveld ligt het 'meetpunt' ook op 9 meter vanaf de meetsloot. Bij de drains zit het meetpunt halverwege tussen twee drains. Het meetpunt bestaat uit een serie grondwaterstandbuizen met verschillende filterdiepten:

A: twee buizen met een lengte van 2 m waarvan de onderste 1,50 m met filter voor meting van het freatisch grondwater. In één van deze freatische buizen wordt een Diver (geautomatiseerde grondwaterstandopnemer) geïnstalleerd. De andere freatische buis dient voor de grondwaterstandmetingen met de hand (klokje).

B: Een buis met een lengte van 1 m met een filterlengte van 0,50 m en een blinddeel van 0,50 m.

C: Een buis van 4,00 m met een filterlengte van 0,50 m en een blinddeel van 3,50 m.

D: Een buis van 2 m met een blinddeel van 0,50 m en een filter van 1,50 m (freatische buis) op 0,50 m vanaf de drain.

Diep grondwater

Er zijn twee potentiaalbuizen aangebracht om de diep grondwaterstand te meten. Eén buis is op het westelijk perceel bij de damwand en opstelling aan de noordzijde aangebracht en één op het oostelijk perceel nabij de damwand in het midden. Deze zijn aangegeven met E (zie bijlage 1):

E: Een potentiaalbuys met een lengte van 10 m waarvan 9,50 m blind en 0,50 m filter.

Slootpeilen

Op de damwanden zijn peilschalen bevestigd aan beide zijden van de dam. De bovenkant van de peilschalen zijn ingemeten met een waterpas vanaf de referentiepunten. De hoogte van de peilschalen wordt twee keer in het jaar gecontroleerd. De peilschalen worden gebruikt om het slootpeil in de meetsloot te monitoren. Daarnaast zijn aan de dam in het midden aan beide zijden buizen bevestigd met daarin een Diver, waarmee geautomatiseerd elke zes uur het slootpeil wordt geregistreerd.

Hoogtemetingen

De maaiveldhoogte wordt per proefveld in drie dwarsraaien gemeten en in één lengteraai. De lengteraai ligt over het 'meetpunt' op eenderde van de breedte van het perceel en bestaat uit 15 - 20 punten. Bij het proefperceel met drains wordt halverwege tussen de drains gemeten. Elk voorjaar wordt op dezelfde punten gemeten. Het begin- en eindpunt van de raai is met een ondergronds punt vastgelegd en afgedekt met een geel straatputje.

Er wordt in minimaal drie dwarsraaien gemeten om de twee meter. De middelste raai is over het 'meetpunt' en dus over de raai met grondwaterstandbuizen. De onderlinge afstand tussen de dwarsraaien is 12 meter. Bij het proefveld met de drains wordt er voor gezorgd dat de raaien halverwege tussen de drains vallen. Elke dwarsraai is vastgelegd met twee punten elk bestaande uit een ondergronds punt dat is afgedekt met een geel straatputje.

Meetfrequentie

De slootpeilen en de grondwaterstanden ter plaatse van het 'meetpunt' worden elke 14-21 dagen opgenomen. De grondwaterstanden in de dwarsraai worden in verband met de tijd/kosten incidenteel en aangepast aan de tijd van het jaar en de weeromstandigheden gemeten. De maaiveldhoogten en de hoogten van de grondwaterstandbuizen worden jaarlijks gemeten in het vroege voorjaar, als de grond maximaal gezwollen is.

Waterkwaliteit en -kwantiteit

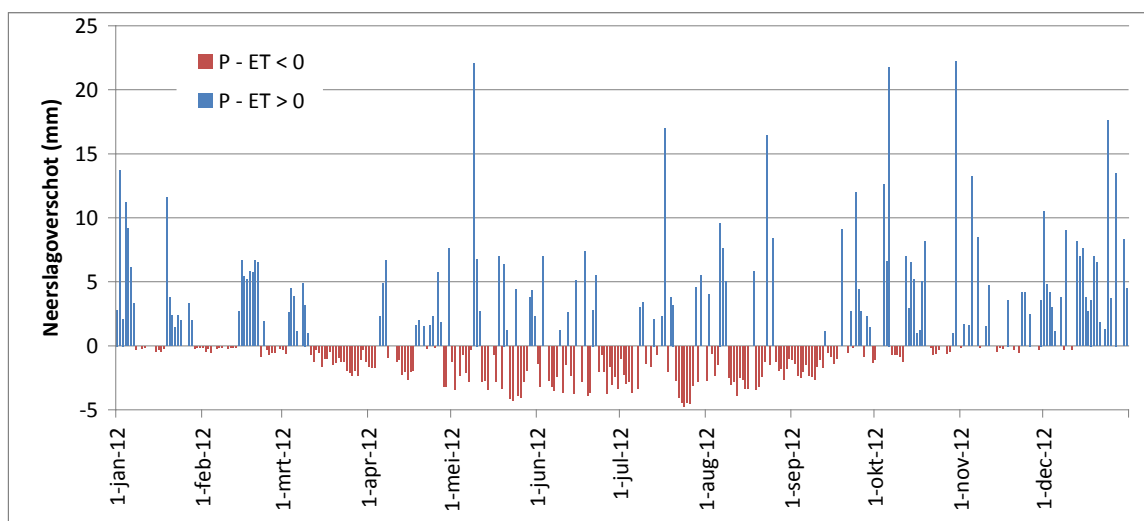
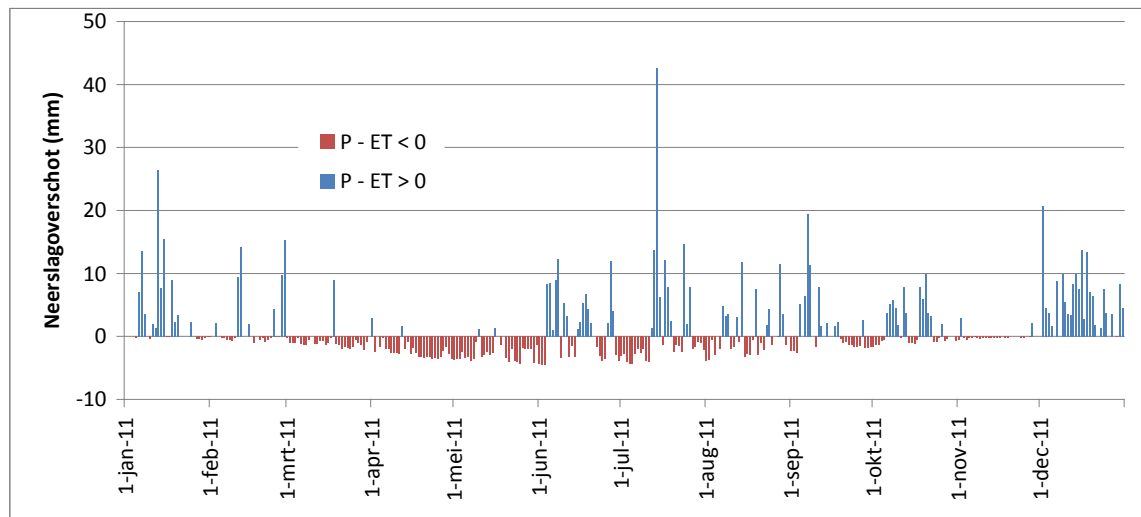
Met twee pompen per deelgebied worden de peilen in het referentiegebied en het gebied met onderwaterdrains gehandhaafd volgens het gewenste regime. De polderpeilen in dit gebied zijn zowel in de zomer als de winter -2,21 m NAP (vast peil). De marge in de streefpeilen is + en -1 centimeter. Verder is de regeling zodanig dat de pompen na het signaal 'uit' nog een naloop hebben van vijf minuten. Om te voorkomen dat de pompen door golfslag voortdurend aanslaan, moeten de sensors gedurende een aantal minuten op 'aan' staan voordat de pomp daadwerkelijk aanslaat. De hoeveelheid en kwaliteit van het in- en uitgepompte water wordt gemonitord. Het nemen van het monster is geautomatiseerd en gebeurt debietproportioneel en er wordt per in- of uitgepompte 5.000 liter een monster genomen. De monsters worden gekoeld bewaard en elke veertien dagen opgehaald. In verband met de analysekosten worden daarbij de monsters samengevoegd. Op dat moment wordt ook een slootwatermonster van het slootwater binnen en buiten de proefgebieden genomen. Van de watermonsters wordt het gehalte aan Al, Ca, Fe, P, S, Cl, pH, DOC, IC, TN, N-NH₄, N-(NO₃+NO₂) en PO₄ bepaald. Daarnaast wordt het gehalte aan N en P bepaald na destructie (dit wil zeggen dat niet alleen de gehalten opgelost in water, maar ook in de zwevende deeltjes worden bepaald). Op deze manier kan het stoffentransport met het in- en uitgaande water worden bepaald. Incidenteel wordt aan bodemwater op verschillende diepten en aan uitstromend drainwater gemeten.

Bedrijfsgegevens

De bedrijfsgegevens, zoals bemesting, geschatte grasopbrengsten en ervaringen met de onderwaterdrains worden vastgelegd door de proefboerderij Zegveld door een interview met de heer van M. de Vries. Om de grasopbrengsten vast te stellen worden per maaisnede of beweiding door de proefboerderij Zegveld stroken uitgemaaid. Daarvan wordt per snede de drogestofopbrengst bepaald. Per snede worden gewasmonsters bewaard om deze na het groeiseizoen te laten analyseren.

Meteo

De neerslag is gemeten met een regenmeter (tipping bucket) met een nauwkeurigheid van 0,2 mm. In een aantal gevallen bleken de metingen onbetrouwbaar en zijn de meetreeksen aangevuld met KNMI metingen van Cabouw en Gouda. De verdampingsgegevens zijn de KNMI metingen van Cabouw. De neerslagoverschotten in 2011 en 2012 zijn gepresenteerd in figuur 2.2. Kenmerkend voor 2011 is een droog voorjaar, een natte zomer met een zware bui in juli en een vrij droog najaar. Kenmerkend voor 2012 is dat het een nat jaar is met veel regen in de zomer.



Figuur 2.2 Neerslagoverschot ($P - ET$) op dagbasis van de pilot Krimpenerwaard in 2011 en 2012. NB de verticale schalen verschillen in 2011 en 2012 in verband met een zware bui in juli 2011.

2.2 Modevaluatie en -analyse met SWAP en ANIMO

Met het agrohydrologisch model SWAP en nutriëntenhuishouding en -uitspoelingsmodel ANIMO zijn de meetgegevens geëvalueerd en geanalyseerd. Omdat de evaluatie en analyse met SWAP betrekking had op de basale vraagstukken en bijbehorende metingen betreffende water - zoals de effecten van onderwaterdrains op grondwaterstand als indicator voor maaiveldaling en de hoeveelheden wateruitwisseling tussen veenbodem en veensloot die ook de basis vormde van de nutriëntenuitspoeling - hebben de SWAP-berekeningen de meeste aandacht en tijd gekregen. De ANIMO-berekeningen zijn daarom, maar ook omdat de metingen aan nutriënten zich vooral beperkte tot het slootwater, vrij globaal gebleven.

2.2.1 SWAP

2.2.1.1 Doel

Het doel van de berekeningen met het hydrologisch model SWAP was tweeledig:

1. Evaluatie van de metingen en (daarmee) analyse van de huidige situatie om daarmee een compleet beeld te krijgen van effecten van onderwaterdrains op de water- en nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater:
 - a. het beoordelen van de kwaliteit en completeren van meetgegevens. De wateruitwisseling tussen veenbodem en sloten in de situaties zonder en met onderwaterdrains is zo goed mogelijk gemeten. Door verstoringen en door ingrepen van de landbouwer tijdens extreme omstandigheden zijn deze gemeten debieten niet exact en compleet. Ook het meten van grondwaterstanden en diepe peilen is in veenweidepercelen die worden beheerd (bemesten en maaïen) en beweïd door vee, een moeilijke zaak waardoor verstoringen en hiaten in meetreeksen ontstaan, en onzekerheden over de kwaliteit van de meetresultaten. Een gekalibreerd (geijkt) model kan hierover uitsluitsel geven en een instrument zijn voor analyse van de optredende mechanismen.
 - b. het beter mogelijk maken van de vergelijking tussen de twee aangelegde behandelingen zónder en mét drains. Om de effecten van onderwaterdrains op grondwaterstanden en water- en stoffenuitwisseling tussen veenbodem en oppervlaktewater te onderzoeken, zijn in dit onderzoek velden mét drains vergeleken met velden zónder drains (0-veld of referentie). Voor een goede vergelijking moeten beide proefvelden naast de aangelegde behandelingen in andere kenmerken exact gelijk zijn. Aangezien dit in werkelijkheid nauwelijks is te realiseren, worden in statistisch verantwoorde proefopzetten een statistisch vereist aantal herhalingen uitgevoerd. Dat was - en is meestal - in dit (soort) onderzoek niet mogelijk. Door modellen te kalibreren (ijken) op verschillende meetgegevens tegelijkertijd is het mogelijk om voor grootheden die niet exact bekend zijn plausibele waarden af te leiden. In dit onderzoek gaat het dan vooral om de gemiddelde maaiveldhoogte (belangrijk voor effecten drains op grondwaterstand) en de precieze grootte van het intrekgebied van de bemeten slootdelen (belangrijk voor effect op water- en stoffenbelasting). Zonder deze gegevens kunnen effecten van drains op grondwaterstand en water- en stoffenbelasting nauwelijks worden beoordeeld.
 - c. het verkrijgen van aanvullende gegevens om een compleet beeld af te leiden uit een beperkt aantal meetgegevens. Dit geldt vooral voor de uitwisselingsdebieten en -stofvrachten tussen veenbodem en slootwater. De gemeten debieten zijn de uitwisselingsdebieten tussen de afgedamde 'meetsloot' en de rest van het oppervlaktewatersysteem. Om hieruit de wateruitwisseling als drainage en infiltratie tussen veenbodem en sloot af te leiden, moeten deze gegevens worden geïnterpreteerd met de overige termen van de waterbalans: neerslag direct op en verdamping uit het slootoppervlak, wegzijging of kwel direct uit/naar de sloot en de verandering in berging (slootpeil). Hiervan zijn alleen de neerslag en de peilverandering gemeten. Met een model kan de waterbalans dynamisch in de tijd worden geëvalueerd zodat de beoogde grootheden drainage en infiltratie zo goed mogelijk kunnen worden berekend.
2. Doorrekenen van scenario's van weersomstandigheden of maatregelen om de effecten hiervan te voorspellen. Dat is vooral in dit onderzoek gewenst omdat de twee doorgemeten jaren niet alle gewenste weersomstandigheden hadden. Dit geldt dan vooral voor een lange droge periode in de zomer, omdat juist dan het beoogde effect van onderwaterdrains op de grondwaterstand kan worden beoordeeld. Maar voor de vraag van de waterbeheerders wat het effect is van drains op het waterbeheer onder zeer droge en natte omstandigheden is het ook zeer gewenst om de meetgegevens te extrapoleren naar een totaal beheersgebied.

2.2.1.2 Modelbeschrijving

SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant) is een gedetailleerd, dynamisch bodemfysisch model voor simulatie van verticaal transport van water, warmte en opgeloste stoffen in een afwisselend waterverzadigde en -onverzadigde bodemkolom op veldschaal (Van Dam et al., 2008). In dit onderzoek is SWAP versie 3.2 (Kroes et al., 2008) gebruikt. De toepassing van SWAP in veenweiden met onderwaterdrains is o.a. beschreven in Hendriks et al. (2008) en Hendriks en Van den Akker (2012). Hieronder volgt een zeer korte beschrijving van het model. Uitgebreide(re) beschrijvingen zijn gegeven in de genoemde literatuur.

Waterstroming en -balans

Verticale waterstroming in de bodemkolom wordt berekend met de Richards' vergelijking die sterk fysisch is gebaseerd. SWAP lost deze vergelijking integraal op voor de onverzadigde-verzadigde zone, met een numeriek schema op basis van ingevoerde karakteristieken voor waterretentie en onverzadigde doorlatendheid. Voor de verticale discretisatie is de bodemkolom opgedeeld in compartimenten met dikte van 0,1-1 cm (bovenin) tot decimeters (onderin). Temporele discretisatie wordt verkregen met een dynamische tijdstapgrootte van 10⁻⁷ tot 0,2 dag, afhankelijk van de dynamiek van het doorgerekende systeem.

Uitwisseling van water vindt plaats met de domeinen aan de randen: de atmosfeer aan de bovenrand, ontwateringsmiddelen (open en/of drainagebuis) aan de zijrand en het diepere grondwater aan de onderrand. De bovenrandvoorwaarden zijn neerslag (regen, sneeuw, beregening), gewasinterceptie, bodemverdamping en gewastranspiratie. De laatste twee worden berekend op basis van referentiegewasverdamping of volgens Penman-Monteith, en afhankelijk van het groeistadium en de bodemvochttoestand. De zijrand betreft drainage en oppervlakte-afstroming (runoff) naar ontwateringsmiddelen, en infiltratie en inundatie vanuit ontwateringsmiddelen. Maximaal vijf ontwateringsmiddelen met ieder een eigen drainageniveau kunnen worden onderscheiden. Verdeling van drainagefluxen over verzadigde modelcompartimenten wordt per niveau verkregen met het pseudo-2D-stromingsconcept. Aan de onderrand vindt kwel of wegzijging plaats, of geen uitwisseling bij een ondoorlatende onderrand. Kwel/wegzijging wordt dynamisch in de tijd berekend afhankelijk van het verloop in de tijd van grondwaterstand en opgelegde stijghoogte van het diepere grondwater met een weerstand voor verticale stroming (c-waarde).

Modelinvoer en -uitvoer

De invoergegevens die SWAP nodig heeft voor uitvoeren van simulaties kunnen worden onderverdeeld in drie hoofdgroepen:

1. initiële waarden van alle toestandsvariabelen: dit zijn vochtgehalten, drukhoogten en temperaturen per bodemcompartiment. Door de relatief korte reactietijd (simulatieweken of maanden) van het systeem, zijn deze waarden niet sterk bepalend;
2. waarden van procesparameters: invoergegevens die (meestal) constant zijn gedurende de simulaties en die de processen van het model sturen. Belangrijkste zijn de hydraulische karakteristieken, textuurgegevens, drainage- en infiltratieweerstanden en c-waarden, gewasparameters, bodemverdampingsparameters enz.;
3. randvoorwaarden (forcing variables): waarden van variabelen die de processen aan de randen bepalen en die het systeem dat het model beschrijft 'forceren' of 'aandrijven'. Over het algemeen zijn dit tijdreeksen van invoerwaarden die de atmosferische (bovenrand) en hydrologische (zij- en onderrand) 'setting' weergeven. Het gaat daarbij om neerslagsommen en -duur, verdampingsparameters, slootpeilen en stijghoogten van het diepere grondwater, alle op dagbasis.

Modeluitvoer van SWAP omvat een groot scala aan mogelijkheden, te kiezen door de gebruiker, zoals water-balansen en tijdreeksen van toestands- en snelheidsvariabelen.

2.2.1.3 Toepassing in dit onderzoek

SWAP is toegepast op twee manieren om de twee doelen van het modelonderzoek te behalen:

1 Analyse huidige situatie

De twee meetjaren 2011 en 2012 zijn geëvalueerd en geanalyseerd met SWAP door het model te kalibreren op de meetresultaten van deze twee jaren. De meetperiode in 2010 bij de Demmeriksekade is als aanloopperiode gezien. In deze kalibratie zijn voor 'onbekende parameters' waarvan de waarden niet meetbaar of onzeker zijn plausibele waarden verkregen door berekende tijdreeksen van grootheden te vergelijken met de beschikbare reeksen van meetgegevens. Omdat beide weerjaren sterk verschilden - een droog voorjaar in 2011 gevolgd door een natte zomer en najaar, en een nogal nat 2012 - is besloten alle meetresultaten te gebruiken voor modelkalibratie en niet een deel te reserveren voor modelvalidatie, waarbij het model wordt getoetst aan meetgegevens van een andere periode dan die van de kalibratie. Het perceel is gekozen dat de beste meetresultaten gaf en waarvan de twee velden met beide behandelingen - zónder en mét drains - het best vergelijkbaar waren.

1.1 Kalibratie SWAP

SWAP is per pilot gekalibreerd op beide proefvelden zodat beide behandelingen konden worden vergeleken. Hierbij is het model getoetst aan twee gemeten grootheden: de grondwaterstanden en de gemeten debieten in en uit de meetsloten (afgedamde deel waarop het veld afwaterde). De gekalibreerde modelparameters zijn: drainage- en infiltratieweerstanden voor de sloot en de drains, en de weerstand tegen verticale stroming (kwel/wegzijing). Verder zijn nog twee niet-precies-bekende grootheden gekalibreerd: de gemiddelde maaiveldhoogte en de grootte van het intrekgebied. Tenslotte zijn nog hiaten en onzekerheden in de gemeten neerslagegevens opgevuld met gegevens van neerslagstations in de nabijheid. Uiteraard is voor beide proefvelden per pilot dezelfde neerslagreeks gebruikt.

De weerstanden zijn eerst geschat uit vergelijkbare modelstudies met SWAP (Hendriks et al., 2008; Van Gerven et al., 2011; Hendriks en Van den Akker, 2012). Daarna zijn voor proefveld 'Referentie' de slootweerstand en de verticale weerstand (c-waarde) gekalibreerd. Met deze waarden vastgezet zijn de drainage- en infiltratieweerstand van de drains gekalibreerd voor veld 'Drains'. In deze kalibratieprocessen zijn de gemiddelde maaiveldhoogte en de neerslag meegenomen. Hierbij is in eerste instantie gekalibreerd op grondwaterstanden. Nadat dit bevredigende resultaten gaf, is gekeken of op grond van de debietmetingen de weerstanden bijstelling behoefden. Daarbij is in eerste instantie de grootte van het afwateringsoppervlak gekalibreerd. Als bijstelling nodig bleek, zijn in een iteratief proces de optimale waarden gezocht voor grondwaterstanden en debieten samen.

Het model is verder gevoed met gegevens uit modelberekeningen samengevat in Hendriks en Van den Akker (2012). Voor de hydraulische karakteristieken zijn de meetwaarden bepaald aan de ongestoorde monsters genomen. Referentie gewasverdamping is verkregen van KNMI-stations Cabouw en De Bilt, neerslag uit de metingen op de percelen aangevuld met waarden van stations Loenen aan de Vecht en Schiphol (Demmerikse-kade), en Cabouw en Gouda (Krimpenerwaard en Keulervaart). Het verloop in de tijd van de LAI (leaf area index) - noodzakelijk voor bepaling gewas- en bodemverdamping - is geschat uit de opgaven over gewasopbrengst voor de verschillende sneden. Voor het verloop van slootwaterpeil als drainagebasis en diepe potentiaal voor bepalen van de onderrand zijn de continue metingen genomen en geaggregeerd naar dagbasis.

Voor de kalibratie op grondwaterstanden zijn eerst de metingen in de buizen met continue registratie op 9 m uit de slootkant (6 m van midden perceel) van opbolling en uitzakking geschaald naar perceelsgemiddelde grondwaterstanden. Een perceelsgemiddelde grondwaterstand is nodig voor massabalansberekeningen van zowel water als stof. Voor het bepalen hiervan zijn de metingen in de raaien loodrecht op de sloot op verschillende tijdstippen gebruikt. De schalingswaarden zijn bepaald met een methodiek beschreven in het DOVE-veen-rapport (Hendriks et al., 2008). De schalingswaarden bedroegen 0,8-0,9 voor opbolling en uitzakking. Vergelijking van berekend met gemeten is gedaan door visuele vergelijking en berekening van de RMSE (root mean squared error) die een goede maat is voor continue reeksen en een fysische betekenis heeft in geval van grondwaterstanden (gemiddelde afwijking). Eerst is handmatig gekalibreerd, noodzakelijk voor verkrijgen feeling voor het systeem. Daarna is nog 'verfijnd afgesteld' in een brute force benadering waarin alle combinaties van parameterwaarden binnen gegeven ranges en met een zekere stapgrootte worden doorgerekend op basis van het verkleinen van de RMSE.

Voor de kalibratie op debieten zijn de gemeten debieten omgerekend naar uitwisselingsdebieten tussen bodem en oppervlaktewater door een dynamische balans op te stellen. In de beide afgedamde meetsloten van velden 'Referentie' en 'Drains' zijn de in- en uitgaande debieten in de afgedamde slootdelen ('bakken') continu gemeten. Dit is op meerdere manieren uitgevoerd: (1) registratie met loggers van met watermeters gemeten volumes aan water dat wordt in- of uitgepompt; (2) registratie met loggers van het tijdstip van aan- en uitslaan van elke pomp, zodat met de pompcapaciteit het volume water kan worden berekend; (3) tweewekelijks met de hand registreren van de stand van de watermeters en (4) tweewekelijks met de hand registreren van de cumulatieve pomp-uren. Het 'dubbel' meten van de debieten door watervolumes te meten en daarnaast ook nog de tijden waarop de pomp aanstaat, was noodzakelijk omdat de metingen vrij storingsgevoelige bleken te zijn. In een logboek zijn de betreffende opgetreden storings- en 'ongeplande interventies' opgetekend. Uiteindelijk is op basis van alle beschikbare gegevens voor elke periode tussen twee veldbezoeken per bak een in-

en een uitgaand debiet vastgesteld dat was bevestigd uit meerdere metingen. Voor deze perioden waren dan bekend: het ingaande en het uitgaande debiet en het peil in de bak. Deze golden dus respectievelijk als som van de debieten vanaf de voorgaande periode, en de toestand (peil) op dat moment. Verder was uit het logboek bekend waar, en soms hoe, dingen mis waren gegaan.

Voor elke periode was dus bekend: de in- en uitgepompte debieten en de verandering van de watervoorraad in de meetsloot ('bak'). Om verder een sluitende waterbalans op te stellen voor elke meetsloot, moesten de volgende termen worden meegenomen: neerslag direct op en verdamping direct uit het slootwater, wegzijging over de onderrand van de bakken (kwel kwam niet voor) en de uitwisseling met de veenbodem. De laatste term berekent SWAP per eenheid van landoppervlak. Aan die term moest SWAP worden getoetst.

Hiervoor zijn voor elke meetperiode waterbalansen opgesteld van de slootbakken, op basis van gemeten slootoppervlak en geschat en bijgesteld afwateringsoppervlak. Neerslag is verkregen uit de meteogegevens evenals E_{ow} waarmee met gedetailleerde (maar algemene) omrekeningsfactoren (CTV, 1988) per maand(deel) verdamping uit het oppervlaktewater is geschat. Verandering van de slootberging is bepaald uit het verschil tussen peil in de bak aan begin en eind van de periode. In- en uitgaand debiet waren bekend uit de metingen. De restterm uit de waterbalans is dan de netto uitwisseling met de veenbodem volgens (figuur 2.3):

$$Q_{nb} = Q_{uit} - Q_{in} + Q_w - (P - E_{ow} - \Delta h) A_{sl} \quad (1)$$

met:

Q_{nb} = netto bodemuitwisselingsdebiet (m^3) (positief is drainage, negatief infiltratie);

Q_{uit} = uitgepompte debiet (m^3);

Q_{in} = ingepompte debiet (m^3);

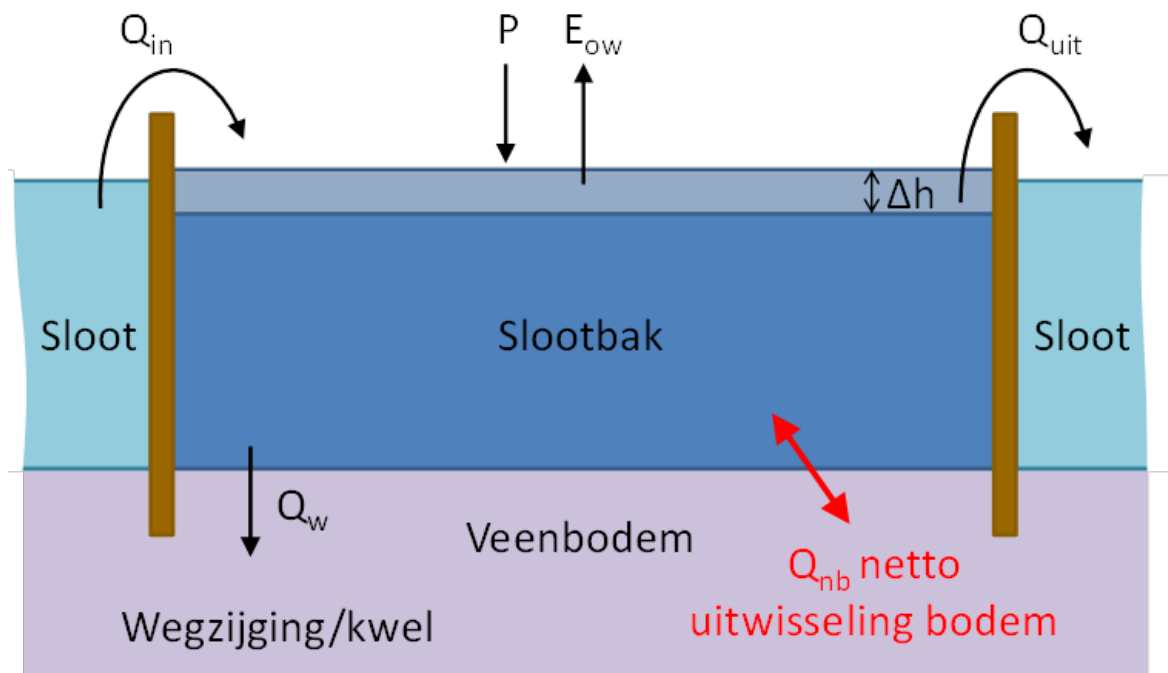
Q_w = wegzijgingsdebiet (m^3);

P = neerslagsom (m);

E_{ow} = verdampingsom uit oppervlaktewater (m);

Δh = peilverandering in slootbak (m);

A_{sl} = slootoppervlak aan bovenkant (m^2).



Figuur 2.3 Lengtedoorsnede van een slootbak als schematische weergave van het opstellen van de waterbalans van de slootbak volgens vergelijking 1.

Q_{nb} zou voor de betreffende periode overeen moeten komen met de berekeningen van SWAP, verrekend met het afwateringsoppervlak. Hierbij is het laatste bijgesteld indien nodig, binnen de range van 0,9-1,1 maal het berekende oppervlak op basis van veldmetingen. Deze vergelijking is visueel gedaan en met het vaststellen van de RMSE's voor het totaal aan perioden per jaar. Verder zijn de debieten nog cumulatief vergeleken. Voor de perioden dat grote afwijkingen tussen berekend en gemeten optreden, zijn deze geanalyseerd voor de verklaring. Hierbij is in eerste instantie gekeken naar de aantekeningen in het 'logboek'. Verder is de fysische waarschijnlijkheid van de afwijking - oftewel de fout in de waterbalans van de periode - beoordeeld. Geven de metingen bijvoorbeeld een situatie van infiltratie aan terwijl in de periode netto neerslag is gevallen, dan is er hoogstwaarschijnlijk een fout debiet gemeten. In duidelijke gevallen hiervan of om redenen genoemd in het logboek zijn de cumulatieve debieten gecorrigeerd (zie verder de figuren 4.3 en 4.4). Voor de berekening van de RMSE zijn deze perioden niet meegenomen, want dat ze gecorrigeerd moesten worden was duidelijk maar hun juiste waarde stond niet vast als 'meetwaarde' en ze konden daarom niet meedoen in een foutenfunctie.

1.2 Bepalen huidige situatie

Met de gekalibreerde modellen is de 'huidige situatie' vastgesteld in termen van gemiddelde maaiveldhoogten, grondwaterstanden, areaal afwateringseenheden en uitwisselingsdebieten tussen bodem en oppervlaktewater voor de twee meetjaren. Aanvullend zijn de effecten van drains op grondwaterstanden bij gelijk maaiveld voor beide behandelingen en de drainage- en infiltratiedebieten en pieken daarin berekend.

2 Scenario's van extreme weerjaren

Met het gekalibreerde SWAP-model zijn voor de effecten van onderwaterdrains op grondwaterstanden en drainage- en infiltratiedebieten verschillende extreme weersituaties doorgerekend. Van belang zijn in de eerste plaats de effecten onder extreem droge omstandigheden, want het hoofddoel van onderwaterdrains is het vernatten van de veenbodem door verhogen van de grondwaterstand via stimulatie van infiltratie vanuit de sloot de veenbodem in. Omdat het tijdens de meetperiode door de natte zomers van 2010 en 2011 niet mogelijk was om de drains goed op hun effectiviteit onder die omstandigheden te toetsen, zijn voorspellingen met het model gedaan.

Voor waterbeheerders is het ook van belang te kunnen inschatten hoeveel extra inlaatwater daarvoor nodig is. Waterbeheerders vragen zich ook af wat het effect is van onderwaterdrains op de afvoer van overtollig neerslagwater bij grote en intense neerslagbuien. Tenslotte is het voor berekeningen gericht op de effecten van drains op grondwaterstanden van belang dat er een realistisch verloop van het slootpeil als drainagebasis wordt meegenomen. Om deze redenen zijn de scenarioberekeningen uitgevoerd met de drainage-optie extended drainage in SWAP. Hierbij wordt een eenvoudig oppervlaktewaterbakje mee gemodelleerd (als figuur 2.3) waarvan de dimensies (relatief oppervlak ten opzichte van het landoppervlak, slootbreedte en -diepte, taludhelling, capaciteiten inlaat en gemaal, drempels rond het streefpeil) kunnen worden afgestemd op die van het werkelijke oppervlaktewater. Het model berekent per tijdstap een waterbalans van het bakje waaruit een peil en inlaat en uitslag van/naar een buitengebied worden gesimuleerd op basis van alle overige door SWAP-berekende waterbalanstermen (Hendriks en Van den Akker, 2012).

Voor de droge weerjaren zijn de jaren 1976 en 2003 genomen. Deze zijn voor het gehele jaar doorgerekend en uitvoer is gegenereerd op dagbasis. Voor de natte perioden zijn perioden met hevige neerslagbuien doorgerekend uit de buienreeks 'r2050-14.rks', een buienreeks die HH Schieland en de Krimpenerwaard gebruikt om hun oppervlaktewatersystemen te toetsen. Het is een reeks van bestaande buien voor de NBW-berekeningen (Nationaal Bestuursakkoord Water). R2050-14 is een buienreeks van de Bilt met daar bovenop 10% extra neerslag door klimaatsverandering en 14% kusteffect. Uitvoer is op uurbasis gegenereerd en geanalyseerd. Uit de 211 'gebeurtenissen' over de periode 1906-2002 zijn de 20 gebeurtenissen met de grootste buien op uurbasis geselecteerd. Hiervan zijn de eerste (1953) en de tiende (2002) gekozen om door te rekenen met neerslagintensiteiten van 48 respectievelijk 25 mm per uur.

Er zijn twee extreme buien uit de buienreeks ' r2050-14.rks' van HH Schieland en de Krimpenerwaard doorgerekend (zie subparagraaf 2.1.3):

1. de eerste uit de rangorde van grootste buien. Het is een bui van 48,5 mm op 13 juni in het 22ste uur die is gegeven in de oorspronkelijke reeks van 9-21 juni 1953. Om een aanloop van vijf dagen te hebben (verzoek van het HH) is hier de periode 8-12 juni voorgezet met neerslag van die periode van de Bilt. Omdat het KNMI vóór 1957 geen verdampingsgegevens kan leveren is voor alle dagen een lage gemiddelde verdamping van 2 mm per dag als ETref aangenomen. Hierdoor wordt de extremititeit van deze bui versterkt;
2. de tiende uit de rangorde. Een bui van 25,3 mm op 7 augustus 2002 in de periode ('gebeurtenis 211') 10 juni tot 14 augustus. In deze 66-daagse periode komen vijf buien voor die groter zijn dan 10 mm per uur. Het interessante aan deze bui is dat hij wordt voorafgegaan door vier dagen met neerslag. Voor de verdamping is de ETref (Makkink) van de Bilt genomen.

Naast de extreme buien is ook een geheel nat jaar doorgerekend. Hiervoor is het zeer natte jaar 1981 genomen. Dit jaar is in de database van 30 jaar (1971 t/m 2000) van de modelstudie naar effecten van onderwaterdrains op de waterkwaliteit (Hendriks en Van den Akker, 2012) het jaar met de grootste drainagefluxen en uitspoelingsvrachten. Doel was om de informatie over effecten van drains op extra uitslag en inlaat van water uit de berekeningen van extreme buien en droge jaren te evalueren voor een geheel jaar met natte omstandigheden.

3 Gebruikte invoer

De bij de modellering gebruikte invoer is voor een belangrijk deel gebaseerd op metingen. Deze betreffen in de eerste plaats de modelparameters die de bodemfysische eigenschappen van het bodemmateriaal van de horizonten van de veenprofielen van de proefvelden beschrijven. Dit zijn de hydraulische karakteristieken - waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken - en de textuurgegevens organischestof- en lutumgehalte. Deze eigenschappen zijn gemeten met standaardmethoden (zie Hendriks et al., 2008). Omdat ze specifiek zijn bepaald voor de modellering worden ze hier als invoerwaarden bij de methoden gegeven (tabel 2.1). Hydraulische karakteristieken zijn gegeven in de vorm van de VanGenuchtenparameters.

Tabel 2.1

Gemeten waarden van organischestof- en lutumgehalten, van metingen afgeleide waarden van VanGenuchten-parameters en van Hendriks en Van den Akker (2012) overgenomen anisotropiefactoren voor de onderscheiden bodemhorizonten zoals gebruikt in SWAP.

Bodem horizont			Gehalten (massa%) ¹		VanGenuchten-parameters						Anisotropiefactor
num-mer	omschrijving	diepte (cm)	organische stof	lutum	ORES (m ³ m ⁻³)	OSAT (m ³ m ⁻³)	ALFA (cm ⁻¹)	NPAR (-)	KSAT (cm d ⁻¹)	LEXP (-)	(-)
1	wortelzone	0-20	45,0	23,7	0,0	0,715	0,0249	1,128	2,9	-1,23	2
2	geoxid. veen	20-35	55,1	19,4	0,0	0,715	0,0249	1,128	3,7	-1,23	2
3	geoxid. veen	35-50	79,4	10,1	0,0	0,785	0,0104	1,132	5,0	-2,04	3
4	geoxid. veen	50-65	83,3	8,3	0,0	0,885	0,0063	1,321	3,7	-3,97	1
5	gereduc.	65-375	85,9	5,4	0,0	0,910	0,0141	1,303	3,9	-3,05	0,5

¹ van droge stof, ook voor lutum

ORES = residueel volumetrisch

NPAR = vormfactor n

OSAT = verzadigd volumetrisch

KSAT = verzadigde doorlatendheid

ALFA = vormfactor α

LEXP = exponent in doorlatendheidsfunctie

Voor overige eigenschappen van de veenprofielen die als modelparameters van SWAP zijn ingevoerd, is gebruik gemaakt van vergelijkbare modelleringen van veenprofielen (Hendriks et al., 2008; Hendriks en Van den Akker, 2012). Uitzondering vormen de weerstanden voor drainage, infiltratie en verticale stroming (c-waarde). Deze zijn gekalibreerd en als resultaat van de kalibratie behandeld in 6.1.1.1.

Voor de initiële waarden van de bodemvochttoestand is de optie 'hydrostatisch evenwicht met opgelegde grondwaterstand' gekozen met een initiële grondwaterstand van 45 cm onder maaiveld.

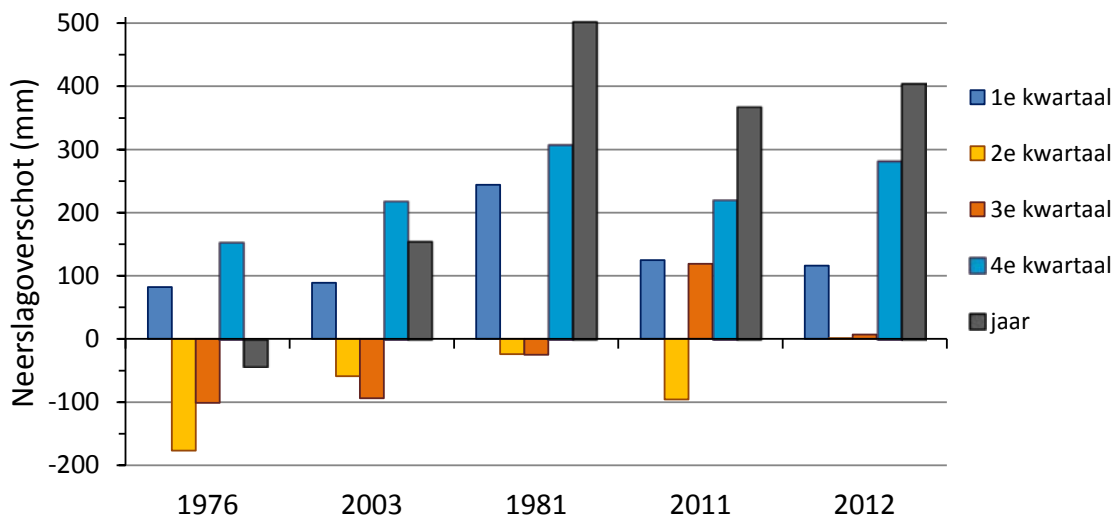
De randvoorwaarden zijn neerslag en verdamping aan de bovenrand, slootpeil aan de zijrand en de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket. De laatste twee zijn tweewekelijks met de hand en continu met loggers gemeten. Neerslag is in 2012 gemeten met een tipping bucket. Voor 2011 zijn waarden voor neerslagsommen en neerslagduursommen op dagbasis van weerstation Cabauw en neerslagstation Gouda verkregen. Voor 2012 zijn waarden van deze stations gebruikt om de gemeten neerslag aan te vullen en te corrigeren. Verdamping is gebruikt van Cabauw als referentiegewasverdamping (die voor Cabauw weinig afwijkt van verdamping berekend met Penman-Monteith; mondelinge mededeling Joost Heijkers). Voor de scenariojaren 1976, 1981 en 2003 is de meteorologische invoer van Cabauw genomen.

Tabel 2.2

Neerslag (P) en referentiegewasverdamping (ET) in de doorgerekende jaren, op kwartaal- en jaarbasis (mm).

Kwar- taal	1976 zeer droog			2003 droog			1981 zeer nat			2011 meetjaar			2012 meetjaar		
	P	ET	P - ET	P	ET	P - ET	P	ET	P - ET	P	ET	P - ET	P	ET	P - ET
1	123	41	82	152	63	89	291	47	244	179	55	125	171	55	116
2	66	243	-177	173	232	-59	178	202	-24	159	255	-96	209	208	1
3	113	214	-101	127	221	-94	191	216	-25	309	190	119	219	212	7
4	183	30	153	255	37	218	351	44	307	262	42	220	321	40	281
T	485	528	-43	707	552	155	1011	509	502	911	543	368	920	515	405

Om een indruk te geven van de meteorologische aard van de doorgerekende jaren zijn neerslag en verdamping op kwartaalbasis samengevat in tabel 2.2 en figuur 2.4. Hieruit wordt duidelijk dat meetjaar 2011 erg droog was in het tweede kwartaal - droger dan droog jaar 2003 - maar zeer nat in het tweede kwartaal - natter dan de natte jaren 1981 en 2012 - en dat meetjaar 2012 op jaarbasis erg nat was.



Figuur 2.4 Neerslagoverschot als neerslag minus referentiegewasverdamping in de doorgerekende jaren, op kwartaal- en jaarbasis.

Het verloop in de tijd van het neerslagoverschot in de meetjaren en van de neerslag van de extreme buien op uurbasis wordt gepresenteerd bij de resultaten in paragraaf 6.1.

2.2.2 ANIMO

2.2.2.1 Doel

Het doel van de berekeningen met nutriëntenmodel ANIMO was om de huidige situatie van het effect van onderwaterdrains op de nutriëntenuitspoeling zoals die blijkt uit de meetgegevens te extrapoleren naar een droog en een nat jaar. Daarvoor zijn het droge jaar 1976 en het natte jaar 1981 van de scenarioberekeningen van water genomen. Het was niet de bedoeling om de huidige situatie in detail te analyseren door een volledige kalibratie van het model. Daarvoor waren te weinig gegevens en projecttijd ter beschikking. Bovendien zijn de metingen van de proefvelden met drains gedaan aan een recent verstoorte situatie. Metingen zijn gedaan hooguit één (2011) tot twee (2012) jaar nadat de drains zijn ingebracht. In de hoogreactieve veenbodem betekent dit inbrengen een verstoring van de fysio-biochemische toestand rond de drains die enkele jaren kan duren. De ANIMO-uitkomsten van de scenarioberekeningen zijn daarom vooral richtinggevend.

2.2.2.2 Modelbeschrijving

ANIMO (Agricultural Nutrient Model) is een dynamisch proces-georiënteerd model dat is ontwikkeld om de relaties te kwantificeren tussen bemestingsniveau, bodemgebruik en de uitspoeling van de nutriënten stikstof en fosfor naar grond en oppervlaktewater. Het model is geschikt voor een groot bereik van bodemtypen onder zeer verschillende hydrologische condities. In dit onderzoek is ANIMO-versie 4.0 (Groenendijk et al., 2005; Renaud et al., 2005) gebruikt. De toepassing van ANIMO in veenweiden met onderwaterdrains is onder andere beschreven in Hendriks et al. (2008) en Hendriks en Van den Akker (2012) met daarin ook een korte beschrijving van het model. Hieronder volgt een zeer korte samenvatting van die beschrijving. Uitgebreide(re) beschrijvingen zijn gegeven in de genoemde literatuur.

Behoud van massa en transport

Hart van ANIMO is de 'Conservation and Transport Equation' (CTE-vergelijking), de wiskundige vergelijking die behoud van massa en verticaal transport van opgeloste stoffen beschrijft. ANIMO lost de CTE-vergelijking numeriek op met een semi-analytische benadering (Groenendijk et al., 2005). Deze benadering maakt grote tijdstappen mogelijk van 1-10 dagen (één dag in deze studie). Waterbalansgegevens nodig voor oplossen van de CTE-vergelijking worden op dagbasis per compartiment aangeleverd door SWAP. Verblijf-tijdspreiding en reistijdverdeling over de modelcompartimenten worden bepaald door de verdeling van de drainagefluxen over de modelcompartimenten die volgt uit het pseudo-2D-stromingsconcept. Randsdomeinen zijn dezelfde drie als die van SWAP.

Kringlopen van organische stof/koolstof, stikstof en fosfor

De organischestof/koolstof(C)kringloop is de hoofdkringloop in ANIMO; de kringlopen van stikstof (N) en fosfor (P) zijn gebaseerd op de C-kringloop. Dit maakt simuleren van uitspoeling van opgeloste (organische) C-, N- en P-verbindingen vanuit veenbodems mogelijk. Transformatie, accumulatie en transport zijn de belangrijke interne processen van de stofkringlopen.

Transformatie gaat om omzetting van organische verbindingen in anorganische, zoals afbraak van organische stof in koolzuurgas, ammonium en fosfaat (C-, N- en P-mineralisatie), en van ammonium in nitraat en van nitraat in stikstofgas. Accumulatie omvat ophoping van organische stof, binding van ammonium en fosfaat aan het bodemcomplex en toename van concentraties van opgeloste verbindingen in het bodemwater. Transport vindt plaats met de waterstroming in verticale richting in de bodemkolom en over de drie randen van de bodemkolom.

Vier organische substanties worden onderscheiden: 1) 'vers' organisch materiaal, 2) wortellexudaten, 3) opgeloste organische stof en 4) humus en levende biomassa. De laatste pool ontstaat door transformatie van alle organische substanties. Addities van organische materialen aan de bodem kunnen worden beschreven als 'verse organische materialen'. De eigenschappen van deze materialen worden bepaald door hun samenstelling uit 'organische klassen'. Deze klassen worden gekenmerkt door de ingevoerde waarden van de eigenschappen eerste-orde-omzettingssnelheidsconstante, assimilatie-efficiëntie en N- en P-gehalte.

De algemene benadering bij simulaties van veengronden met ANIMO is de organische stof van veen te definiëren als een 'vers' materiaal dat uit twee organische klassen bestaat: een relatief snel afbreekbare N-rijke klasse en een langzaam afbreekbare N-arme klasse (Hendriks, 1993).

Omgevingsfactoren

In ANIMO worden (bio)chemische omzettingsprocessen in de bodem beïnvloed door de omgevingsfactoren aeratie, vochtgehalte, temperatuur en zuurgraad. Het effect van elke factor wordt beschreven met een responsfunctie. Actuele snelheidsconstanten worden per bodemcompartiment verkregen door vermenigvuldiging van de potentiële constanten met alle responsfuncties. De responsfunctie voor aeratie wordt berekend als: 1 minus de fractie partiële anaerobiosis. De laatste wordt bepaald door een module die verticale en radiale diffusie van zuurstof berekent op basis van vochtgehalten en zuurstofvraag. Hierbij wordt de aanwezigheid van nitraat als alternatieve elektronenacceptor meegenomen, zodat bij gebrek aan zuurstof organische stof ook door nitraatreductie kan worden afgebroken.

Modelinvoer en -uitvoer

De invoergegevens die ANIMO nodig heeft voor uitvoeren van simulaties kunnen worden onderverdeeld in dezelfde drie hoofdgroepen als die van SWAP:

1. initiële waarden van alle toestandsvariabelen: dit zijn stofconcentraties, hoeveelheden organische stof, aan het bodemcomplex gebonden stoffen en dergelijke per bodemcompartiment. Door de vaak lange reactietijd (jaren of decennia) van het systeem, zijn deze waarden zeer sterk bepalend;
2. waarden van procesparameters: invoergegevens die (meestal) constant zijn gedurende de simulaties en die de processen van het model sturen. Belangrijkste zijn de eigenschappen van de verschillende organische-stofklassen en -pools, bodemchemische karakteristieken zoals zuurgraad, volumieke massa en aluminium- en ijzergehalte, en parameters die de responsfuncties sturen;
3. randvoorwaarden (forcing variables): tijdreeksen van atmosferische depositie van N en P (op jaarbasis), en
4. van giften van dierlijke en kunstmest (op dagbasis) (bovenrand), en concentraties van DOM en opgeloste N- en P-verbindingen in oppervlaktewater en kwelwater (zij- resp. onderrand);
5. hydrologische data en bodemtemperaturen van een model als SWAP.

Modeluitvoer van ANIMO omvat een groot scala aan mogelijkheden, te kiezen door de gebruiker, zoals stof-balansen en tijdreeksen van toestands- en snelheidsvariabelen, zoals nutriëntenconcentraties en uitspoelingsvrachten.

Voor het berekenen van de effecten van onderwaterdrains op de uit- en inspoeling van sulfaat uit en in de veenbodem is ANIMO in de modelstudie naar de effecten van onderwaterdrains op de waterkwaliteit (Hendriks en Van den Akker, 2012) uitgebreid met de functionaliteit om sulfaat-transport en -uitspoeling, sulfaatvorming door pyrietoxidatie en sulfaatreductie onder invloed van afbraak van organische stof te simuleren. Reden voor deze uitbreiding was het grote belang van sulfaat in biochemische processen in de veenbodem, de waterbodem en het slootwater.

2.2.2.3 Toepassing in dit onderzoek

Als basis is de ANIMO-parameterisatie van de best overeenkomende veenweide-eenheid uit de modelstudie naar effecten van onderwaterdrains op de nutriëntenuitspoeling (Hendriks en Van den Akker, 2012) genomen: eutroof veen, vijf meter dik, zonder kleidek, met lage nutriëntenconcentraties in het infiltrerende water en met een neutrale onderrand. Voor aanpassing hiervan aan de locatiespecifieke omstandigheden is in de eerste plaats de onderliggende hydrologie zoals berekend met SWAP vervangen door de eigen hydrologie van de pilots. Daarnaast zijn die invoerwaarden vervangen waarvoor locatiespecifieke gegevens van de pilot beschikbaar waren uit de metingen uitgevoerd in dit onderzoek. De parameters waarvoor dat geldt met hun waarden zijn gegeven in tabel 2.3.

Tabel 2.3

Waarden van fysische en chemische bodemkenmerken van de onderscheiden horizonten zoals gebruikt voor het beschrijven van de veenbodemkolommen in ANIMO. Alle waarden zijn resultaten van metingen.

Horizont num- mer	diepte (cm)	Volumie- ke massa (kg m ⁻³)	Afbraaksnelheid		Organische stof		Oxalaatextraheerbaar		Pyriet (%) ²	pH- H ₂ O (-)
			constante ¹ (d ⁻¹)	Q ₁₀ (-)	N (kg kg ⁻¹)	P (kg kg ⁻¹)	P (mmol kg ⁻¹)	Al + Fe (mmol kg ⁻¹)		
1	0-20	492	0,033	3,1	0,039	0,00152	42,8	484	1,7	5,7
2	20-35	437	0,021	3,1	0,036	0,00105	26,0	419	2,2	5,7
3	35-50	291	0,022	3,0	0,030	0,00054	4,6	271	3,3	5,9
4	50-65	174	0,019	3,0	0,024	0,00024	0,7	116	5,3	5,5
5	65-375	126	0,014	3,0	0,024	0,00019	0,5	73	5,3	5,1

¹bij 10 °C; ² massa-% van de droge stof

Vervolgens is ANIMO basaal gekalibreerd op de uit metingen afgeleide gemiddelde uitspoelingsconcentraties van stikstof, fosfor en sulfaat (tabel 6.5, hoofdstuk 6). Hierbij zijn vooral de initiële N-, P- en sulfaatconcentraties in het permanent verzadigde veen onder de GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand) bijgesteld. Deze waren in eerste instantie afgeleid van gemeten concentraties in peilbuizen maar deze metingen waren niet erg zeker vanwege de exacte diepte van de herkomst van het bemonsterde water.

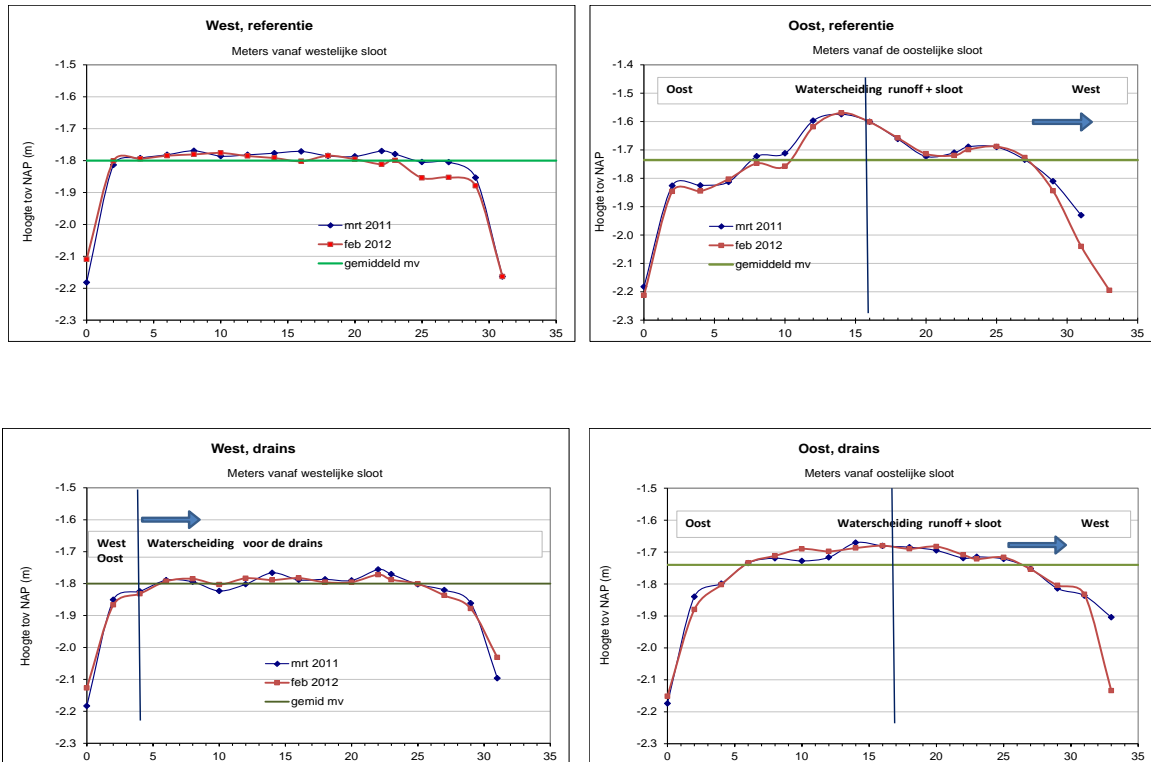
Met het gekalibreerde model zijn scenarioberekeningen gedaan waarbij het zeer droge jaar 1976 en het natte jaar 1981 zijn doorgerekend. Het laatste jaar is het jaar uit de database van 30 jaar (1971 t/m 2000) van Hendriks en Van den Akker (2012) met de grootste drainagefluxen en uitspoelingsvrachten. Bij het vaststellen van de effecten van onderwaterdrains waren de twee nutriëntentema's die Hendriks en Van den Akker (2012) onderscheiden voor de analyse van de effecten van onderwaterdrains op de belasting van het oppervlaktewater uitgangspunt: afwenteling op buitengebieden gedurende het gehele jaar en zomerwaterkwaliteit in de vorm van concentraties in het oppervlaktewater om te toetsen aan normen van de KRW (Kaderrichtlijn Water). Omdat in dit onderzoek en in het model geen processen in het oppervlaktewater en de waterbodem worden meegenomen, zijn de resultaten van de scenarioberekeningen zuiver de belasting vanuit de veenbodem van het slootwater met nutriënten.

Deze belasting is op dezelfde manier berekend als door Hendriks en Van den Akker (2012). Voor beide thema's gaat het om de netto belasting: de nutriëntenvracht vanuit de veenbodem naar de sloot verminderd met de vracht vanuit de sloot de veenbodem in. Voor de effecten van drains is deze correctie cruciaal, omdat daarbij (meer) pendelen van water tussen veenbodem en slootwater optreedt. Zonder correctie van de hoeveelheid nutriënten in infiltratie leidt dit tot dubbeltelling van uitspoelingsvrachten. Infiltratie vindt nagenoeg uitsluitend plaats in het zomerhalfjaar. Tot de zomerbelasting vanuit de veenbodem wordt ook de nutriëntenvoorraad in het slootwater gerekend die aan het einde van het uitspoelingsseizoen (winterhalfjaar) is opgebouwd door uitspoeling vanuit de veenbodem. Met deze voorraad start het zomerhalfjaar. Deze voorraad kan substantieel zijn (zie: Hendriks en Van Gerven, 2011; Hendriks en Van den Akker, 2012). Resumerend bestaat de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater vanuit de veenbodem in het zomerhalfjaar uit de actuele netto uitspoeling tijdens het zomerhalfjaar en de bergingsvoorraad aan het begin van het zomerhalfjaar. Deze laatste wordt berekend uit de verhouding tussen de hoeveelheid drainagewater en neerslag in het winterhalfjaar, de gemiddelde uitspoelingsconcentraties in het winterhalfjaar en de hoeveelheid oppervlaktewater per ha aan het einde van het winterhalfjaar (zie verder Hendriks en Van den Akker, 2012). In tabel 6.11 is de voorraad in de berging expliciet aangegeven. Als de winternutriëntenuitspoelingsconcentraties lager zijn bij gebruik van drains, dan betekent dit (meestal) dat de berging aan het begin van het zomerhalfjaar kleiner is.

3 Meetresultaten en discussie

3.1 Maaiveldhoogten pilot Krimpenerwaard

In de figuren 3.1 en 3.2 zijn de maaiveldhoogten gemeten in het voorjaar van 2011 (11 maart) en 2012 (21 februari) gepresenteerd.



Figuur 3.1 Dwarsdoorsneden door de aan de twee aan de sloot liggende proefpercelen West (hoofdonderzoekspersceel) en Oost, ter hoogte van slootdeel 'referentie' en slootdeel 'drains'. Gemiddelde van drie dwarsraaien.

De hoogtemetingen aan het maaiveld worden vroeg in het voorjaar gedaan om te voorkomen dat door gewasverdamping het maaiveld door krimp door uitdroging al meetbaar is gedaald. In tabel 3.1 zijn de gemiddelde hoogten gegeven van het maaiveld in voorjaar 2011 en 2012, waarbij bij het bepalen van de gemiddelde maaiveldhoogte greppels (hier niet aanwezig) en randen van sloten zijn weggelaten. De hoogtemetingen in 2011 en 2012 zijn de eerste metingen om de maaiveldhoogte en de maaivelddaling in de tijd te volgen. Hoewel uit de hoogtemetingen blijkt dat het maaiveld bij het perceeldeel met drains minder zakt dan bij het referentiedeel, kan dit toeval zijn en kan nog niets worden gezegd over de maaivelddaling en of bij deze proefpercelen onderwaterdrains de maaivelddaling beperken.

De ongelijke maaiveldligging van de vier perceel delen die afwateren op de twee slootdelen maken het moeilijk om een effectief gemiddelde maaiveldhoogte vast te stellen op basis van hoogtemetingen. Ook bemoeilijkt dit samen met andere onzekerheden betreffende dimensies en hydrologische heterogeniteit om de exacte waterscheidingen vast te stellen en daarmee de effectieve grootte van het afwateringsgebied van elk slootdeel. Voor de gemiddelde effectieve maaiveldhoogte worden alleen de delen van de percelen beschouwd die op de meetsloot afwateren. Beide grootheden, effectieve

gemiddelde maaiveldhoogte en afwateringsgebied, zijn na inschatting op basis van dimensies bijgesteld tijdens de kalibratie van hydrologisch model SWAP.

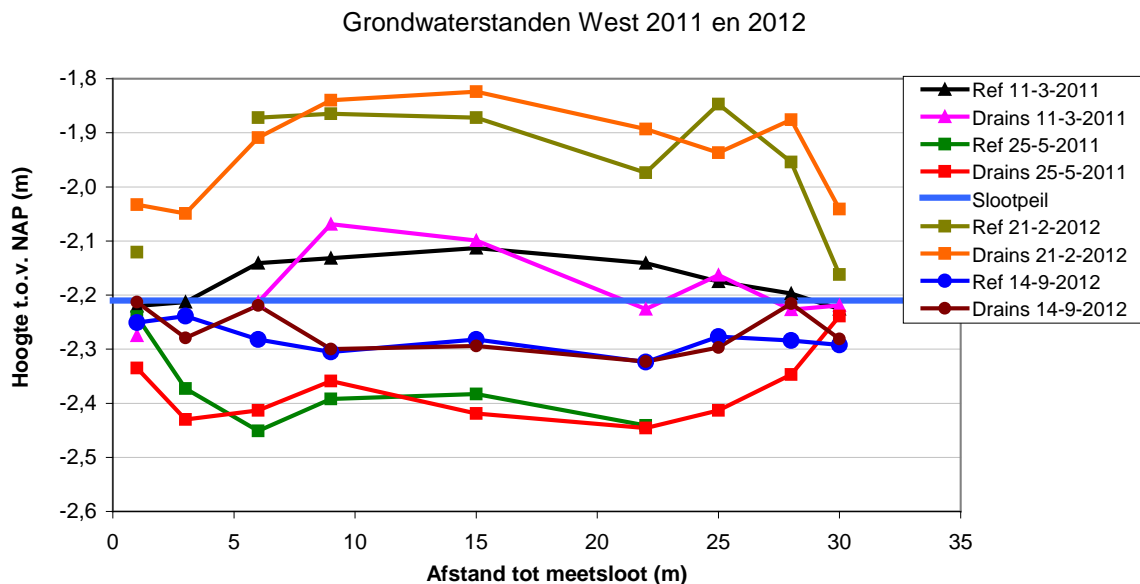
Tabel 3.1

Gemiddelde maaiveldhoogteproefvelden zoals gebruikt in de modellering met SWAP.

Proefveld	Gemiddelde maaiveldhoogte [m NAP]		Effectief Gemiddelde maaiveldhoogte [m NAP] Zoals gebruikt in SWAP
	2011	2012	
Referentie: West (Achter)	-1,791	-1,806	-1,800
Drains: West (Voor)	-1,802	-1,807	-1,800
Referentie: Oost (Achter)	-1,712	-1,722	-1,735
Drains: Oost (Voor)	-1,733	-1,731	-1,740

3.2 Grondwaterstanden pilot Krimpenerwaard

In figuur 3.2 zijn de grondwaterstanden in dwarsraaien over de proefvelden met en zonder drains van perceel West gepresenteerd. De verschillen tussen de grondwaterstanden bij de referentie zonder drains en het deel met drains zijn klein en op 21 februari 2012 zijn de grondwaterstanden bij de referentie zelfs iets lager dan bij de drains. De droogste periode met de laagste grondwaterstanden is 25 mei 2011. De grondwaterstanden komen dan iets meer dan 20 cm onder het slootpeil uit. Ook de dwarsraaien in het Oostelijk proefperceel laten een diffuus beeld zien (niet gepresenteerd). In het hoofdstuk 'Modelresultaten' wordt uitgebreider op de grondwaterstanden ingegaan, waarbij grondwaterstanden gemeten met een Diver worden vergeleken met gemodelleerde grondwaterstanden. Uit deze metingen blijken wel grotere verschillen tussen de referentiesituatie en de situatie met drains, waarbij de drains in natte perioden lagere grondwaterstanden en in droge perioden juist hogere grondwaterstanden.



Figuur 3.2 Grondwaterstanden in raaien dwars op perceel West in 2011 en 2012.

3.3 Hoeveelheden in- en uitgepompt water pilot Krimpenerwaard

In het hoofdstuk Modelresultaten wordt ingegaan op de gemeten debieten, waarbij deze worden vergeleken met de berekende waarden.

3.4 Waterkwaliteit pilot Krimpenerwaard

In figuur 3.3 zijn de resultaten van de waterkwaliteitsmetingen betreffende de nutriënten stikstof (N) en fosfor (P) en het sulfaatgehalte gepresenteerd. Om een duidelijk onderscheid te maken tussen de meetsloten en de aanvoersloten, worden de meetsloten 'bakken' genoemd.

Sulfaat

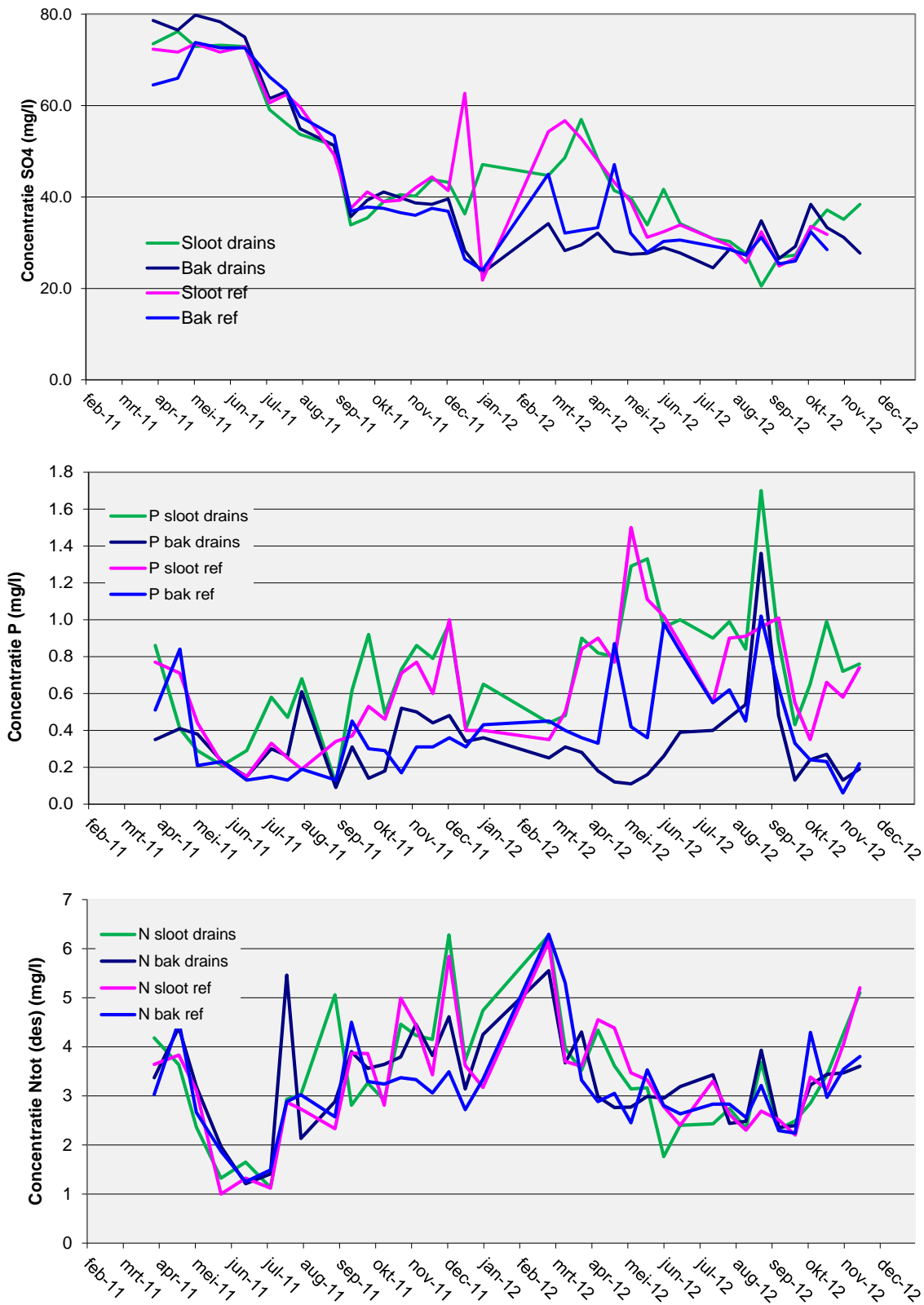
Het verloop van de sulfaatconcentraties in de loop van 2011 en 2012 is aangegeven in de bovenste figuur van figuur 3.3. Sulfaat is gemakkelijk oplosbaar en is alleen in de niet-gedestrueerde monsters bepaald. Sulfiden zijn zeer slecht oplosbaar en komen in de gefiltreerde monsters niet voor. In de waterkwaliteitsmonsters is het zwavelgehalte (S) bepaald. Het gehalte aan zwavel (S) is een directe maat voor het sulfaatgehalte in het water. Door het gehalte aan S met 3 te vermenigvuldigen wordt het gehalte aan sulfaat gevonden. In begin 2011 ligt de sulfaatconcentratie rond de 70 tot bijna 80 mg/l. Dit ligt duidelijk boven een sulfaatgehalte van 50 mg/l, dat als bovengrens geldt voor goed ecologisch functioneren van een sloot. In het algemeen wordt gesteld dat het sulfaatgehalte onder de 100 mg/l moet blijven. Deze grens wordt in het voorjaar van 2011 dus niet overschreden. In de loop van 2011 neemt de sulfaatconcentratie met ongeveer de helft af en neemt in de winter van 2011/2012 weer wat toe, waarbij in de periode maart-april de hoogste waarden van 2012 worden bereikt. Deze waarden blijven echter duidelijk onder de waarden van begin 2011. Opvallend is dat in de periode maart-april 2012 de aanvoersloten de hoogste sulfaatconcentraties hebben (tot bijna 60 mg/l) en daarna de bak van de referentie (iets meer dan 40 mg/l). De bak van de drains heeft dan de laagste sulfaatconcentraties, namelijk rond de 30 mg/l. In de loop van 2012 zakken de sulfaatconcentraties in zowel de sloten als de bakken naar ongeveer 30 mg/l. Vergeleken met de pilots in de Keulervaart en de Demmeriksekade blijken de sulfaatconcentraties bij de pilot Keulervaart maximaal tot drie keer hoger te zijn, namelijk 180 tot 210 mg/l. De pilot Demmeriksekade laat hetzelfde beeld zien als de pilot Krimpenerwaard, maar daar zijn de grootste sulfaatconcentraties wat lager maar zakken deze later in het jaar naar wat hogere waarden dan bij de pilot Krimpenerwaard.

Fosfor

In de middelste figuur van figuur 3.3 is het verloop van het fosforgehalte (P) gegeven. Bij een P-gehalte van 0,22-0,44 mg/l wordt de waterkwaliteit als 'matig' beoordeeld. Deze waarden hebben betrekking op fosforgehalten na destructie. In figuur 3.4 links zijn alle Pdes en P-concentraties van de waterkwaliteitsmonsters van de pilot Krimpenerwaard tegen elkaar uitgezet. Het blijkt dat er een sterke relatie bestaat tussen het totale fosforgehalte P in gefiltreerde monsters en het fosforgehalte Pdes van ongefilterde monsters na destructie. Een lineaire regressie levert de volgende vergelijking op:

$$P_{des} = 1.076 P + 0,052 \quad (R^2 = 0,9) \quad (1)$$

Bij de fosforconcentraties valt het op dat de waarden in de toevoersloten bijna altijd hoger zijn dan in de bakken. Uit een vergelijking tussen de bakken blijkt dat vooral 2012 vanaf januari tot half augustus de P-concentratie bij de drains duidelijk lager is dan in de bak van de referentie. Verder valt een sterke piek in begin september 2012 op. De Pdes-concentraties zijn in de bakken veelal nog redelijk en de waterkwaliteit kan dan als 'matig' worden beschouwd. Bij de referentiebak zijn er echter verschillende pieken die ver boven 'matig' uitstijgen. De kwaliteit van het water in de aanvoersloten is vaak slecht. De P-concentraties liggen bij de pilot Krimpenerwaard in dezelfde range als bij de pilot Keulevaart, maar zijn veel hoger dan bij de pilot Demmeriksekade.



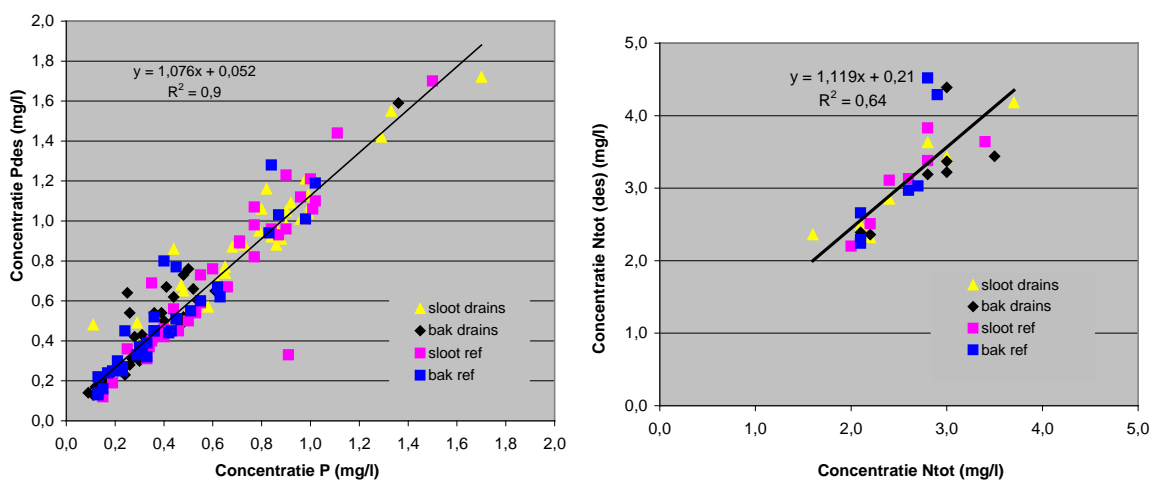
Figuur 3.3 Gemeten concentraties van SO₄, P en N in de twee sloopbakken (meetsloot) en in de aangrenzende sloten.

Stikstof

In de onderste figuur van figuur 3.3. is het verloop van het stikstofgehalte (N) gegeven. Bij een N-gehalte van 2,4-4,8 mg/l wordt de waterkwaliteit als 'matig' beoordeeld. Deze waarden hebben betrekking op stikstofgehalten na destructie. In figuur 3.4 rechts zijn alle Ndes- en N-concentraties van de waterkwaliteitsmonsters van de pilot Krimpenerwaard tegen elkaar uitgezet. Het blijkt dat er een redelijk sterke relatie bestaat tussen het totale stikstofgehalte Ntot in gefiltreerde monsters en het stikstofgehalte Ndes van ongefilterde monsters na destructie. Een lineaire regressie levert de volgende vergelijking op:

$$N_{des} = 1.119 N_{tot} + 0,21 \quad (R^2 = 0,64) \quad (2)$$

In het winterhalfjaar zijn de stikstofconcentraties zo hoog dat de waterkwaliteit 'matig' is. In de mei, juni en juli 2011 is de waterkwaliteit 'goed'. Daarna neemt de N-concentratie toe. De eerste drie maanden van 2012 zijn de N concentraties op zijn hoogst. In de zomerperiode van 2012 zijn de N concentraties lager maar nog steeds meer dan 2,4 mg/l. Grote verschillen tussen de bakken onderling en met de aanvoersloten zijn er niet.



Figuur 3.4 In de figuur links zijn de meetresultaten aan gefiltreerde (P) en ongefilterde monsters (Pdes) met elkaar vergeleken. In de figuur rechts hetzelfde, maar dan voor Ntot en Ntot (des).

3.5 Grasopbrengsten in 2011 en 2012 en bedrijfskundige verschillen tussen de percelen met en zonder drains pilot Krimpenerwaard

De grasopbrengsten zijn vooral bedoeld als invoer voor de modevaluatie en niet om het effect van toepassing van onderwaterdrains op de grasopbrengst vast te stellen. Door Hoving et al (2008, 2011) zijn daarvoor uitgebreide opbrengstproeven uitgevoerd over twee tot vier jaar met stikstoftrappen en een statistisch verantwoorde aantallen proefplotjes. Oorspronkelijk was het de bedoeling om de grasopbrengsten te schatten. In 2010 bleek de ervaring bij de Demmeriksekade dat schattingen te onnauwkeurig zijn. Daarom is besloten om de opbrengsten te meten door het proefbedrijf Zegveld stroken te laten maaien en deze te wegen en te laten analyseren. De gewasanalyse gebeurt achteraf op de gedurende het groeiseizoen verzamelde en gedroogde grasmonsters.

Tabel 3.2

Grasopbrengsten Krimpenerwaard (drogestof in kg/ha).

Perc	Dat_opbr	Snede	Object	DsOpbr	Fosfor	N-totaal	KgP/ha	KgN/ha	Opbr_Cum
de Vries	17-apr-11	1	Contr	2467.9	4.6	33.9	11.4	83.7	2467.9
de Vries	08-mei-11	2	Contr	773.9	3.2	26.8	2.5	20.7	3241.8
de Vries	14-jun-11	3	Contr	1935.4	3.2	23.3	6.2	45.1	5177.2
de Vries	11-jul-11	4	Contr	2649.0	3.7	24.6	9.8	65.2	7826.3
de Vries	30-jul-11	5	Contr	619.1	4.5	32.9	2.8	20.4	8445.3
de Vries	01-sep-11	6	Contr	2472.0	5.0	28.0	12.4	69.2	10917.4
de Vries	29-sep-11	7	Contr	1030.9	4.2	27.6	4.3	28.5	11948.3
	2011	totaal	Contr	11948			49.3	332.7	
Perc	Dat_opbr	Snede	Object	DsOpbr	Fosfor	N-totaal	KgP/ha	KgN/ha	Opbr_Cum
de Vries	17-apr-11	1	Drain	2332.6	4.4	32.4	10.3	75.6	2332.6
de Vries	08-mei-11	2	Drain	777.7	3.2	27.1	2.5	21.1	3110.4
de Vries	14-jun-11	3	Drain	2273.9	3.3	23.6	7.5	53.7	5384.2
de Vries	11-jul-11	4	Drain	2762.9	3.8	27.1	10.5	74.9	8147.1
de Vries	30-jul-11	5	Drain	623.4	4.3	32.4	2.7	20.2	8770.5
de Vries	01-sep-11	6	Drain	2440.2	4.8	26.8	11.7	65.4	11210.7
de Vries	29-sep-11	7	Drain	976.7	4.0	26.8	3.9	26.2	12187.4
	2011	totaal	Drain	12187			49.1	337.0	
Perc	Dat_opbr	Snede	Object	DsOpbr	Fosfor	N-totaal	KgP/ha	KgN/ha	Opbr_Cum
de Vries	14-mei-12	1	Contr	4539.7	4.4	26.1	20.0	118.5	4539.7
de Vries	21-jun-12	2	Contr	2557.0	3.7	22.7	9.5	58.0	7096.7
de Vries	01-aug-12	3	Contr	1708.8	3.4	20.6	5.8	35.2	8805.5
de Vries	04-sep-12	4	Contr	1174.7	4.4	33.6	5.2	39.5	9980.2
de Vries	15-okt-12	5	Contr	759.3	3.9	31.1	3.0	23.6	10739.4
	2012	totaal	Contr	10739			43.4	274.8	
Perc	Dat_opbr	Snede	Object	DsOpbr	Fosfor	N-totaal	KgP/ha	KgN/ha	Opbr_Cum
de Vries	14-mei-12	1	Drain	4252.1	4.0	24.0	17.0	102.0	4252.1
de Vries	21-jun-12	2	Drain	2074.8	3.3	20.0	6.8	41.5	6326.9
de Vries	01-aug-12	3	Drain	1365.9	3.4	20.9	4.6	28.5	7692.8
de Vries	04-sep-12	4	Drain	1220.5	4.3	29.2	5.2	35.6	8913.3
de Vries	15-okt-12	5	Drain	894.4	3.7	30.2	3.3	27.0	9807.7
	2012	totaal	Drain	9808			37.1	234.7	

Het blijkt dat in 2011 de grasopbrengst per hectare uitgedrukt in drogestof bij de drains iets hoger was (ca. 240 kg/ha) dan bij de referentie. In 2012 was de situatie omgekeerd en was de grasopbrengst uitgedrukt in drogestof bij de drains ca. 930 kg/ha lager dan bij de referentie. Bij de pilot in de Keulervaart, bij Van Diemen, was de situatie omgekeerd: in 2011 was de grasopbrengst in drogestof bij de drains ca. 410 kg/ha lager en in 2012 juist 1205 kg/ha hoger dan bij de referentie. Bij de pilot in de Demmeriksekade, bij Van Eck, was de drogestofopbrengst bij de drains in zowel 2011 als 2012 ca. 530 kg/ha lager dan bij de referentie. Bij een vergelijking tussen de resultaten in 2011 en 2012 moet worden bedacht dat 2011 een uitzonderlijk droog en warm voorjaar had, dat in juni omsloeg naar een zeer natte zomer. Eind 2011 was juist weer vrij droog, zodat tot begin december jongvee kon grazen (deze extra grasopbrengst is niet in tabel 3.2. vermeld, wel ingeschat en meegenomen in de modevaluatie). 2012 kenmerkte zich vooral als nat jaar, zonder echt droge en warme perioden. Beide jaren verschilden daarmee nogal van een gemiddeld jaar, zodat het effect van onderwaterdrains op de grasopbrengst moeilijk is te duiden.

De grasopbrengsten geven wel aan dat toepassing van onderwaterdrains niet zonder meer resulteert in een verhoging van de grasopbrengsten. Dit kan er op duiden dat bij de perceel delen met onderwaterdrains minder veen mineraliseert, zodat er minder stikstof beschikbaar is voor grasgroei.

Voor het behoud van het veen is dit goed nieuws, maar heeft dus als nadeel dat er minder stikstof mineraliseert en daardoor de grasopbrengst lager is. Hoving et al. (2008 en 2011) heeft dit ook geconstateerd, maar vond geen lagere waarden voor de grasopbrengsten. Dit werd toegeschreven aan een betere mestbenutting door de minder natte grond op de percelen met drains. Bij de beschouwing van de opbrengstresultaten moet worden bedacht dat de uitgemaakte stroken grasland netto opbrengsten geven. Dit wil zeggen dat al het gras wordt gemaaid en verzameld, terwijl bij beweiden veel gras verloren gaat door vertrapping. Bij een nat perceel met een lage draagkracht zijn dit grote hoeveelheden die verloren gaan. Daarnaast heeft een droger perceel meer beweidbare dagen en kan er ook eerder gemaaid worden en tot later in het jaar. Uiteindelijk kan dit toch meer opleveren dan het negatieve verschil tussen met en zonder drains.

Aan de heer De Vries is ook naar zijn ervaringen met onderwaterdrains gevraagd. De draagkracht in natte perioden blijkt bij de drains beter te zijn. Na forse regenbuien zijn de perceeldelen met drains droger. De drains lijken in droge perioden niet echt de verdrogings schade te beperken. De heer de Vries zou wel meer percelen willen draineren. Als belangrijkste voordeel ziet hij drogere percelen, hoewel de voordelen daarvan zich nog niet hebben geuit in hogere grasopbrengsten. In 2011 was door het droge voorjaar de draagkracht in die periode geen groot probleem. Als verder voordeel wordt genoemd het beperken van de veenafbraak en de maaivelddaling. De droogte leidde niet direct tot droogteschade. Daarvoor was de droogteperiode misschien niet lang genoeg en verder was de voorraad bodemwater aan het begin van de droogteperiode op peil. Volgens de heer De Vries zouden de kosten van aanleg moeten worden verdeeld tussen ondernemer en overheid. Bij aanleg van onderwaterdrains zouden natte percelen met een drooglegging van minder dan 50 cm als eerste in aanmerking komen. Deze zouden zoveel mogelijk in de lengte van het perceel moeten worden gelegd: minder eindbuizen, geen verstoring van het profiel in breedte van het perceel en een lagere investering door goedkopere aanleg.

3.6 Draagkracht en geschiktheid voor weidevogels

Het meten van de draagkracht en de geschiktheid voor weidevogels was op zich niet een onderdeel van het project. Door een stagiair van PPP-Agro zijn echter op de proefpercelen van zowel de pilot in de Krimpenerwaard als ook de pilots Keulervaart en Demmeriksekade draagkrachtmetingen verricht. De stagiair heeft ook draagkrachtmetingen verricht op een aantal percelen van veehouders die in het praktijknetwerk onderwaterdrains actief zijn en OWD hebben aangelegd op een paar percelen. Daarnaast is voor de provincie Zuid-Holland door Landschapsbeheer Zuid-Holland in 2011 en 2012 bij de pilot Krimpenerwaard en de pilot Keulervaart onderzoek verricht naar het effect van onderwaterdrains op de geschiktheid voor weidevogels (Van der Zijden en Kruk, 2011, Kruk en Van der Zijden, 2012). Bij dit onderzoek zijn ook draagkrachtmetingen verricht. Bij het weidevogelonderzoek lag een combinatie met een draagkrachtonderzoek voor de hand, omdat in beide onderzoeken indringweerstand worden gemeten met een penetrometer. Alleen wordt bij het weidevogelonderzoek een conus met een tophoek van 60° en een basisoppervlak van 1 cm^2 gebruikt en bij het draagkrachtonderzoek een basisoppervlak van 5 cm^2 . De indringingsweerstand van de kleine conus geeft een goede maat of de grond te hard is voor een weidevogelsnavel. De indringweerstand gemeten met een grote conus is een maat voor de draagkracht van de grond voor beweiden of berijden. Als door toepassing van onderwaterdrains machines of koeien eerder op het land kunnen, kunnen weidevogels en hun kuikens worden verstoord of slachtoffer worden.

Voor de draagkracht komen Van der Zijden en Kruk (2011) en Kruk en Van der Zijden (2012) tot de conclusie dat in beide jaren slechts relatief kleine verschillen in indringingsweerstand van percelen met en zonder onderwaterdrainage konden worden geconstateerd. Het beeld daarbij is niet eenduidig, er lijkt geen sprake van een systematisch verschil tussen de percelen met en zonder onderwaterdrains.

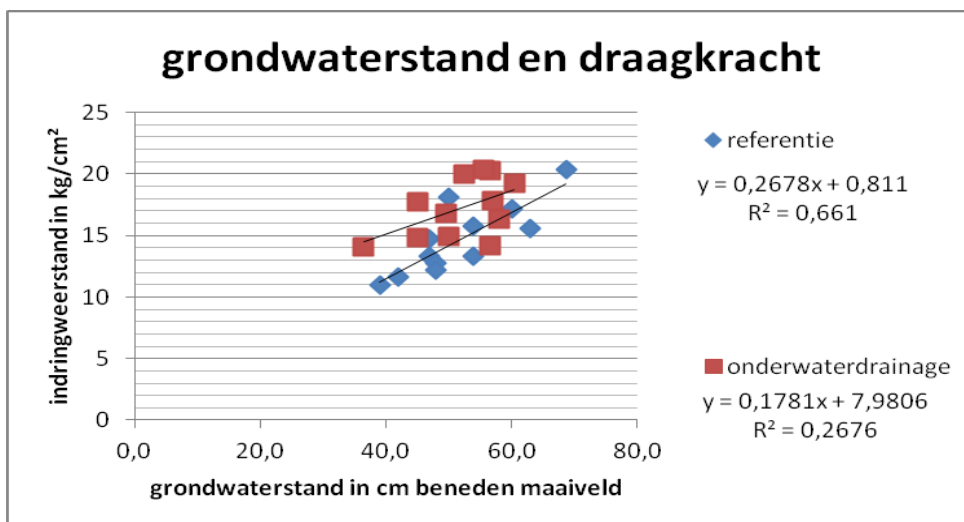
Het al dan niet aanwezig zijn van een kleidek bepaalt in veel grotere mate (meer dan factor 1,5-3) de indringingsweerstand van de bodem dan het al dan niet aanwezig zijn van een onderwaterdrainage. In 2012 waren de indringingsweerstand over het algemeen lager dan in 2011, hetgeen niet verwonderlijk is gezien de verschillen in weersomstandigheden (voorjaar 2011 was aanzienlijk warmer en droger).

Wat betreft de geschiktheid voor weidevogels leverde het onderzoek de volgende conclusie op (Van der Zijden en Kruk, 2011, Kruk en Van der Zijden, 2012):

Met twee jaar onderzoek kon geen duidelijk effect van onderwaterdrainage op de aanwezigheid en bereikbaarheid van bodemfauna en de voedselinname van weidevogels worden vastgesteld. Niet onderzocht zijn mogelijke verschillen in effecten van onderwaterdrainage en peil aanpassing. Een effect op weidevogeldichtheden en het broedsucces door mogelijk veranderd agrarisch gebruik en/of vegetatiesamenstelling en -structuur als gevolg van de drainage is eveneens niet onderzocht. Het verdient daarom aanbeveling om deze mogelijke relevante effecten in een vervolgstudie mee te nemen.

Door Tim van Noord, stagiair bij PPP-Agro, zijn in 2012 op zeven praktijkbedrijven met onderwaterdrains grondwaterstanden en indringweerstand gemeten om de draagkracht te bepalen (Van Noord, 2012). In figuur 3.5 zijn de resultaten van Van Noord (2012) samengevat. De indringweerstand zijn bij de gedraineerde percelen in het algemeen hoger. De gepresenteerde indringweerstand zijn het gemiddelde van 30 metingen per perceel. De gemiddelden liggen duidelijk hoger dan de benodigde draagkracht voor berijden (indringweerstand > 5 kg/cm²) of beweiden (indringweerstand > 6 kg/cm²). Uit de resultaten kwam naar voren dat het gebruik van onderwaterdrainage in de gemeten periode (4 april 2012 - 31 mei 2012) leidde tot een verhoging van de indringweerstand met gemiddeld 17% en bij perioden met veel neerslag (gem. 20 mm/dag) tot wel 21%. De verhoging van de indringweerstand werd vermoedelijk niet veroorzaakt door het verschil in grondwaterpeil tussen percelen met en zonder onderwaterdrainage. In de gemeten periode kon namelijk geen significante verandering van het grondwaterpeil gevonden worden. Het verschil in draagkracht wordt mogelijk veroorzaakt door het effect dat onderwaterdrainage heeft op de vochttoestand weergegeven als vochtspanning (zuigspanning die nodig is om vocht uit de bodem te onttrekken). In de periode voor april, dus voorafgaande aan de meetperiode, hebben de onderwaterdrains misschien gezorgd voor een iets drogere grond en daardoor wat betere en meer grasgroei, met meer verdamping tot gevolg, waardoor de vochtspanning in de zode bij de drains sterker daalt dan bij de referentie. Het is bekend dat er een sterk verband bestaat tussen draagkracht en vochtspanning (Beuving et al., 1989, Van den Akker et al., 1993). De vochtspanningen zijn echter niet gemeten en of er echt belangrijke verschillen in vochtspanningen zijn opgetreden is dus niet duidelijk. Voor een goede verklaring is daarom meer onderzoek gewenst.

De resultaten hebben ook aangetoond dat het gebruik van onderwaterdrainage het effect van het slootwaterpeil op de grondwaterstand versterkt. Met onderwaterdrainage was de correlatie tussen deze twee variabelen 0,63 t.o.v. 0,37 zonder onderwaterdrainage.



Figuur 3.5 Relaties tussen grondwaterstand en indringweerstand (Van Noord, 2012).

4 Onderzoek naar de maximale lengte van onderwaterdrains en de kwaliteit van aanleg

Dit onderzoek behoorde oorspronkelijk niet tot de pilotstudie naar de toepassing van onderwaterdrains in de Krimpenerwaard. Bij een bespreking met vertegenwoordigers van de provincie Zuid-Holland over de voorwaarden waaraan de aanleg van onderwaterdrains zou moeten voldoen, kwamen echter twee vragen van praktische aard naar voren die niet met bestaande kennis konden worden beantwoord:

- Kan bij een lengte van ca. 300 m in hoge mate worden gegarandeerd dat een onderwaterdrain nog steeds voldoet voor zowel aanvoer (infiltratie) als afvoer (drainage) van water.
- Er zijn verschillende soorten draineermachines om onderwaterdrains aan te leggen. De vraag is of de kwaliteit van aanleg voldoet en of er grote verschillen zijn tussen de verschillende machines. Het gaat hierbij vooral om de juiste en constante hoogteligging van de drains.

In dit hoofdstuk wordt op de twee vragen nader ingegaan.

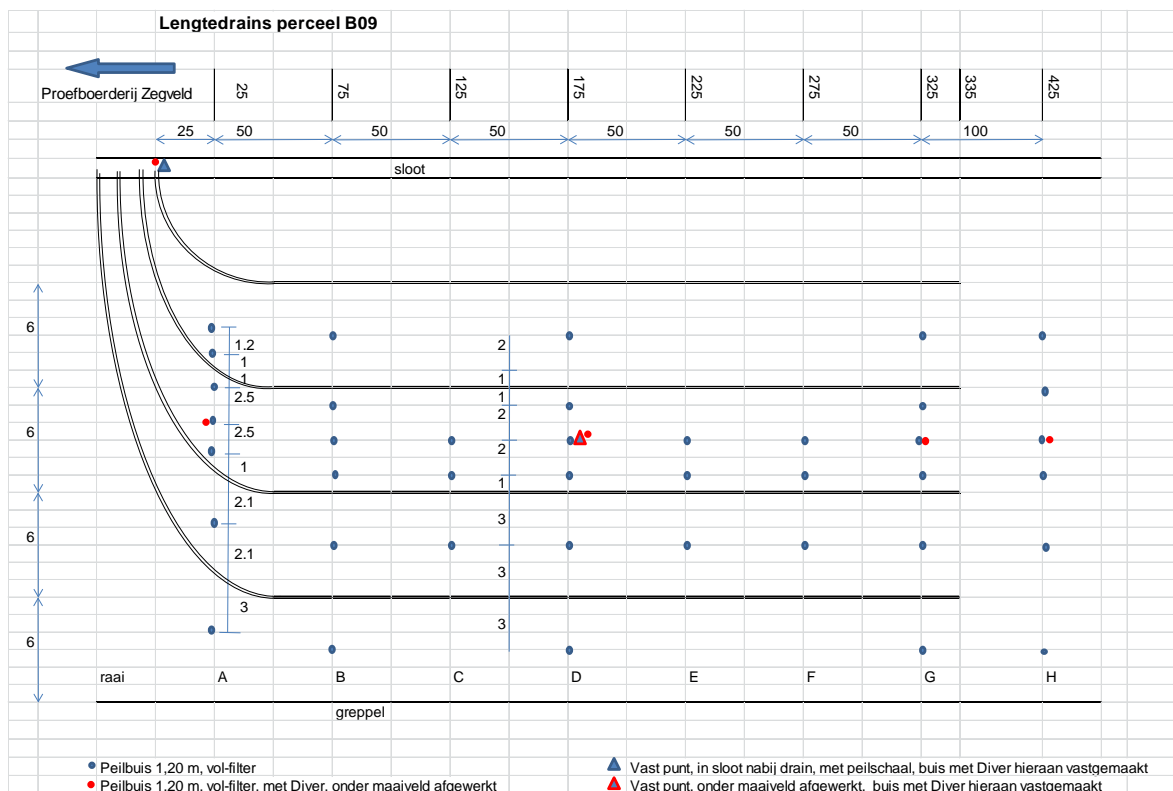
Met de resultaten van de onderzoeken kunnen de spelregels c.q. voorwaarden voor de subsidiering van de aanleg beter worden onderbouwd en wordt meer zekerheid verkregen over het goed functioneren van onderwaterdrains wat betreft het draineren en infiltreren.

4.1 Onderzoek naar de maximale lengte van onderwaterdrains

4.1.1 Inleiding

Er is wel enig onderzoek gedaan aan drains van ca. 300 en 450 m bij een proef in de polder Zeevang (Hoving et al., 2009). De conclusie was dat een lengte van 450 m te lang is: in plaats van een afvlakking leken er zelfs grotere verschillen in de grondwaterstand op te treden dan bij de situatie zonder drains. Dit komt overeen met ervaringen in de praktijk dat bij grote lengten het functioneren van onderwaterdrains tegenvalt (Van Leeuwen, nabij Linschoten, persoonlijke communicatie). In Zeevang was er bij een lengte van 300 meter nog sprake van een afvlakking van het verloop van de grondwaterstand. Nadere beschouwing leerde dat bij deze lengte de drainerende werking slechter lijkt dan bij kortere drains: bij de 300 m drain was in de winter de grondwaterstand ca. 15 cm - mv en bij de kortere drains ca. 20 cm - mv. Het effect op de infiltrerende werking was onduidelijk. Bij beschouwing van de individuele metingen van de grondwaterstanden leek de infiltratie bij 300 meter slechter dan bij kortere drainlengten. De metingen zijn echter te beperkt om duidelijke uitspraken te doen. Daarnaast blijkt de situatie in de polder Zeevang niet helemaal representatief voor het overgrote deel van het westelijk veenweidegebied, omdat de veenlaag slechts ca. 90 cm dik is.

De resultaten bij Zeevang en de (beperkte en niet geverifieerde) ervaringen in de praktijk waren reden om in de aanbevelingen voor de aanleg van onderwaterdrains de lengte te beperken tot 100-150 m. In de praktijk wil men uit kostenoverwegingen, beperking van het aantal eindbuizen en eenvoud van de aanleg, de drains in de lengte van het perceel leggen. Bovendien heeft dwars op de lengte van het perceel leggen (zoals bij de proefpercelen) als nadelen dat bij berijden elke drain wordt gevoeld en bij de aanleg dwars over greppels moet worden gedraineerd, wat de kwaliteit van aanleg kan benadelen. Bij het in de lengte aanleggen van de drains is een afstand van 100-150 m erg kort. In een tweede versie van de aanbevelingen c.q. regels voor de aanleg van onderwaterdrains wordt dan ook al gesproken van een maximale lengte van 300 m. Om te onderbouwen dat 300 m niet te lang is, is nader onderzoek nodig.



Figuur 4.1 Schets inrichting proefveld, perceel B09 van de proefboerderij Zegveld.

Het doel van dit deelonderzoek is om vast te stellen of een drainlengte van ca. 300 m nog voldoet voor drainage en infiltratie.

4.1.2 Proefopzet bepaling maximale lengte van onderwaterdrains

Op perceel B09 van de proefboerderij Zegveld zijn over een lengte van 335 m vier onderwaterdrains met een diameter van 6 cm aangebracht. De omhulling bestaat uit hergebruikt bollennettenmateriaal. De onderlinge afstand tussen de drains is 6 meter. Het gebruikte materiaal, draindiameter en drainafstanden zijn zeer gebruikelijk in de praktijk en op de proefboerderij Zegveld. De proefboerderij Zegveld heeft als voordelen dat we deze koopveengrond goed kennen en weten dat deze representatief is voor een groot deel van het veenweidegebied. In figuur 4.1 is een schets van het proefperceel gegeven. De horizontale en verticale schalen verschillen sterk.

De freatische grondwaterstanden worden gemeten met grondwaterstandsbuizen met een lengte van 1,20 m. De onderste meter is geperforeerd. De grondwaterstandsbuizen zijn aan maaiveld afgewerkt met een tegel met een gat in het midden waar de bovenkant van de buis uitkomt, maar niet boven de tegel uitsteekt. Er zijn drie lengterraaien met grondwaterstandsbuizen om de 50 m en drie dwarsraaien met buizen op één en drie meter vanaf de drains. Bij de middelste raai is een vast punt aangebracht bestaande uit een stalen buis tot op de vaste zandlaag. Deze is onder het maaiveld afgewerkt onder een tegel of een straatpot. In de slootkant is een tweede vast punt aangelegd als reserve en om een peilschaal aan te bevestigen.

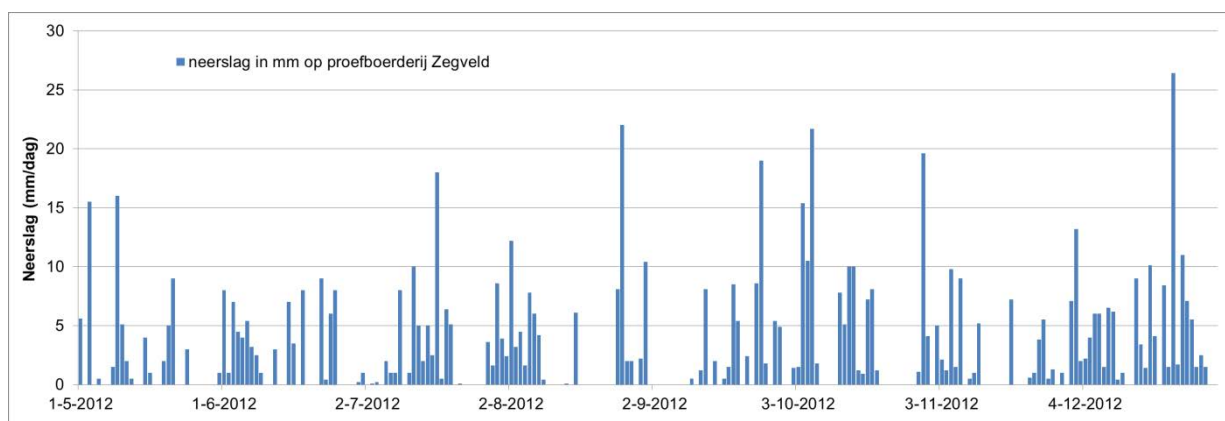
Met behulp van vijf Divers worden continu (om de zes uur) het slootpeil en op vier plekken de grondwaterstand gemeten (zie figuur 4.1). Het Veenweiden Innovatie Centrum Zegveld heeft de aanleg en inrichting van het proefveld met de onderwaterdrains, grondwaterstandsbuizen en tegels uitgevoerd. Het VIC Zegveld heeft ook het tweewekelijks met de hand opnemen van de grondwaterstanden en het aflezen van de slootpeilen op de peilschaal verzorgd. De meetresultaten zijn in een Excelfile aan Alterra aangeleverd. Alterra heeft de vaste punten, de Divers en de peilschaal geïnstalleerd en alle hoogtemetingen verricht en de Divers uitgelezen.

4.1.3 Resultaten en discussie metingen aan de maximale lengte van onderwaterdrains

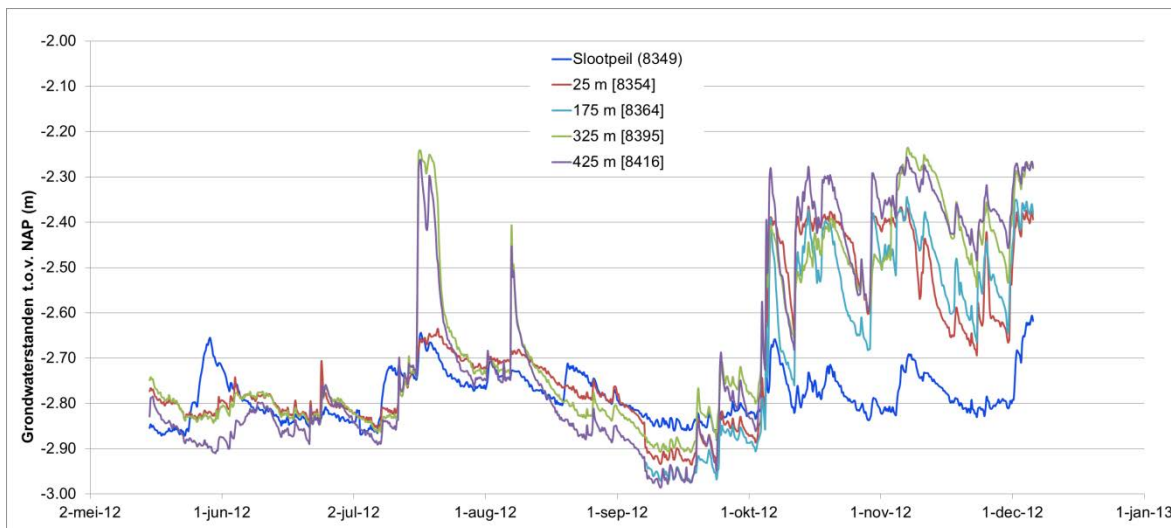
Uit de hoogtemetingen blijkt dat de gemiddelde maaiveldhoogte -2,34 m NAP is. Het gemiddelde slootpeil gedurende de meetperiode was -2,78 m NAP, zodat de gemiddelde drooglegging 44 cm is. In figuur 4.2 is de neerslag op de proefboerderij Zegveld gegeven. In de figuren 4.3 en 4.4 zijn de resultaten van de metingen met de Divers gepresenteerd. Uit figuur 4.3 blijkt dat de schommelingen in het slootpeil aanzienlijk kunnen zijn. Het slootpeil stijgt in een aantal gevallen tot 10 cm en daalt soms met ca. 5 cm ten opzichte van het gemiddelde slootpeil. De grondwaterstanden stijgen vooral op het einde van 2012 tot aan of zelfs boven maaiveld. Vermoedelijk zijn in een enkel geval de grondwaterstandsbuizen vanaf het maaiveld volgestroomd. Bij de verdere verwerking van de meetresultaten zijn deze piekmetingen buiten beschouwing gelaten.

In figuur 4.4. zijn de grondwaterstanden ten opzichte van het slootpeil gepresenteerd. Weerkundig kenmerkt 2012 zich als een nat jaar zonder echte droogteperioden en regelmatig regen (zie figuur 4.2). Dit blijkt ook uit de metingen aan de grondwaterstanden. Alleen tijdens een korte periode eind mei en begin juni leek het echt droog te worden, waarbij in de referentie de grondwaterstand tot 24 cm onder het slootpeil daalde. Daarna zijn er nog enkele wat drogere perioden geweest, maar daarbij zakte de grondwaterstand bij de referentie maximaal tot 14 cm onder het slootpeil. In natte perioden stijgt de grondwaterstand bij de referentie tot maximaal 50 cm boven het slootpeil, dit houdt in dat de grondwaterstand tot boven het maaiveld kan stijgen. Dit is in het veenweidegebied een bekend verschijnsel.

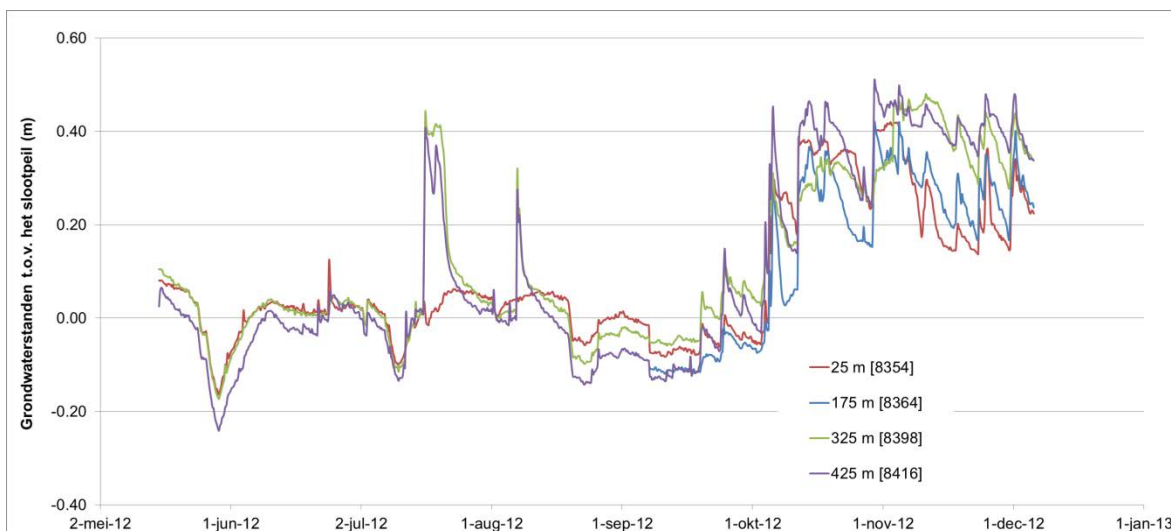
Uit de metingen blijkt dat de drains de grondwaterstandstijgingen sterk kunnen beperken, hoewel tijdelijk de grondwaterstanden nog sterk kunnen stijgen. In de natte periode op het einde van 2012 zijn daarbij duidelijke verschillen te zien tussen de effectiviteit van drainage van de drains op 25 en 175 m vanaf het begin van de drain in de sloot versus die op 325 m afstand. Uit een relatief droge periode eind mei lijkt de infiltratie via de drains minder last te hebben van een afstand van 325 m tot aan de sloot. Een wat drogere periode met infiltratie vanaf eind augustus tot begin oktober laat echter een diffuus beeld zien. In 2012 zijn de grondwaterstanden in de referentie maximaal tot ca. 60 cm onder maaiveld gezakt. Uit grondwaterstandsmetingen op de proefboerderij Zegveld blijkt dat in een droog jaar zoals 2003 de grondwaterstand langdurig tot meer dan 80 cm onder maaiveld kan uitzakken. Geconcludeerd kan worden dat de drains in 2012 niet echt op infiltreren zijn getest.



Figuur 4.2 Neerslag in mm op de proefboerderij Zegveld op dagbasis (uitlezing dagelijks om 8.00 h 's-morgens). NB de proefboerderij Zegveld is een officieel KNMI station wat betreft de neerslag.

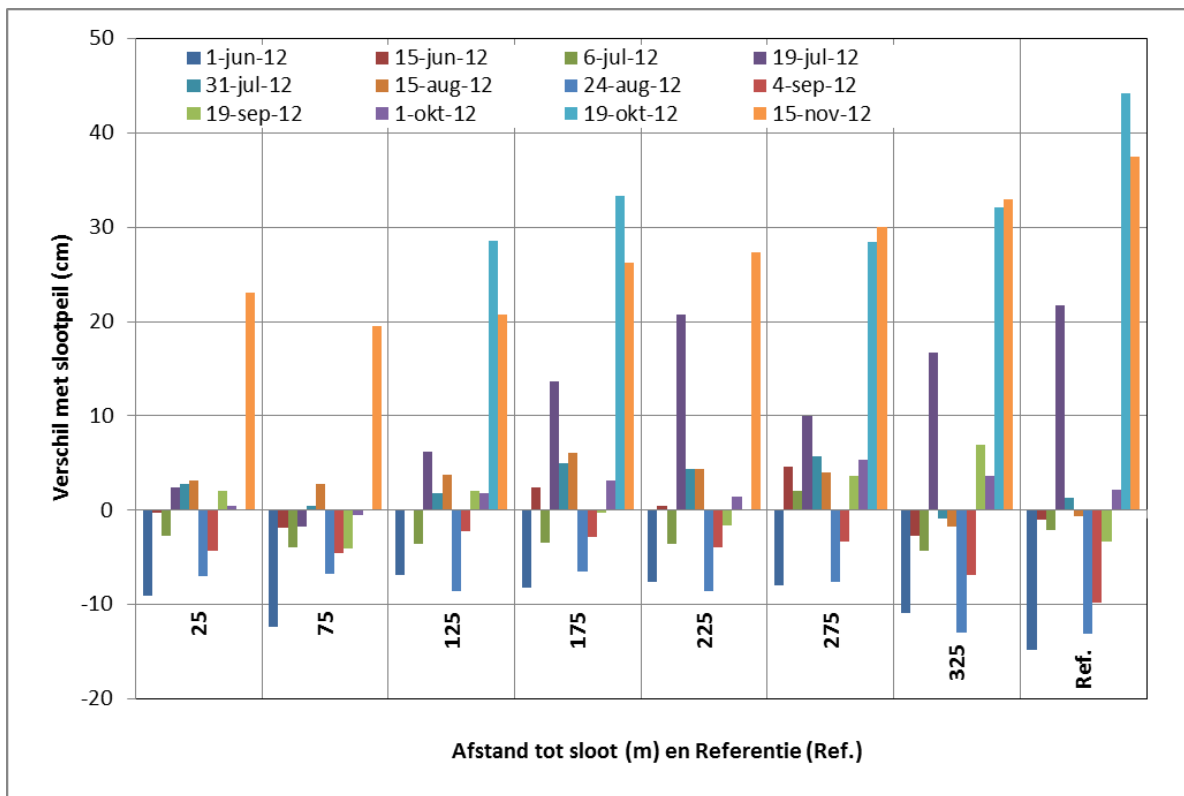


Figuur 4.3 Grondwaterstanden en slooppeil t.o.v. NAP (m) in het midden halverwege tussen twee drains op 25, 175 en 325 m vanaf de drainuitmonding in de sloot geregistreerd om de zes uur met Divers. De afstand van 425 m is ver voorbij de drainlengte en levert de referentie-grondwaterstand zonder drains.



Figuur 4.4 Grondwaterstanden t.o.v. het slooppeil (m).

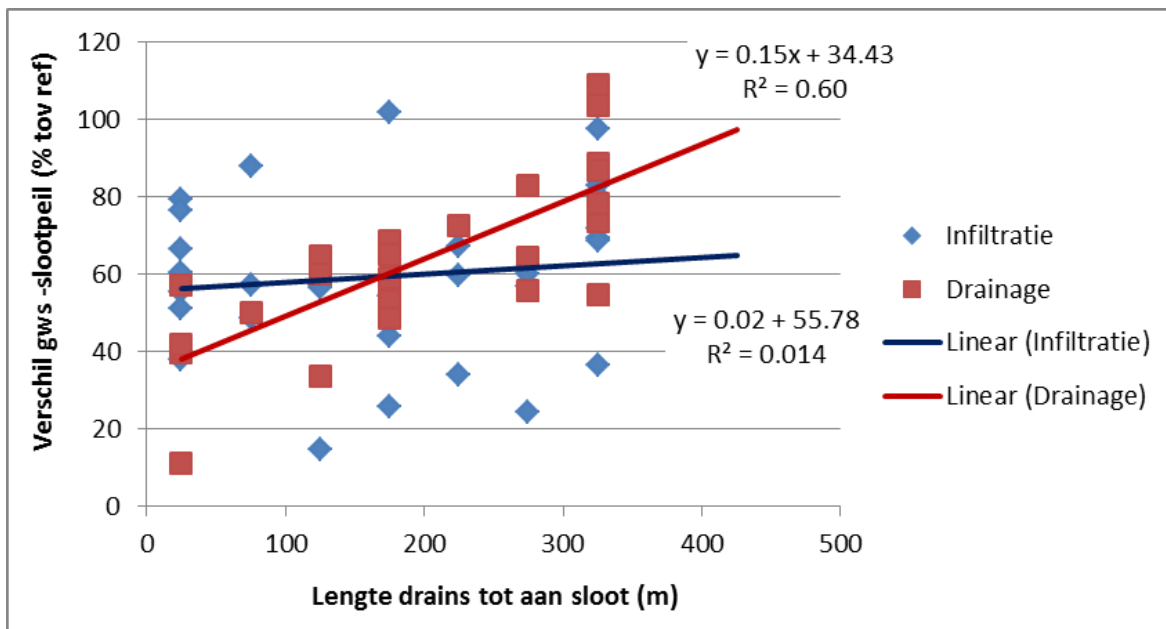
In figuur 4.5 zijn alle tweewekelijkse meetseries weergegeven met op de horizontale as de raaien om de 50 meter beginnende vanaf de eerste raai op 25 m. Beschouwd zijn de grondwaterstanden midden halverwege tussen de drains. De afstand van grondwaterstandsbuis tot de drain is dan ca. 3m. Op de verticale as zijn de verschillen aangegeven tussen de gemiddelde grondwaterstand per raai midden tussen de drains en het slooppeil. Bedacht moet worden dat een verlaging van 10 cm van de grondwaterstand al een merkbare toename van de draagkracht betekend. Uit figuur 4.5 volgt dat in de natste perioden dit verschil van ca. 10 cm optreedt tussen de referentie en drainage op bij ca. 225-275 m drainlengte tot de sloot.



Figuur 4.5 Verskil van de grondwaterstand midden tussen de drains en het slootpeil in cm op verschillende afstanden tot het begin van de drain in de sloot. Rechts in de figuur dit verschil in de referentie zonder drains

Om de afname van de effectiviteit van de drains met de lengte voor zowel de drainerende als de infiltrerende functie nader te bepalen, zijn de tweewekelijkse grondwaterstandsmetingen midden halverwege tussen de drains aangevuld met een selectie van metingen met de Divers. Bij de Diver-waarnemingen zijn daarbij momenten geselecteerd waarbij het minimaal drie dagen droog is geweest en waarbij bij de referentie het verschil tussen grondwaterstand en slootpeil minimaal 10 cm is (onder of boven het slootpeil). Ook bij de tweewekelijkse grondwaterstandsmetingen zijn de tweewekelijkse series weggelaten waarbij bij de referentie het verschil tussen slootpeil en grondwaterstand kleiner was dan 10 cm. Om de series onderling te kunnen vergelijken zijn vervolgens de grondwaterstanden t.o.v. het slootpeil van de referentie per serie op 100% gesteld. De resultaten zijn gebundeld voor de situaties waarbij er wordt geïnfilteerd en de situaties waarbij er wordt gedraineerd. Het resultaat is gepresenteerd in figuur 4.6. Daarbij zijn bij de drainagesituatie twee punten verwijderd. Eén punt bij de raai van 75 m werd niet vertrouwd omdat deze negatief was en een ander punt bij de raai van 225 m omdat deze 119% was en werd geconcludeerd dat deze waarschijnlijk is volgelopen tijdens een stortbui. Het blijkt dat bij infiltrerende situatie, waarbij de grondwaterstanden dieper zijn dan het slootpeil, er door de grote onderlinge spreiding van de punten weinig kan worden gezegd over een afname van de effectiviteit met de drainlengte. De trendlijn loopt bijna horizontaal op een waarde van ongeveer 60%.

De drainerende situatie geeft een duidelijker beeld van de afname van de effectiviteit van de drain met de lengte en geeft een betrouwbaardere trendlijn ($R^2 = 0,6$). Op ongeveer 450 m lengte van de drain vanaf de sloot kruist deze trendlijn de 100% lijn. Vanaf daar doen de drains weinig tot niets wat betreft de drainage. Op 25 m afstand is de grondwaterstand t.o.v. het slootpeil ca. 40% van de waarde bij de referentie. Op ca. 250 m afstand is het gunstige effect van de drains echter al gehalveerd.



Figuur 4.6 Verschil tussen de grondwaterstand en het slootpeil in procenten van het verschil bij de referentie zonder drains (= 100%).

4.1.4 Conclusies betreffende de maximale lengte van onderwaterdrains

De metingen blijken geen uitsluitsel te geven over de infiltrerende werking van de onderwaterdrains. Het lijkt erop dat de drains beter infiltreren dan draineren, maar dit kan sterk samenhangen met het feit dat er in de meetperiode in een bepaald tijdsbestek (bijvoorbeeld een dag) veel minder hoeft te worden geïnfilteerd dan gedraineerd.

De metingen laten wel goed zien dat bij drainlengten van meer dan ca. 250 m de verlaging van de grondwaterstand duidelijk minder gaat worden dan bij korte drainlengten die meer horen bij draineren dwars op het perceel en perceelbreedten van 30 tot 100 meter. Met een drainlengte van 250 m lijkt het er wel op dat in natte perioden een grondwaterstandsverlaging van ca. 10 cm kan worden gerealiseerd, wat op zich al een merkbare verbetering van de draagkracht kan opleveren.

Al met al wordt geconcludeerd dat drainlengten langer dan 250 m teleurstellende resultaten kunnen opleveren voor de verbetering van de draagkracht. Voor het effect op de infiltratie en de daarmee samenhangende grondwaterstandsverhoging richting slootpeil en daarmee de beperking van de maaiveldvaling kan uit de metingen weinig zekerheid worden verkregen. Aanbevolen wordt om in het geval van een droge zomer nieuwe metingen aan de grondwaterstanden uit te voeren.

4.2 Metingen aan de kwaliteit van aanleg van onderwaterdrains

4.2.1 Inleiding

Wat betreft vraag naar de kwaliteit van aanleg gaat het vooral om de juiste en constante hoogteligging van de drains. Vooral de eerste vijf meter van de drains vanaf de slootkant is kritiek omdat daar op korte afstand de grootste hoogteverschillen in het maaiveld optreden. Ditzelfde geldt in mindere mate bij de greppels als dwars op het perceel wordt gedraineerd. De klassieke manier van draineren is met een machine op rupsen waarbij de drains met een V-vormig mes worden aangelegd. Met deze apparatuur is zeer veel ervaring opgedaan en aangenomen kan worden dat hiermee een constante en goede hoogteligging kan worden bereikt. Nadeel van deze apparatuur is dat ze groot en log is en daarmee als minder geschikt voor het veenweidegebied wordt gezien. Ook is het de vraag hoe het zit met de hoogteligging omdat zo'n zware machine het veen veel indrukt, waarna het op zich flexibele veen weer grotendeels terugveert. Een veel gebruikt alternatief is een kleiner en lichter

systeem waarbij apparatuur achterop een tractor is aangebracht, waarbij de drains met een half V-vormig mes worden aangebracht. Dit kan een tractor met banden of een rups zijn. Daarnaast zijn er ontwikkelingen gaande waarbij o.a. het mes gewoon rechtop staat. In de praktijk vraagt men zich af of er grote kwaliteitsverschillen zijn tussen de verschillende manieren van aanleg. Uiteraard is het ook voor de subsidiegever van groot belang dat de kwaliteit van aanleg van de onderwaterdrains goed is en dat vooral de infiltratie van slootwater ook daadwerkelijk goed plaatsvindt.

Het doel van het onderzoek naar de aanlegkwaliteit is om de praktijk maar ook de subsidieverstrekkers meer inzicht en zekerheid te geven over de kwaliteit van aanleg van onderwaterdrains met de verschillende draineermachines die nu beschikbaar zijn.

4.2.2 De uitvoering

Het gaat bij de kwaliteit van de aanleg van onderwaterdrains vooral om de juiste en constante hoogteligging van de drains. Vooral de eerste vijf meter van de drains vanaf de slootkant is kritiek omdat daar op korte afstand de grootste hoogteverschillen in het maaiveld optreden. Tijdens twee demonstratiedagen georganiseerd om voorlichting te geven over de toepassing van onderwaterdrains zijn vier draineermachines vergeleken en metingen verricht aan de hoogteligging van de drains. De hoogtemetingen zijn uitgevoerd met de Consoil hoogteliggingapparatuur, die speciaal is ontworpen om hoogtemetingen aan drains en buizen in de grond te verrichten. Daarbij wordt een stevige slang met daarin een dun slangetje met een speciale vloeistof vanuit de sloot via de eindbuis in de drain geschoven. Ook kan in het veld de drain worden opgegraven en de slang via een gat in de drain worden geschoven. Met een zeer nauwkeurige drukopnemer worden vervolgens hoogteverschillen gemeten. De resultaten worden direct in een Excelfile op een laptop gezet. Lengten tot ca. 150 m kunnen op deze wijze worden doorgemeten.

De vier drainagemachines die zijn vergeleken zijn opgenomen in figuur 4.7.

De demonstraties hebben plaatsgevonden in de Krimpenerwaard op percelen van M. de Vries, nabij Berkenswoude, gemeente Stolwijk en in de polder Zeevang op percelen van De Boer, nabij Warder. De draagkracht van de percelen in de Krimpenerwaard waren redelijk tot goed. De draagkracht van de percelen in de polder Zeevang waren matig tot zeer matig.

Bij De Vlijt en bij Reyneveld is het mes waarmee de drain op diepte wordt gelegd schuin. Van Kessel heeft een dubbel, V-vormig mes (delta). De Vries heeft een recht mes. De Vlijt en Van Kessel maken gebruik van rupsvoertuigen.

AANLEG ONDERWATERDRAINAGE

Loonbedrijf De Vries



Contactgegevens
Benedeheulseweg 48
2821 LT Stolwijk
T: 0182-362388
E: info@loonbedrijfdevries.nl
www.loonbedrijfdevries.nl

Gewicht geheven:	8.840kg
Gewicht in de grond	6.160kg
Contactoppervlak band:	19.560cm ²
Bodemdruk (geheven)	0,45 kg/cm ²
Bodemdruk (bij draineren)	0,31 kg/cm ²

Van Kessel B.V.



Contactgegevens
Kornedijk 7a
Postbus 710
4116 ZJ Buren
T: 0344-578520
M: 06-11008507
E: info@kessel.nl
www.kessel.nl

Gewicht geheven:	32.500kg
Contactoppervlak rups:	93.600cm ²
Bodemdruk	0,35 kg/cm ²

Loonbedrijf De Vlijt



Contactgegevens
Middenweg 22a
1463 HB Noordbeemster
T: 0299-690394
M: 0622609357
www.loonbedrijfdevlijt.nl

Gewicht geheven:	17.080kg
Gewicht in de grond	12.340kg
Contactoppervlak rups:	35.280cm ²
Bodemdruk (geheven)	0,48 kg/cm ²
Bodemdruk (bij draineren)	0,35 kg/cm ²

Reyneveld-Drainage



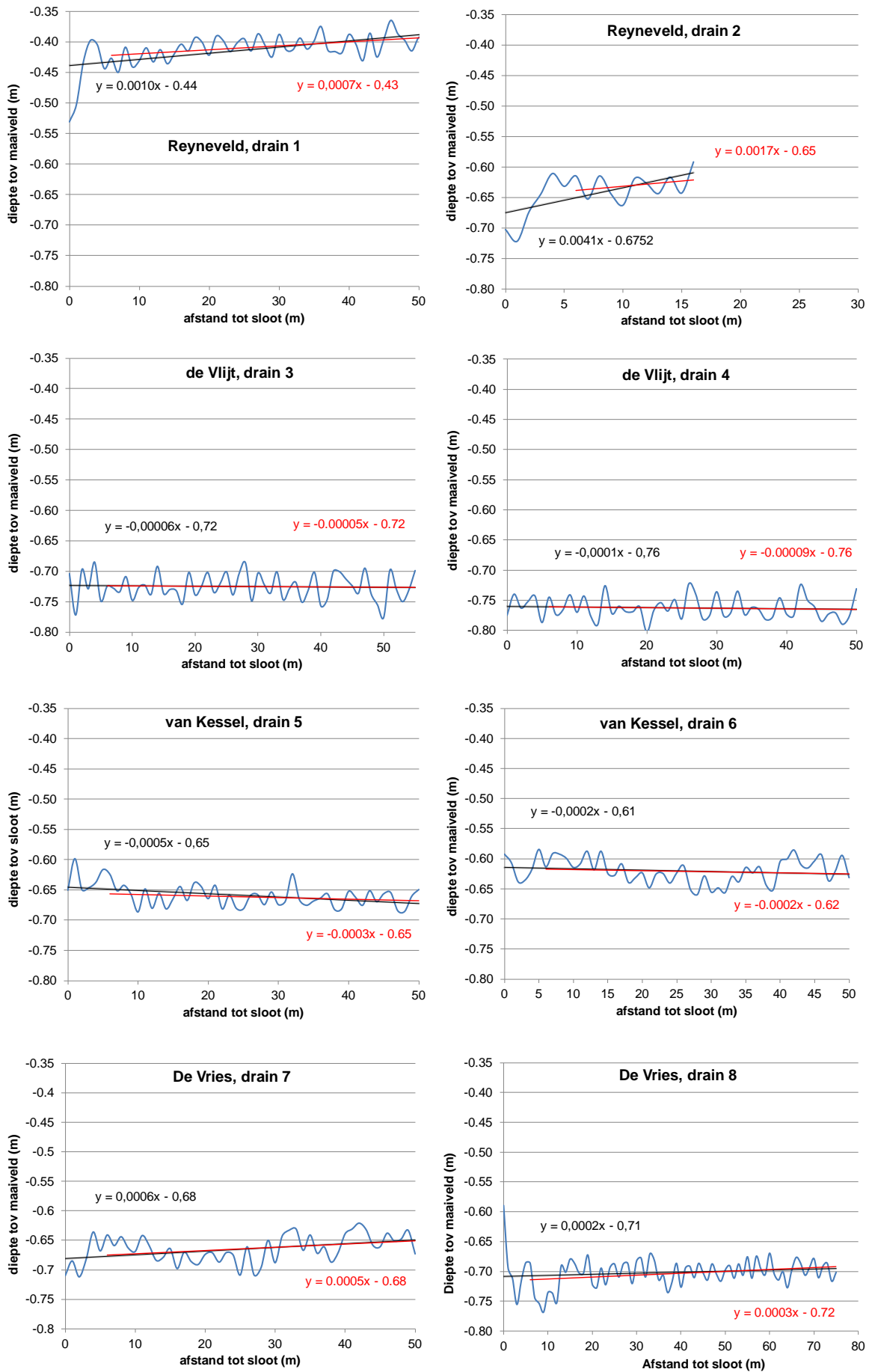
Contactgegevens
Lagewaard 18a
2396 AT Koudekerk a/d Rijn
T: 0713-416666
M: 0653993476
E: info@reynveld-drainage.nl
www.reynveld-drainage.nl

Gewicht geheven:	15.260kg
Gewicht in de grond	13.750kg
Contactoppervlak band:	18.404cm ²
Bodemdruk (geheven)	0,83 kg/cm ²
Bodemdruk (bij draineren)	0,75 kg/cm ²

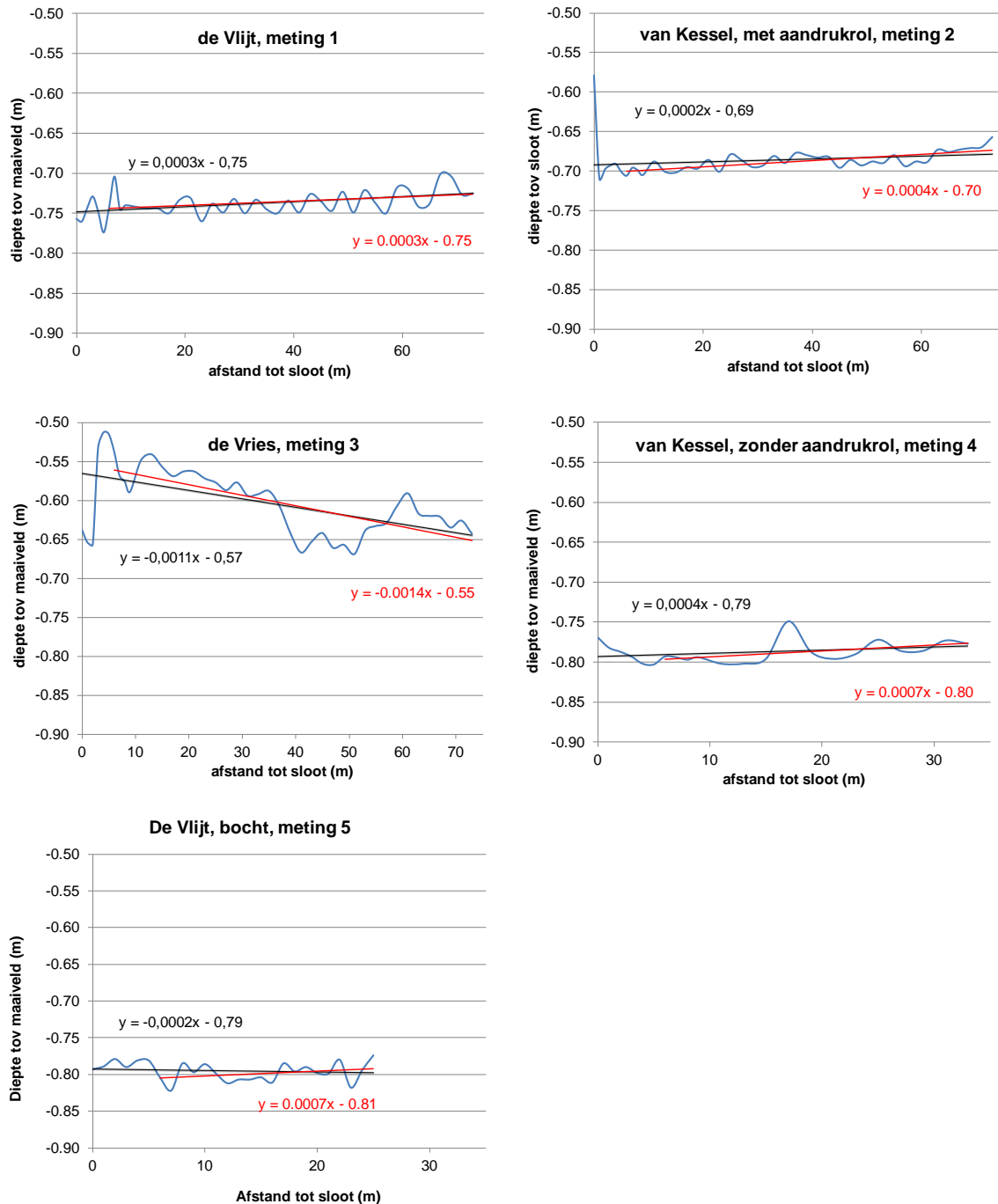
Figuur 4.7 De vier geteste drainagemachines.

4.2.3 Resultaten en conclusies van de test van de aanlegkwaliteit van onderwaterdrains

De resultaten zijn gepresenteerd in een serie grafieken in de figuren 4.8 (Krimpenerwaard) en 4.9 (polder Zeevang). Door de metingen zijn twee trendlijnen getrokken. Een zwarte trendlijn zijn alle metingen beginnende vanaf de sloot. Een rode trendlijn zijn de metingen beginnende bij zes meter vanaf de slootkant, zodat bij deze trendlijn eventuele problemen bij het begin van de drain bij het trekken vanuit de sloot niet doorwerken in de resterende metingen. Ook de vergelijkingen van de trendlijnen zijn opgenomen in de grafieken. De constante geeft de diepte waarop de drain vanuit de sloot bij een goede installatie zou moeten beginnen. Deze diepte mag niet te veel van de geplande diepte verschillen. Daarnaast mag ook de gerealiseerde begindiepte niet te veel van deze diepte (de constante in de vergelijkingen) verschillen. In het ideale geval ligt een onderwaterdrain horizontaal. Dat houdt in dat het argument van de vergelijking (het getal voor de variabele x) gelijk is aan nul. In de praktijk blijkt een argument van +0.0002 of -0.0002 goed te realiseren zijn. Dit houdt in dat over een afstand van 100 m de drain 2 cm te hoog of te laag kan liggen.



Figuur 4.8 Resultaten van de vergelijking van drainaanleg bij de demonstratie in de Krimpenerwaard.



Figuur 4.9 Resultaten van de vergelijking van drainaanleg bij de demonstratie in de polder Zeevang.

Drains in de lengte van een perceel, waarbij lengten tot 500 m gemakkelijk mogelijk zijn, kunnen op het einde dus wel 10 cm te hoog of te laag komen te liggen. Te laag is daarbij niet zo'n groot probleem, maar 10 cm te hoog plus een zekere mate van variatie in de hoogteligging, betekent dat er misschien lucht in de drains kan komen of dat deze zelfs boven het slootpeil komen te liggen, zodat infiltratie vanuit de sloot bij het laatste deel van de drain niet meer mogelijk is.

Uit de grafieken blijkt dat bij de demonstratie in de Krimpenerwaard bij zowel Van Kessel als bij De Vlijt de aanleg van de onderwaterdrains in alle gevallen aan de eisen voldoet. Bij Reyneveld lopen de drains meer dan 7 cm per 100 meter op, zodat bij langere lengten de drains boven het slootpeil dreigen uit te komen. Ook bij De Vries loopt de drain bij één van de twee drains met 5 cm op per 100 meter lengte. Dit is toch wel aan de hoge kant. In de polder Zeevang was de draagkracht duidelijk slechter dan in de Krimpenerwaard. Dit komt tot uitdrukking in de resultaten. Deze zijn allemaal wat

slechter dan bij in de Krimpenerwaard. In de polder Zeevang blijken de drains bij Van Kessel en De Vlijt vanaf de sloot langzaam op te lopen, zodat bij langere drains deze boven het slootpeil dreigen uit te komen. Bij De Vries lopen de drains juist naar benden af en zullen te diep uitkomen omdat de helling nogal stijl is. In de polder Zeevang heeft De Vlijt ook in een bocht gedraineerd en zelfs onder deze moeilijke omstandigheden voldoet de aanleg in het eerste deel goed. Het tweede deel (rode trendlijn) voldoet niet, maar dat kan gekomen zijn omdat men in deze proef met het leggen van een bocht te dicht bij de slootkant kwam. In de praktijk zal men dit vermijden.

4.2.4 Conclusies

Er blijken vrij grote verschillen op te treden in de kwaliteit van aanleg van onderwaterdrains bij de verschillende draineurs. Het testen van de kwaliteit van draineren door verschillende draineurs is echter een momentopname geweest en is beperkt van omvang gebleven. Bedacht moet worden dat de kwaliteit van aanleg in hoge mate wordt bepaald door de kwaliteit van de laserapparatuur en of deze een goed horizontaal (waterpas) vlak geeft. Verder kan een draineur ook gewoon pech hebben gehad met plaatselijke verschillen in draagkracht of bijvoorbeeld boomstronken of puin in de ondergrond. Het zou daarom te ver voeren om de draineurs die minder goed uit de test komen bij voorbaat af te schrijven.

In ieder geval kan worden geconcludeerd dat de aanleg van onderwaterdrains goed kan worden uitgevoerd. Een matige tot zeer matige draagkracht gaat ten koste van de kwaliteit en kan bij lange drains problemen gaan opleveren. In een bocht draineren blijkt geen problemen op te leveren.

5 Praktijkervaringen met onderwaterdrains en de economische haalbaarheid

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de resultaten van deelproject 3: Effect toepassing onderwaterdrains op de economische resultaten van melkveebedrijven en deelproject 4: Communicatie toepassing onderwaterdrains in de Krimpenerwaard van de pilot Toepassing Onderwaterdrains Krimpenerwaard.

5.1 Onderwaterdrains in de praktijk: ervaringen en communicatie

Doel van deelproject 3 was praktijkervaring delen en opdoen met onderwaterdrainage op eigen percelen. De economische haalbaarheid in de eigen situatie is onderzocht en een praktische vertaalslag gemaakt naar aanleg, onderhoud en rendement van het systeem. In dit project is ook samengewerkt met het praktijknetwerk Onderwaterdrainage op Veen, om zoveel praktijkervaringen als mogelijk te bundelen. In dit netwerk zaten tien melkveehouders uit West Nederland die zelf ook onderwaterdrainage hebben laten aanleggen. In totaal zijn bij deze veehouders ruim 20 hectare onderwaterdrainage aangelegd. Bij ruim de helft van de deelnemers aan dit netwerk was dit de eerste kennismaking met onderwaterdrainage. In de uitvoering van de pilot in de Krimpenerwaard zijn Marinus de Vries, Gijs van Eck (pilot Demmeriksekade) en Arjan van Diemen (pilot Keulevaart) ook deelnemer geworden van dit praktijknetwerk. De ervaringen vanuit de praktijk worden in deze rapportage verder beschreven.

In de rapportage worden eerst de activiteiten die verricht zijn beschreven, vervolgens wordt geëvalueerd of de activiteiten hebben bijgedragen aan de doelstellingen. Daarna wordt de kennis en informatie die het project heeft opgeleverd beschreven en de manier waarop deze kennis al openbaar is gemaakt en verder nog gebruikt zal worden.

5.1.1 Verrichte activiteiten

Puntsgewijs hieronder een toelichting op de verrichte activiteiten.

1. Functioneren als netwerk met netwerkbegeleiding. Het netwerk is zowel in 2011 als in 2012 vier keer bij elkaar gekomen. In februari 2013 was de afsluitende bijeenkomst. De begeleiding van het netwerk is goed verlopen. Er is telkens intensief en kritisch overleg met eigen cijfers of inbreng van een expert. Steeds staat het zelf leren en reflecteren op eigen bedrijf centraal, bij een bedrijfsbezoek geven deelnemers elkaar gericht feedback. Ook is er gebruik gemaakt van de input vanuit de drie pilotproeven. Inhoudelijk is er samen met onderzoekers gewerkt aan de hieronder genoemde punten.
2. De inventarisatie van wat de deelnemers tot nu toe al hebben gedaan aan onderwaterdrainage op het eigen bedrijf, en wat de ervaringen hier mee zijn. Vervolgens is de beschikbare kennis vanuit wetenschappelijk onderzoek en praktijkonderzoek gedeeld door Karel van Houwelingen van Melkveeproefbedrijf Zegveld en Jan van den Akker van Alterra en Idse Hoving van Livestock Research.
3. De kennis en ervaring opgedaan door dit netwerk is ingebracht in een bijeenkomst voor de LTO afdelingsbestuurders van West Nederland tijdens een bijeenkomst op het melkveeproefbedrijf op 15 september 2011. Dit heeft er voor gezorgd dat de kennisverspreiding over onderwaterdrainage op veen in een stroomversnelling is gekomen.



4. Door een lid van het netwerk is een filmpje gemaakt over de aanleg van onderwaterdrains. Dit is op Youtube gezet:
http://www.youtube.com/watch?v=F3_EjeX8A6Y&context=C43f206bADvjVQa1PpcFNfLqP3fkfAeW9ovSOZdRbLFTMB1mvduQY=
5. Door Frank Lenssinck van het Veenweide Innovatie Centrum (VIC) Zegveld is een eenvoudige machine ontwikkeld om te kunnen draineren. Deze is inmiddels al verkocht aan een loonwerker in de Krimpenerwaard die er mee draineert.
6. De expertise die is opgebouwd heeft er voor gezorgd dat het netwerk ook is gevraagd mee te denken over een subsidieregeling voor de diepe veenweide gebieden om aanleg van drainage te subsidiëren als middel om bodemdaling tegen te gaan.
7. Netwerkbegeleiding en samenwerking binnen VIC Zegveld, PPP-Agro, Wageningen Livestock Research en Alterra Wageningen UR was waardevol in intervisie en gezamenlijke communicatie.
8. Communicatie: een aantal malen is er informatie verspreid via de website www.verantwoordeveehouderij.nl. Daarnaast is ook informatie gedeeld over dit praktijknetwerk via de Pers. Daarnaast is er op de Innovatiedag in april en december 2011 op Proefboerderij Zegveld (Wageningen UR) ook uitgebreid aandacht geweest voor dit onderwerp. Op deze beide dagen zijn meer dan 100 melkveehouders aanwezig geweest.
9. Het laatste jaar van het praktijknetwerk zijn veel metingen gedaan op de percelen van de deelnemers. Hierin heeft stagiaire Tim van Noord een grote rol vervuld. Op alle percelen zijn op bepaalde plaatsen peilbuizen geplaatst, waarin de grondwaterstanden in de loop van het jaar regelmatig zijn gemeten. Dit heeft waardevolle resultaten opgeleverd. Enerzijds als onderbouwing van bestaande kennis, anderzijds als inbreng van nieuwe kennis.
10. In maart is een uitgebreide evaluatie geweest met de deelnemers over de ervaringen van het aanbrengen van de drainage en de effecten ervan in de winter en het vroege voorjaar. Hieruit kwam waardevolle informatie, die vooral met de techniek van het aanbrengen en verbetering van draagkracht te maken hebben.
11. Het netwerk heeft naast inhoudelijke kennis ook inzet gepleegd om onderwaterdrainage onder de aandacht te brengen van collega's (die vooral geïnteresseerd zijn in draagkracht) en overheden (waterschap en provincie, die vooral geïnteresseerd zijn in bodemdaling). Hiervoor is een folder gemaakt met als titel: 'Alles over onderwaterdrainage'.
12. Na de technische invalshoek is ook de economische paragraaf toegevoegd. Met hulp van de stagiaire, PPP-Agro Advies, Livestock Research en kennis van de deelnemers is een eerste poging gedaan om het rendement van onderwaterdrainage te berekenen.
13. Open dag op het bedrijf van de firma De Vries te Stolwijk in de Krimpenerwaard. Speciaal voor boeren in deze regio is een demonstratie gegeven over de aanleg van onderwaterdrainage. Hierbij waren alle specialisten uit het netwerk aanwezig om toelichting te geven over de achtergronden van deze nieuwe ontwikkeling. Door de aanwezigheid van machines kon worden getoond hoe de aanleg van de drains in veengrond praktisch te werk gaat.
14. Tijdens bijeenkomsten van LTO, afdeling Krimpenerwaard is meerdere keren aandacht besteed aan het initiatief dat ook in hun regio plaatsvond omtrent de onderwaterdrainage. Naar aanleiding daarvan kwamen diverse leden met concrete vragen om erin te investeren.



5.1.2 Hebben de bovenstaande punten bijgedragen aan de realisatie van de doelstellingen van dit project?

Naar onze overtuiging hebben bovenstaande punten positief bijgedragen aan de realisatie van de doelstellingen van dit project. In de beginperiode van het netwerk hebben we veel tijd besteed aan het gemeenschappelijk maken van de juiste probleemformulering. Wat is onderwaterdrainage, en hoe kan iedereen dat op zijn eigen bedrijf invulling geven. Dit blijft een gezamenlijke zoektocht omdat er niet één vaste omschrijving bestaat.

De verbinding die is gemaakt met de onderzoekers is erg functioneel geweest. De onderzoekers zijn enthousiast, deskundig en brengen een verdieping aan in de discussies en voorkomen hiermee ook discussies

over zaken die door de onderzoekers al zijn uitgezocht (vooral waterbehoefte en waterkwaliteit levert nogal wat discussie op).

Alle deelnemers hebben onderwaterdrainage aangelegd op het eigen bedrijf. Daarmee heeft elk bedrijf een concrete bijdrage bij het verzamelen van gegevens en inventariseren van ervaringen. De eerste praktijkbevindingen zijn erg positief! Vooral de berijdbaarheid valt de gebruikers positief op.

Het voortschrijdend inzicht in het netwerk levert door de aanleg op het eigen bedrijf ook handvatten op, meer bewust bezig te zijn met de onderwaterdrainage, de waterhuishouding, de bodem en bodemkwaliteit: dit helpt ook met het formuleren van de vragen die er leven rondom de praktische aanleg van de drainage.

Door de praktische insteek en goede communicatie is een breed veld geïnteresseerd geraakt in onderwaterdrainage voor veengronden. Er zijn meerdere melkveehouders die interesse hebben in het toepassen van dit systeem. Ze hopen dat het met subsidies verder zal worden gestimuleerd.



De wetenschappelijke input en langjarige meetresultaten van het VIC Zegveld geven de metingen en resultaten op de bedrijven van de deelnemers meer waarde (deze zijn maar van één jaar). Ze kunnen worden gebruikt als bekrachtiging van eerder getrokken conclusies en zijn voor de deelnemende boeren stimulerend om er mee door te gaan en het uit te dragen.

Er wordt gewacht op een droge zomer om het effect van droogte in combinatie met onderwaterdrainage te ontdekken. Onderwaterdrainage voorkomt een hol perceel.

Dat het netwerk een snaar geraakt heeft bij de deelnemers blijkt wel uit het feit dat ze na het beëindigen van het netwerk doorgaan met uitwisselen van gegevens en willen uitbreiden met hun areaal met onderwaterdrainage. Ook al zijn er nog onvoldoende gegevens bekend van hun percelen om het voordeel significant vast te stellen, willen ze door op basis van hun eerste indrukken en metingen van Tim van Noord.

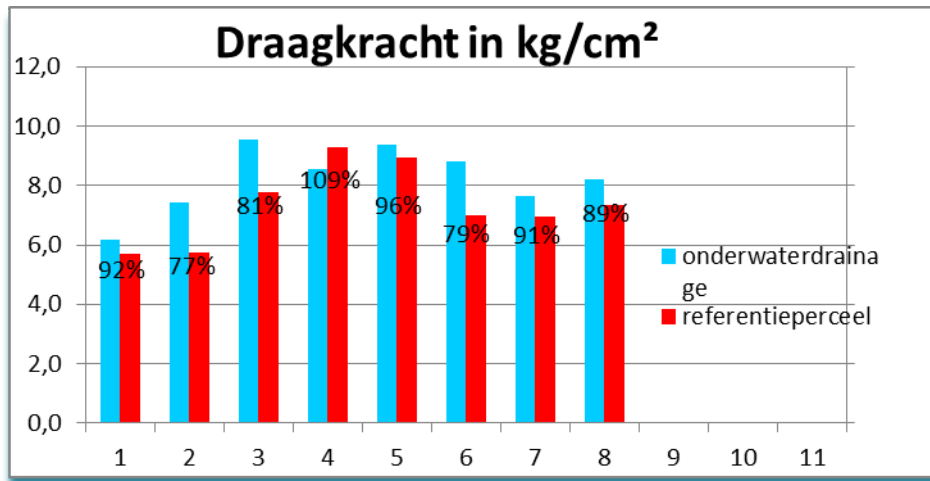
5.1.3 Welke praktijkkennis en informatie heeft dit project tot nu toe opgeleverd?

Dit project heeft een aantal nieuwe inzichten opgeleverd om te komen tot een goed gebruik van onderwaterdrainage. Hieronder staan de ervaringen die de netwerkdeelnemers zelf hebben aangedragen als de voor hun belangrijkste nieuwe (praktijk)kennis en informatie.

We hebben nieuwe inhoudelijke inzichten over onderwaterdrainage en de aanleg hiervan opgedaan. De belangrijkste lessen tot nu toe zijn:

- Onderwaterdrainage werkt: 35-45 cm drooglegging met onderwaterdrainage geeft even veel draagkracht als 60 cm drooglegging zonder onderwaterdrainage. Maar zorgt er wel voor dat de bodemdaling zakt van 11 mm per jaar naar 6 mm per jaar!
- De allerdiepste grondwaterstand in een jaar bepaalt de zakking.
- Meer dan twaalf meter uit elkaar draineren is te veel.
- De geschiktheid voor drainage kan uitgezocht worden met een infiltratie-proef (gat maken van 10*10 cm, water erin en kijken hoe lang het duurt voordat het water wegzakt/ hoe lang duurt het dan voordat oude grondwaterpeil weer bereikt wordt) en een weerstandsbepaling/ indringingsmeting met een conus.
- Draineren kost ongeveer 1500-1800 euro per ha bij zes meter afstand tussen de drains.
- Veenmosveen is veel slechter doorlatend dan bosveen.
- Door fluctuaties tussen droge en natte jaren zijn er meerdere jaren nodig om bodemdaling goed te kunnen meten.
- Peilbuizen zijn een goed hulpmiddel om de werking van onderwaterdrainage te controleren.
- Minder bodemdaling bij een perceel met een kleidek van 20 – 40 cm op veen komt vooral door het dunnere veenpakket dat aan zuurstof wordt blootgesteld (de bovenlaag van klei heeft geen last van afbraak!), niet door de beschermende werking van het kleidek.
- Er is een heel sterke relatie tussen de diepste grondwaterstand en bodemdaling (dit is ook de reden waarom onderwaterdrainage succesvol is).
- Een 10 cm minder diepste grondwaterstand zorgt al voor 3-4 mm. minder maaiveld daling.
- 1 mm maaiveld daling komt overeen met 2,26 ton CO₂/ ha (door oxidatie van het veen).
- Schuin draineren zorgt voor minder beschadiging van de zode bij het wegdraaien/ in een waaier draineren.
- Arjan van Diemen kon tijdens natte omstandigheden eerder op het gedraineerde perceel terecht, qua groei merkte hij nog niet zoveel (dit klopt ook met de onderzoeksgegevens). De opbrengst lijkt dus ongeveer gelijk te blijven.
- Marinus de Vries verwacht in de winter minder afsterven van graswortels door de betere ontwatering.
- Bij dynamisch peilbeheer hadden onderwaterdrains een verhogend effect op de zomergrondwaterstand en een verlagend effect op de wintergrondwaterstand.
- Daarbij had een kleinere drainafstand een groter effect.
- De grondwaterstanden bewegen mee met de verandering van het slootpeil, waarbij de reactie van de gedraineerde objecten groter is.
- De effecten zijn verschillend per perceel en dat komt vooral door de perceelbreedte oftewel de slootafstand; des te breder het perceel des te groter de invloed van de drains.
- Het meten van grondwaterstanden met peilbuizen gaat met vrij eenvoudige middelen prima. Ook het meten van de draagkracht van de grond met behulp van de penetrometer is snel en betrouwbaar.
- De metingen van Tim van Noord bekrachtigen de indruk van de deelnemers dat de draagkracht verbetert. Dit is vooral te merken in het voor- en najaar als er de periode van beweiding kan worden verlengd.
- Door onderwaterdrainage is het mogelijk om langer te beweiden en om meer kg drogestof per hectare te oogsten. Dit levert een financieel voordeel op.





Om het rendement van onderwaterdrainage voor melkveehouders te bepalen, is een rekensystematiek opgezet (zie ook 5.2.3). Er moet concreet gemeten worden hoeveel extra dagen weidegang mogelijk is en hoeveel voerkosten dit bespaart.

- Er zijn nog onvoldoende gegevens bekend over het onderhoud van drainage in veengrond. Na verloop van tijd wordt helder wat de jaarkosten zijn.
- Om drainage aan te leggen zijn diverse machines inzetbaar. Het gewicht van de machines is behoorlijk, maar door een groot contactoppervlak is de druk per cm^2 kleiner dan een pootafdruk van een koe.

Van de deelnemers van het praktijknetwerk is een enquête afgenomen. De antwoorden zijn in onderstaande tabel gegeven.

Antwoorden enquête praktijknetwerk onderwaterdrainage	
Voordelen van OWD	
1	Betere draagkracht
	Minder risico neerslag pieken
	Minder water in de greppels
2	Minder bodemdaling
	Vroeger er op met beweiden
	Langer beweiden (minder vertrapping)
	Langer behoud van de goede grassen
3	Vroeger in het voorjaar toegankelijk
	Meer opbrengst per hectare
	Flexibeler gebruik van perceel
	Maakt beweiden makkelijker
4	Minder plassen op het land
	Beter beweiden en maaien mogelijk
	Meer gras groei in dorge periode
5	Afremmen van maaiveld daling
6	Eerder in het voorjaar begaanbaar
7	Voorjaar betere draagkracht
	Minder werk om te greppelen
8	Eerder begaanbaar in het voorjaar
	Eerder de koeien in het perceel
9	Draagkracht
	Grasbestand beter
	Verlengd seizoen
Nadelen van OWD	
1	Sloot onderhoud ivm eindbuizen
2	Aanleg kosten
	Inklinking op de plek waar de drain ligt
	Bij de aanleg komen bomen boven
3	Nazakken sleuven
	Eindbuizen makkelijk beschadigen
4	Soms te voelen waar de drainage is
	Opletten met sloten en baggeren
5	Drempels in het land na aanleg
	Lastig met sloten als de buizen om de 6 meter liggen en de maaiak is 5 m
	Kosten en opbrengsten liggen te ver uit elkaar
6	Prijs
7	Geen waarneembaar voordeel in de zomer en herfst
	Bij sloten onderhoud goed aangeven waar drains lig
8	Kosten
	Eindbuizen controleren
9	Prijs
Aandachtspunten bij aanleg	
1	Doorlatendheid --> drain afstand
	Drainlengte
	Drooglegging onder greppels
2	Niet te lange drains
	Niet te ver uit elkaar
	Centraal beginnen in de sloot (gecentreerd)
	Eindbuizen goed zichtbaar
3	Goed zichtbare eindbuizen
	Op letten met sloten of als koe in de sloot zit
4	Markeren waar de eindbuizen liggen
	Bij eindpijp sloot op diepte houden
5	Goed stokken bij de buizen in de sloot zetten
6	Opletten met het opschonen van de sloot
7	Palen bij de eindpijp om het te kunnen vinden
8	Vaker baggeren
9	Eindbuizen markeren met sloot schoonmaken
Overige ervaringen	
1	Instream opening vrij houden
2	Geen
3	Drairange is vooral aan te raden bij natte percelen.
	In de winter 2011 met veel sneeuw was goed zichtbaar hoe goed het werkte.
	Wanneer het dooit bij de eindbuizen kan je water zien stromen onder het ijs
4	Je moet eigenlijk kunnen zien of er water in of uit gaat.
	Optie voor een vervolg.
5	Geen visueel verschil in draagkracht, wel in de draagkracht metingen
	Ik zou zelf wel nog een perceel aanleggen als het niet meer als 300-500 Euro kost.
	Ik doe het dan allen tegen maaiveld daling
	Eventueel vervolg of advies naar buurman:
6	Oplossing voor een perceel wat vrij plat of hol ligt
	Onder de greppel werkt het goed
	Zou het de buurman aanraden
7	Even afwachten op subsidie, als deze niet komt gaan we er zelf mee verder
	Goed om meer aan te leggen
8	Iedereen die je het uitlegd is positief, ook niet agrariers!
9	Ik zou het mijn buurman ook aanraden

Het netwerk heeft behoorlijk publiciteit gehad. Hieronder een overzicht.

Berichttype	Kernboodschap	Datum	Doelgroep
Nieuwsbericht VV	Grootschalige inzet van onderwaterdrainage op veengronden	19-05-2011	Allen
Nieuwsbericht VV	Onderwaterdrainage werkt!	05-07-2011	Allen
Nieuwsbericht VV	Aanleg proefvelden door Praktijknetwerk 'Onderwaterdrainage op veengrond'	02-09-2011	Allen
Nieuwsbericht VV	Onderwaterdrainage machine in ontwikkeling voor praktijknetwerk	20-09-2011	Allen
Nieuwsbericht VV	Feiten en cijfers over de (on)zin van onderwaterdrainage	22-11-2011	Allen
Presentatie pdf	Feiten en cijfers over de (on)zin van onderwaterdrainage	Najaar 2011	Allen
Artikel	Leg drains in al het veen	01-10-2011	Lezers Nieuwe Oogst
Nieuwsbericht VV	Metingen van Tim van Noord	Juli 2012	Allen
Nieuwsbericht VV	Aanleg drainage Noord Holland	Oktober 2012	Allen
Nieuwsbericht VV	Bodemdruk drainagemachines	November 2012	Allen
Groot artikel	Ervaringen met OWD en lessen vanuit de praktijk	Eind april 2013	Lezers Nieuwe Oogst

VV = website www.verantwoordeveehouderij.nl

5.2 Economische haalbaarheid van onderwaterdrains

Het doel van het onderzoek naar de haalbaarheid is om de betreffende melkveehouders in de Krimpenerwaard zo goed mogelijk te informeren over de gevolgen van toepassing van onderwaterdrains voor hun bedrijfsvoering. Vanaf het begin van het project zijn veehouders uit de Krimpenerwaard, maar ook daarbuiten, actief bij het project betrokken (zie 5.1 Onderwaterdrains in de praktijk: ervaringen en communicatie). Bij de pilot in de Krimpenerwaard, maar ook bij de twee pilots in de provincie Utrecht zijn in 2011 en 2012 de grasopbrengsten bepaald. Door het praktijknetwerk zijn draagkrachtmetingen verricht en is aan de betrokken veehouders gevraagd om hun ervaringen met onderwaterdrains en vooral hoeveel dagen extra kon worden beweide. Door Idse Hoving van Livestock Research zijn deze resultaten en resultaten uit eerdere proeven met onderwaterdrains (Hoving et al., 2008, 2011), gebruikt om een economische analyse te maken naar de haalbaarheid van toepassing van onderwaterdrains.

5.2.1 Graslandgebruik op natte veengrond

Hoge slootpeilen leveren aanzienlijke gebruiksbependingen op door natte omstandigheden. De draagkracht van de graszode is bij een neerslagoverschot snel beperkend voor het uitrijden van mest, voederwinning en beweiding. Daarbij wordt de grasproductie en de voederwaarde van gras beperkt door een hoger aandeel landbouwkundig matig of slecht gewaardeerde grasrassen. De relatief lange, smalle percelen in het veenweidegebied, met veelal één of meerdere greppels, staat het gebruik van grote landbouwmachines met een hoge capaciteit in de weg. Hierdoor zijn de loonwerkkosten relatief hoog en heeft zoveel mogelijk weiden de voorkeur. Een lager aantal staldagen bespaart kosten voor ruwvoerwinning en het uitrijden van drijfmest. In feite is hier sprake van een paradox; enerzijds bemoeilijkt vernatting de beweiding en anderzijds houdt beweiding de kosten laag.

Relatief erg natte percelen zijn alleen maar goed te benutten wanneer hier voldoende areaal met een grotere drooglegging tegenover staat, omdat dit in natte perioden uitwijkmogelijkheden biedt om vee te laten weiden. Ook geeft dit meer ruimte voor het selecteren van het gewenste grasaanbod (hoeveelheid en kwaliteit) voor het weiden van het melkvee, wat belangrijk is voor het op peil houden van de melkproductie.

Vanuit het oogpunt van goede landbouwpraktijk is het van belang dat veehouders het uitrijden van mest onder natte omstandigheden zoveel mogelijk voorkomen en ernaar streven om meststoffen zo goed mogelijk te benutten. Met de huidige bandentechniek en het gebruik van een sleepslangmachine is een geringe draagkracht van de graszode steeds minder een belemmering om onder natte

omstandigheden mest uit te rijden. Dit geeft zeker in het vroege voorjaar echter een vergroot risico op afspoeling van mest naar het oppervlaktewater. Daar waar bedrijven relatief veel natte percelen hebben is er minder gelegenheid om gunstige omstandigheden af te wachten en wordt ook mest onder minder gunstigere omstandigheden uitgereden. Verliezen zijn zowel nadelig voor de melkveehouder als de waterkwaliteit.

5.2.2 Onderwaterdrains verbeteren graslandgebruik en benutting nutriënten

De drainerende werking van onderwaterdrains komt ten goede aan de draagkracht van de graszode en daarmee aan de gebruiksmogelijkheden van het grasland. Daarbij geven drogere omstandigheden minder risico op afspoeling van meststoffen naar het oppervlaktewater en is er meer gelegenheid om mest te geven op het moment dat dit gewenst is.

Veldproeven op Veenweide Innovatie Centrum Zegveld (Hoving et al., 2008) en polder Zeevang (Hoving et al., 2011) toonden aan dat er netto geen verhogend effect was op de grasproductie. Wel was er een verlagend effect van drainage op de stikstofopbrengst van enkele kilo's per ha. Dit effect werd gecompenseerd door een betere stikstofbenutting uit mest, waardoor de grasopbrengsten ongeveer gelijk bleven. De duur van de veldproeven was relatief kort (Zegveld en Zeevang respectievelijk vier en twee jaar), waardoor geen toename van het aandeel goede grassen onderwaterdrains bepaald werd. Op langere termijn kan wel een lichte verbetering van de botanische samenstelling optreden en daarmee een productieverhoging. In de veldproeven waren de bemestingstijdstippen gelijk. Als in de praktijk echter door een verbeterde draagkracht eerder bemest kan worden neemt het aantal groeidagen toe en daarmee de grasproductie.

5.2.3 Economie onderwaterdrains

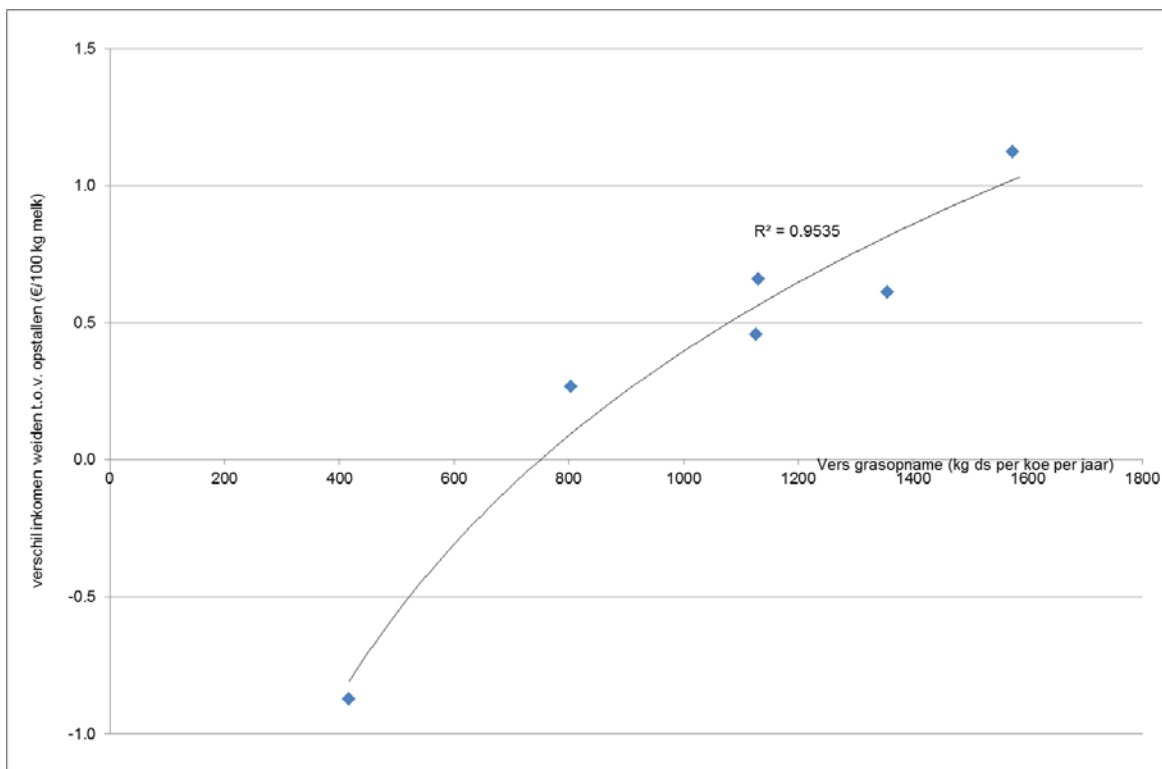
Vernatting heeft een aanzienlijk negatief effect op het technische en economisch bedrijfsresultaat, als subsidiemogelijkheden voor agrarisch natuurbeheer en- of weidevogelbeheer buiten beschouwing worden gelaten. In een studie uitgevoerd voor het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (De Vos et al., 2004) is voor het peilgebied Zegveld - Oud-Kamerik het effect van peilveranderingen doorgerekend en is een vergelijking gemaakt met een vergelijkbaar optimaal ontwaterd (geen nat- of droogteschade; 100% gras) melkveebedrijf op kleigrond. De bedrijfsberekeningen, die werden uitgevoerd volgens de Waterpas-methodiek (De Vos et al., 2006), lieten voor het bedrijf op veengrond een jaarlijkse gemiddelde vermindering van het netto bedrijfsresultaat zien van 222 €/ha/jaar bij een peilverhoging van 60 cm naar 40 cm onder maaiveld. Daarbij werd de variatie in bedrijfsresultaten groter, dit wijst op een verhoogd bedrijfsrisico bij het verhoogde peil. Het bedrijf op kleigrond had een 388 €/ha/jaar hoger netto jaarlijks bedrijfsresultaat dan het bedrijf op veengrond bij een slootpeil 60 cm onder maaiveld.

Het economisch resultaat van een melkveebedrijf op veengrond is hoger naarmate het aandeel percelen met een voldoende drooglegging groter is. Daarbij geeft beweiding in het algemeen een beter resultaat dan opstallen. Aangezien graslandgebruik, voeding, melkproductie en nutriëntenbeschikbaarheid binnen een bedrijf nauw aan elkaar gerelateerd zijn, heeft het sterk de voorkeur effecten in bedrijfsverband te berekenen. Hiertoe is het Bedrijfs-Begrotings-Programma-Rundveehouderij (BBPR) ontwikkeld door Livestock Research van Wageningen UR (Schils et al., 2007). Als de interesse uitgaat naar het verschil in bodemhydrologische situaties, dan worden effecten berekend volgens het Waterpasinstrumentarium (De Vos et al., 2006). Daarbij wordt BBPR gevoed met drukhoogten (midden wortelzone), die worden berekend met het hydrologisch model SWAP. Gezien de beperkte omvang van de studie was het echter niet mogelijk om het effect van onderwaterdrains met BBPR te berekenen.

In het onderzoek naar het effect van onderwaterdrains in polder Zeevang (Hoving et al., 2008) is wel voor een praktijksituatie een modelmatige economische bedrijfsberekening uitgevoerd met Waterpas. Het ging hier echter om een situatie, waarbij zowel de drooglegging vergroot werd van 20 naar 60 cm - mv als het toepassen van onderwaterdrains. Uitsluitend peilverlaging leverde een kostenreductie op van 208 euro per ha en peilverlaging met onderwaterdrains leverde een kostenreductie op van 247 euro per ha. Exclusief de jaarlijkse kosten voor drains bedroeg het verschil dus 39 euro per ha per

jaar. Bij een investering in drainage van 1800 euro per ha met 6,5% jaarkosten bedragen de jaarlijkse kosten 117 euro per ha per jaar. Het saldo zou zodoende een verlies van 78 euro bedragen. De uitkomsten zijn echter zeer sterk afhankelijk van de voerprijzen en loonwerktarieven. Bij de huidige hoge prijzen en tarieven is het verschil veel minder negatief. Ook zal bij een geringere drooglegging van 40 cm - mv, met een groter drainerend effect van onderwaterdrains, het economisch voordeel groter zijn.

Als alternatief voor een modelmatige bedrijfsberekening met Waterpas is het economisch voordeel van onderwaterdrains berekend uit een hogere grasbenutting en extra weidedagen.



Figuur 5.1 Arbeidsopbrengst weiden ten opzichte van opstallen in relatie tot de hoeveelheid vers gras opname in kg droge stof per koe per jaar voor veengrond, uitgaande van de mestwetgeving op basis van 2013 met een aanscherping van de fosfaatsnormen van 5 kg per ha. De melkproductie-intensiteit varieerde van 15.000 tot 30.000 kg melk per ha per jaar.

Voederwinning is relatief duur ten opzichte van weiden, door relatief hoge kosten van machines, de benodigde arbeid en de kosten voor brandstof, die steeds hoger worden. In Van den Pol et al. (2013) is het effect op het arbeidsopbrengst (euro per 100 kg melk) berekend van de hoeveelheid vers gras die per melkkoe per jaar met weidegang wordt opgenomen (zie figuur 5.1). Hierbij werd weiden vergeleken met het op stal houden van melkvee en jongvee.

Gerekend is met drie relatief hoge productie-intensiteiten van 15.000, 22.500 en 30.000 kg melk per ha. Daarbij was voor de laagste intensiteit bij opstallen de zelfvoorzieningsgraad van ruwvoer 100%. Voor de basis bedrijfssituaties was het aantal koeien 140 (125 melkgevend) en bedroeg de melkproductie 8500 kg per koe per jaar. Daarbij zijn varianten doorgerekend met een lagere melkproductie (7500 kg), maisteelt en het gebruik van een automatisch melksysteem. De bedrijfsvarianten zijn berekend voor zowel weiden als opstallen. Bij weiden was de melkproductie 100 kg per koe lager en er is gerekend met extra arbeid. Bij opstallen is gerekend met 15% lagere loonwerktarieven, omdat veelal het grasland efficiënter te bewerken is. De beweidingsverliezen waren hoger naarmate de koppelgrootte groter was. In de berekeningen is uitgegaan van het mestbeleid van 2013 met een aanscherping van de fosfaatsnormen met 5 kg per ha.

Op basis van dezelfde modeluitkomsten is een vergelijkbare relatie berekend voor de arbeidsopbrengst uitgedrukt in euro per ha ($y = 372,14 * \ln(x) - 2493,8$). Met deze relatie is het effect van onderwaterdrains op het economisch bedrijfsrendement benaderd.

Het economisch voordeel van weiden ten opzichte van opstallen betreft een logaritmische functie, waardoor het effect bij een hoge vers grasopname (onbeperkt weiden met geringe bijvoeding) kleiner is dan het effect bij een lage vers grasopname (beperkt weiden met veel bijvoeding). In tabel 5.1 staat per 200 kg droge stof hogere vers grasopname per koe per jaar in de range van 800 tot 1800 kg het economisch voordeel weergegeven in euro per ha.

Tabel 5.1

Voordeel weiden ten opzichte van opstallen (€/ha).

Verhoging opname vers gras (kg ds/koe/jaar)		Voordeel arbeidsinkomen (€/ha)
van	tot	
800	1000	83
1000	1200	68
1200	1400	57
1400	1600	50
1600	1800	44

De belangrijkste uitgangspunten om het economisch voordeel van onderwaterdrains te kwantificeren zijn de investeringskosten, de extra grasgroei en het aantal extra weidedagen die onderwaterdrains voor een bedrijfssituatie opleveren. Het aantal extra weidedagen wordt volgens het praktijknetwerk onderwaterdrains ingeschat op dertig dagen. Vervolgens hangt het van de beweidingintensiteit af in hoeverre de extra dagen in een hogere grasopname tot uiting komen. Voor drie beweidingssystemen is de dagelijkse vers grasopname per koe ingeschat en is de totale vers gras opname berekend voor een situatie met en zonder onderwaterdrains. In tabel 5.2 staan de resultaten.

De kosten en baten zijn uitgewerkt in tabel 5.3. De kosten betreffen een investering in drainage van 1800 euro per ha met 6,5% jaarkosten. De baten zijn extra grasproductie door het eerder bemesten van de eerste snede in het vroege voorjaar en extra weidedagen. Ingeschat is dat de extra grasproductie 500 kg droge stof per ha bedraagt. Het voordeel van de extra weidedagen is berekend door de hoeveelheden uit tabel 5.2 te vertalen naar arbeidsinkomen per ha.

Tabel 5.2

Vers grasopname per koe en totaal met en zonder onderwaterdrains per beweidingssysteem.

	Koe (kg ds/dag)	Groei seizoen (kg ds /ha)		
		Zonder onderwaterdrains 150 dagen	Vershil 30 dagen	Met onderwaterdrains 180 dagen
Zeer beperkt weiden	6	900	180	1080
Beperkt weiden	9	1350	270	1620
Onbeperkt weiden	12	1800	360	2160

Tabel 5.3

Economisch voordeel onderwaterdrains (€/ha).

Kosten		
Investing onderwaterdrainage	(€/ha)	1800.00
Jaarkosten 6,5% per 20 jaar	(€/ha)	117.00
Baten		
Extra grasbenutting	(kg ds/ha)	500
Besparing kosten aankoop maïs	(€/ha)	80.00
Voordeel voederwaarde weidegras	(€/ha)	23.15
Voordeel extra weidedagen	30 (€/ha)	67.85
Totaal voordeel	(€/ha)	171.00
Verschil	(€/ha)	54.00

Het verschil tussen wel en geen onderwaterdrains is het economisch voordeel en dat was voor de drie beweidingssystemen 68 euro per ha. Het uiteindelijke verschil tussen kosten en baten bedraagt 54 euro per ha op basis van de actuele tarieven volgens KWIN (2012). Dit is inclusief extra grasopbrengst die in de veldproeven niet werd aangetoond. Mocht er inderdaad geen sprake zijn van opbrengstverhoging, dan moet het aantal extra weidedagen ten minste 60 bedragen, of te wel twee maanden. Praktisch zou dit betekenen dat het groeiseizoen een maand vroeger zou moeten beginnen en een maand later zou moeten eindigen. In tabel 5.4 is het economisch voordeel van extra weidedagen nader gekwantificeerd.

Tabel 5.4

Effect aantal extra weidedagen op het arbeidsinkomen (euro per ha).

Extra dagen	Bedrag (€)
10	24
20	47
30	68
40	88
50	107
60	125

Het berekende voordeel van 54 euro per ha bij 500 kg drogestof-verschil in netto grasopbrengst en 30 extra weidedagen geldt voor een gemiddelde weerssituatie. In het algemeen wordt door het gebruik van onderwaterdrains de variatie in bedrijfsuitkomsten tussen weerjaren kleiner. Het risico voor extremere weerssituaties wordt zodoende kleiner.

6 Verwerking en evaluatie resultaten met modelonderzoek

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het veldonderzoek beschreven zoals dat met modellen is geïnterpreteerd en geanalyseerd. Voor water gaat het dan expliciet om het model SWAP en voor waterkwaliteit om modellencombinatie SWAP-ANIMO (zie verder paragraaf 2.2).

6.1 Water

In deze paragraaf wordt eerst de situatie van de meetperiode besproken. Vervolgens worden resultaten gepresenteerd van scenarioberekeningen voor extreme weersituaties als hevige neerslagbuien en zeer droge en natte jaren.

6.1.1 Analyse veldonderzoek

De analyse van het veldonderzoek begint met de kalibratie van SWAP op de meetgegevens van grondwaterstanden en in- en uitgepompte debieten. Kalibratie is enerzijds belangrijk om een voor de veldsituatie geïjkt model te krijgen waarmee verdere analyses en scenarioberekeningen kunnen worden gedaan, en anderzijds om de meetgegevens op kwaliteit te beoordelen. In feite is SWAP een dynamische waterbalans die onrealistische balanst termen kan aantonen. Dit heeft tot correctie van meetresultaten geleid.

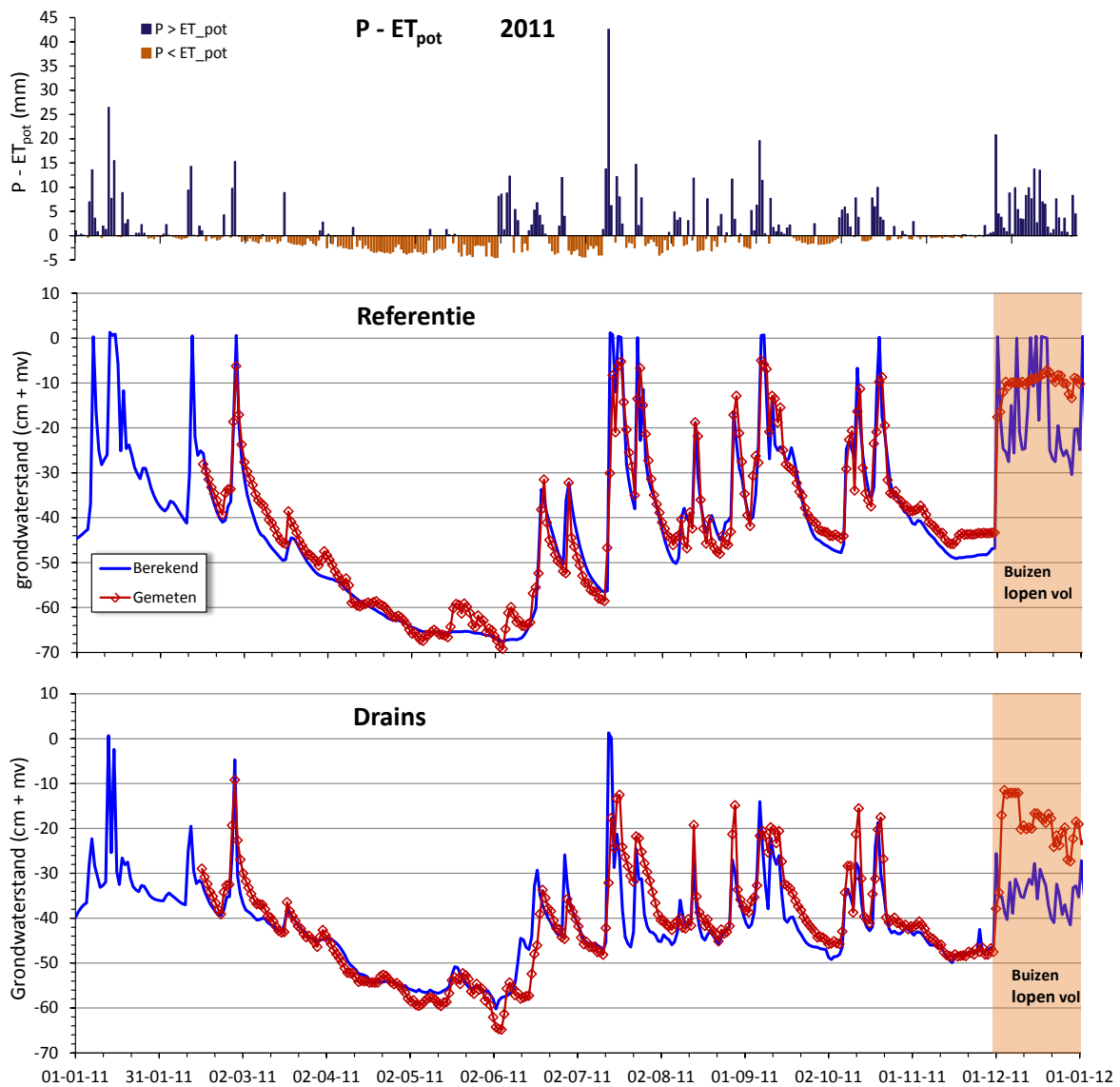
6.1.1.1 Kalibratie SWAP

In de figuren 6.1 en 6.2 is de kalibratie van de veldgemiddelde **grondwaterstanden** getoond. De berekende RMSE's (*Root Mean Squared Error*), de statistische parameter die de grootte van de gemiddelde afwijking tussen berekende en gemeten waarden aangeven (zie 2.2.3), zijn samengevat in tabel 6.1. Deze zijn allemaal lager dan 7 cm en dit geeft een goed resultaat aan. Een vuistregel is dat voor perceelonderzoek een waarde kleiner dan 10 cm acceptabel is. Te zien is dat de vorstperiode de RMSE sterk heeft verhoogd. Volgens waarnemingen van de veldwerkers heeft deze vorstperiode de metingen nadelig beïnvloed in de zin dat onrealistische grondwaterstanden worden gemeten. De zeer natte periode eind 2011 geeft een vreemd grondwaterstandenpatroon met standen die lang hoog blijven hangen met een vreemd vlak verloop. In deze periode is waarschijnlijk opgetreden wat vaker is geconstateerd: de buizen, die voor mogelijke vertrapping door vee zijn ingegraven onder een tegel, lopen bij plasvorming van bovenaf vol. Deze periode is daarom uit de RMSE-berekeningen gelaten.

Tabel 6.1

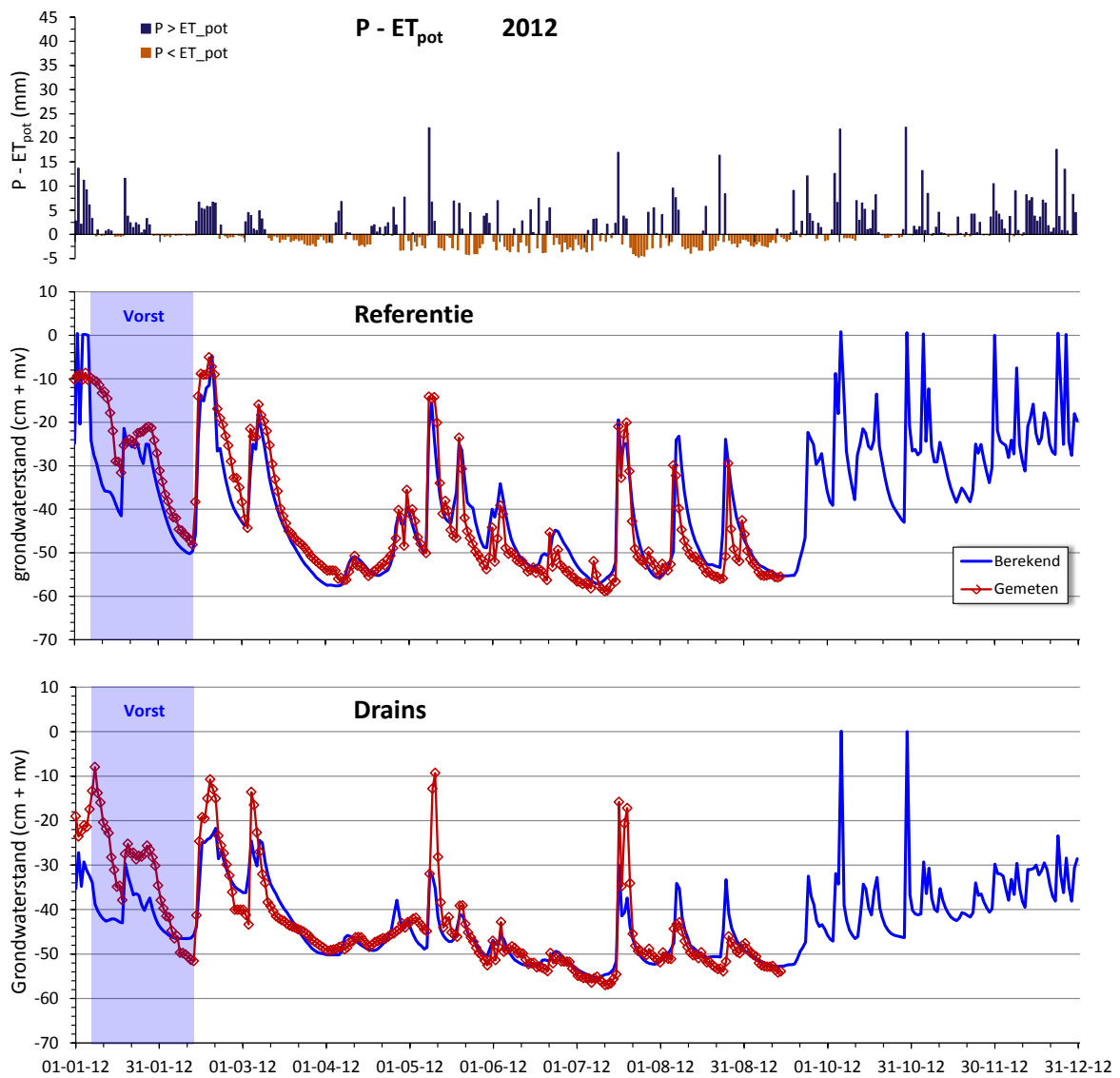
RMSE (Root Mean Squared Error, in cm) als maat voor de afwijking tussen gemeten en gesimuleerde veldgemiddelde grondwaterstanden voor de proefvelden. 'Zonder vorst' is met weglating van de vorstperiode in 2012.

Jaar	Referentie		Drains	
	met vorst	zonder vorst	met vorst	zonder vorst
2011	4,9	-	5,3	-
2012	6,5	5,3	6,9	4,9
Gemiddeld	5,6	5,1	6,0	5,1



Figuur 6.1 Resultaten van de kalibratie van SWAP als vergelijking van berekende met gemeten, veldgemiddelde grondwaterstanden voor het jaar 2011, voor Referentie en Drains. De ingekleurde vlakken geven perioden aan waarin de metingen van de grondwaterstanden onbetrouwbare resultaten gaven door het vollopen aan de bovenkant bij water op het maaiveld. In de bovenste grafiek is het neerslagoverschot uitgezet als neerslag (P) minus referentiegewasverdamping (ET).

De resultaten van de kalibratie in termen van parameterwaarden zijn weergegeven in tabel 6.2. Eén van de resultaten was dat naast de drainage via de sloot en de drains ook *interflow*, een snelle ondiepe laterale uitstroming door de top van het profiel, nodig was om het nogal afgetopte verloop van de grondwaterstanden in natte tijden te simuleren. Dit is een algemeen bevinding bij modellering van grondwaterstanden in veenweiden. Vaak vormt een greppel een alternatief voor het 'aftoppen' van de grondwaterstandspieken. Deze was bij de proefpercelen niet aanwezig. De drainageweerstand van 48 dagen en infiltratieweerstand van 56 dagen voor de drains zijn bijna twee keer zo groot als de weerstanden op theoretische gronden gekozen in de Onderwaterdrainswaterkwaliteitsstudie (Hendriks en Van den Akker, 2012) van respectievelijk 26 en 30 dagen. Dit impliceert dat de drains minder snel water kunnen afvoeren en aanvoeren dan in genoemde studie.



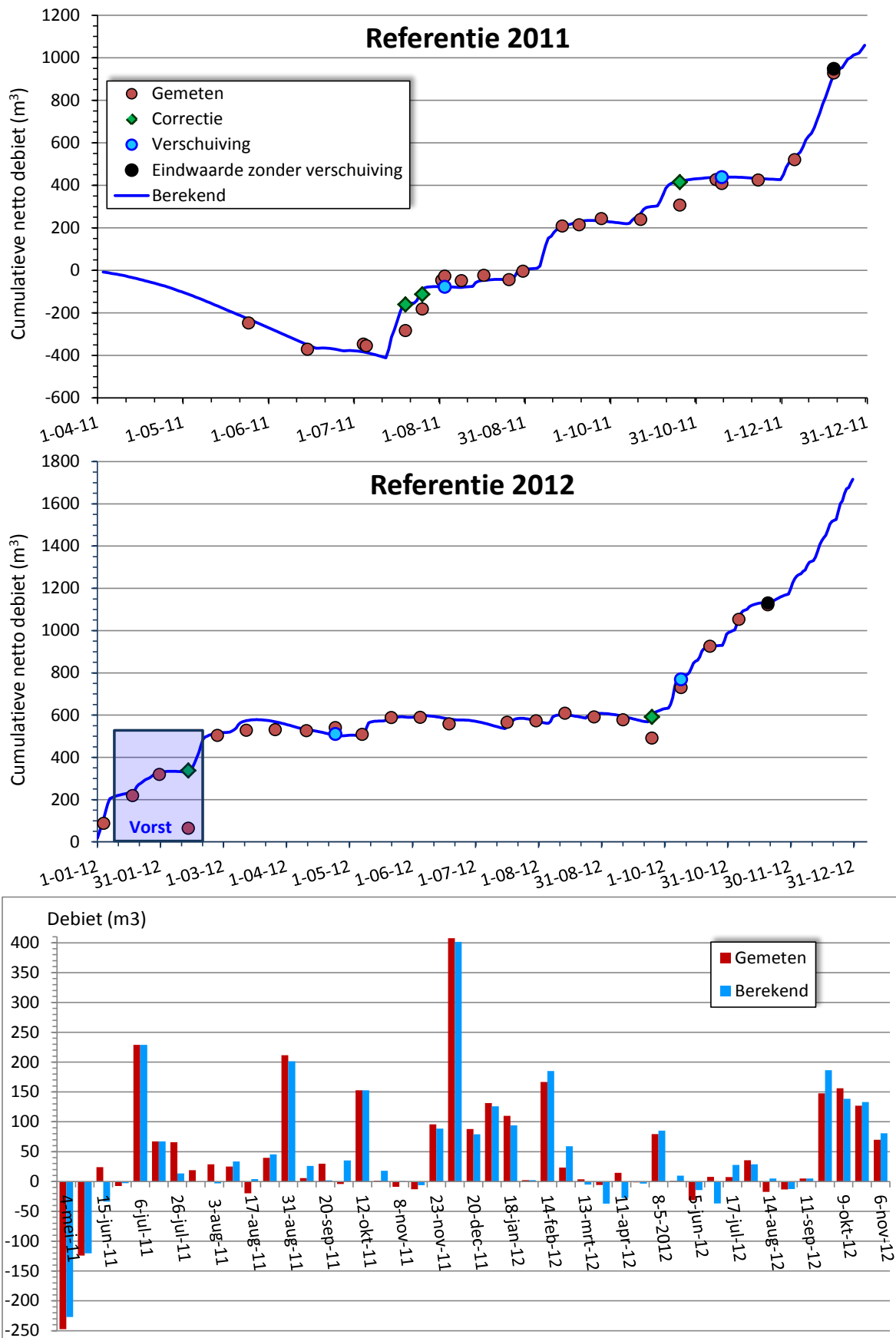
Figuur 6.2 Resultaten van de kalibratie van SWAP als vergelijking van berekende met gemeten, veldgemiddelde grondwaterstanden voor het jaar 2012, voor Referentie en Drains. De ingekleurde vlakken geven perioden aan waarin de metingen van de grondwaterstanden onbetrouwbare resultaten gaven door vorst. In de bovenste grafiek is het neerslagoverschot uitgezet als neerslag (P) minus referentiegewasverdamping (ET).

Tabel 6.2

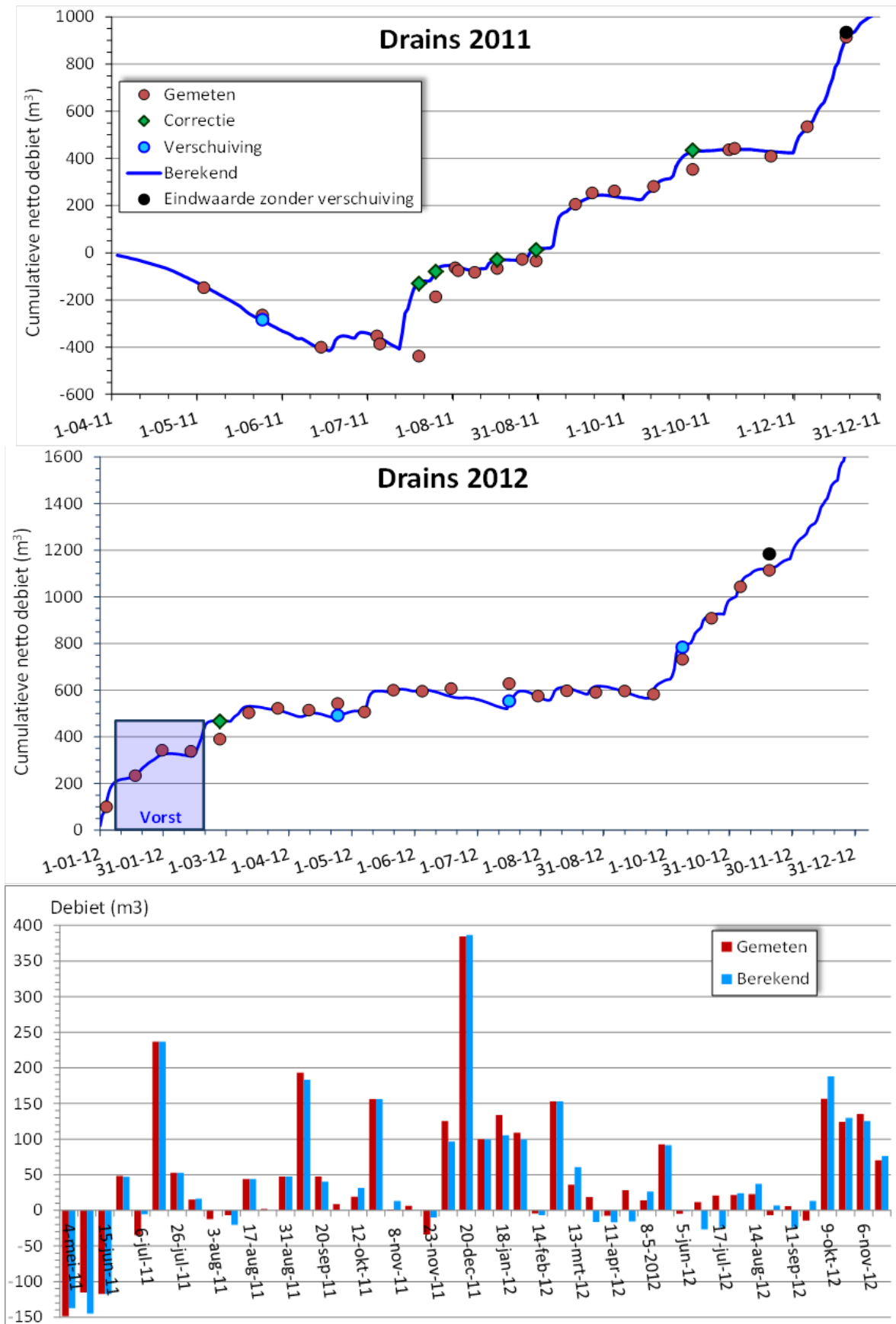
Gekalibreerde weerstanden van SWAP voor de vier gebruikte drainagemiddelen en voor de weerstand voor verticale stroming over de onderrand bij kwel/wegzijing van de proefpercelen. Alle waarden in dagen. De drempelwaarde voor runoff (oppervlakkige afstroming) tussen haakjes in mm.

Proces	Sloot	Drains	Interflow	Runoff	Verticale stroming
Drainage	180	48	7,1	1 (drempel: 4,3 mm)	–
Infiltratie	200	56	–	–	–
Kwel/wegzijing	–	–	–	–	800

In figuren 6.3 en 6.4 zijn de resultaten van de kalibratie tegen de op basis van **debietmetingen** samengestelde netto bodemuitwisselingsdebieten gegeven. Tabel 6.3 geeft de RMSE's als maat voor afwijking tussen berekende en uit metingen afgeleide waarden.



Figuur 6.3. Kalibratie van SWAP tegen uit metingen afgeleide netto drainage/infiltratie-debieten voor Referentie. Boven de vergelijking met de gecumuleerde 'gemeten' en berekende debieten voor beide meetjaren. Beneden de afwijkingen tussen 'gemeten' en berekende debieten per meetperiode. Hierin zijn gecorrigeerde waarden niet opgenomen (op 0 gezet).



Figuur 6.4 Kalibratie van SWAP tegen uit metingen afgeleide netto drainage/infiltratie-debieten voor Drains. Boven de vergelijking met de gecumuleerde 'gemeten' en berekende debieten voor beide meetjaren. Beneden de afwijkingen tussen 'gemeten' en berekende debieten per meetperiode. Hierin zijn gecorrigeerde waarden niet opgenomen (op 0 gezet).

Tabel 6.3

Statistische maten van de kalibratie van SWAP tegen de uit metingen afgeleide drainage/infiltratie-debietten van de proefpercelen. De RMSE geeft de afwijking tussen berekend en 'gemeten'. De andere drie maten gelden voor 'gemeten' en betreffen de gehele meetperiode.

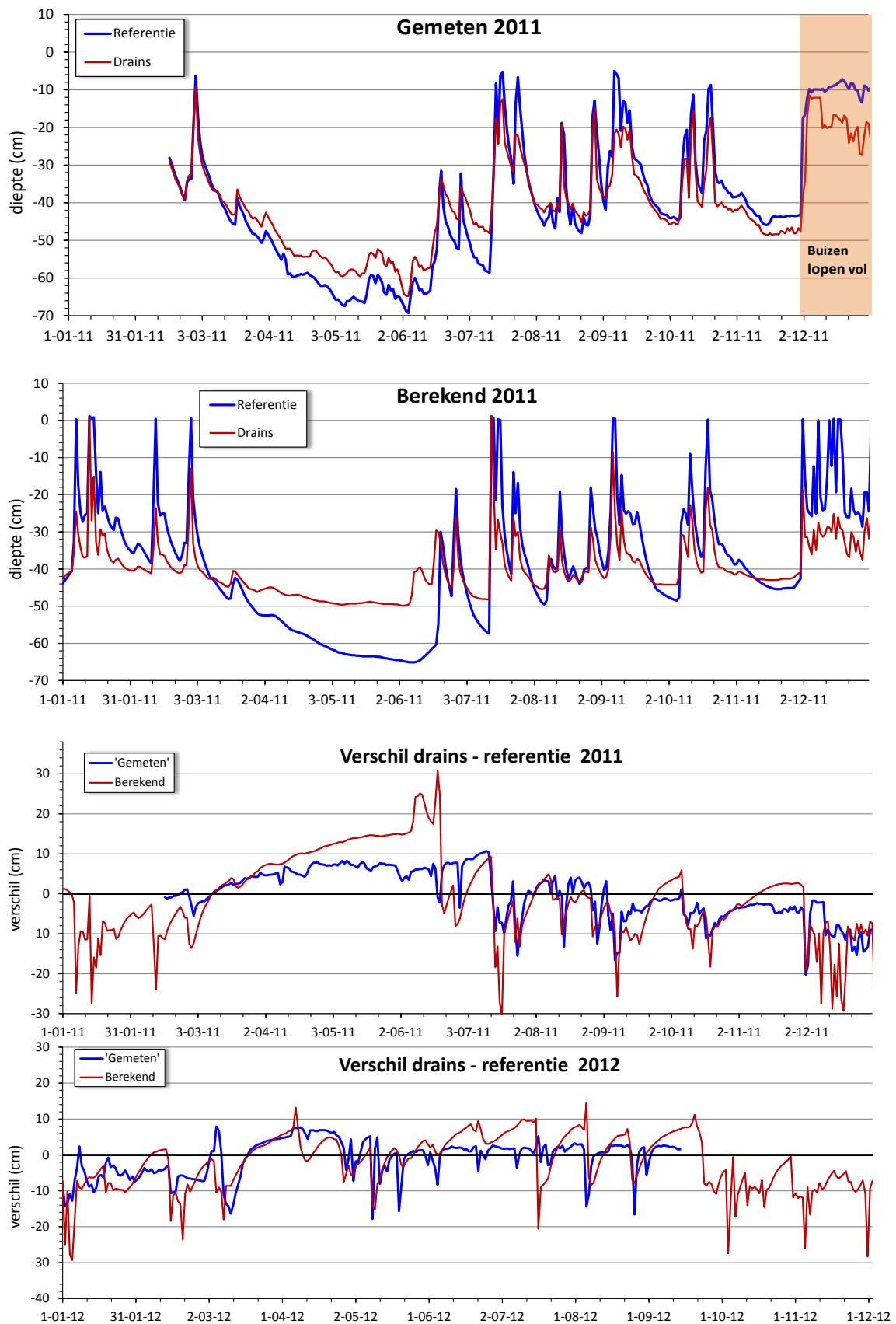
Proefperceel	Totale debiet (m ³)	Gemiddelde debiet (m ³)	Standaard- Afwijking (m ³)	RMSE (m ³)	RMSE ten opzichte van:		
					Totale debiet (%)	Gemiddelde (-)	Standaardafw. (-)
Referentie	2079	107	171	22	1,1	0,21	0,13
Drains	2118	108	199	23	1,1	0,21	0,14

De groene ruitjes in de figuren geven de perioden aan waarop een correctie van de weergegeven gemeten debieten gerechtvaardigd was. In de grafiek van de cumulatieve debieten zijn deze waarden gecorrigeerd door ze op de curve te plaatsen (ruitjes) zodat het vervolg van de cumulatieve reeks van rode bolletjes weer voor zijn eigen verloop met de berekende lijn kan worden vergeleken. De fout geldt immers voor de betreffende periode en mag niet doorwerken in de reeks daarna. Iets dergelijks is gedaan met de blauwe bolletjes waar (sterk) afwijkende perioden zijn teruggeschoven naar de lijn van berekeningen zodat de daarna volgende reeks bolletjes weer beter kan worden vergeleken met de lijn van de berekeningen. Dit is alleen gedaan voor de visuele vergelijking. De betreffende afwijkingen zijn wel zichtbaar in de staafdiagrammen van de vergelijkingen per periode en ze zijn meegenomen in de RMSE-berekeningen. Het zwarte bolletje aan het einde van het jaar geeft aan waar de cumulatieve reeks van 'gemeten' debieten eindigt als de 'verschuivingen' niet zijn aangebracht, maar de correcties wel. In die zin is de afwijking tussen zwart bolletje en de berekende lijn de cumulatieve afwijking tussen berekend en gemeten voor het jaar als de correcties zijn toegepast, oftewel de onbetrouwbare meetperioden zijn geëlimineerd.

De RMSE als maat voor de afwijking tussen 'gemeten' en 'berekend' is bij Referentie en Drains nagenoeg even groot: beide varianten zijn even goed gesimuleerd. De RMSE's zijn in vergelijking met de gemiddelden van de absolute, netto debieten en de bijbehorende standaardafwijkingen zeer acceptabel. Ten opzichte van het totale netto debiet zijn ze verwaarloosbaar. De afwijking tussen totaal einddebiet 'gemeten' (zwarte bolletjes) en 'berekend' bedraagt voor Referentie in 2011 2%, voor 2012 1% en gemiddeld 1,5% onderschatting door het model, en voor Drains 2%, 6% en gemiddeld 4% onderschatting. De netto afvoer/aanvoer vanuit/naar de veenbodem is daarmee goed gesimuleerd.

De grootste afwijking tussen 'gemeten' en 'berekend' is zowel voor Referentie als Drains op 20 juli 2011. Ook opvallend is dat de afwijking bij Drains hierbij met 310 m³ veel groter is dan bij Referentie met 120 m³. Oorzaak is dat de peilen in de meetsloten, maar vooral in die van Drains, zo hoog werden dat de landbouwer water uit beide sloten heeft gepompt. Deze hoeveelheden zijn niet geregistreerd. Hetzelfde geldt voor 26 juli en 26 oktober 2011. In de periode van 6 t/m 20 juli viel 104 mm neerslag en van 21-26 juli nog eens 32 mm. In de periode 11-25 september 2012 viel 41 mm en is bij Drains netto uitpompen geregistreerd, maar bij Referentie netto inpompen. Dat laatste is bij deze neerslaghoeveelheid niet realistisch. Dit rechtvaardigt de aangebrachte correctie bij Referentie.

Omdat het gaat om netto debieten, dus uit- en ingaand met elkaar verrekend, heeft het weinig zin om de cumulatieve waarden van referentie en drains met elkaar te vergelijken. Voor beide jaren zijn de cumulatieve waarden van Drains iets kleiner dan die van Referentie. Dit is tegen de verwachting, maar wordt veroorzaakt doordat bij Drains het optreden van op en neer pendelen van water niet zichtbaar wordt in een netto benadering. Bovendien is het oppervlak van het afwateringsgebied bij Drains 10% kleiner dan dat van Referentie (4030 tegen 4500 m²). Een vergelijking tussen uitstroming uit/af de bodem en infiltratie in de bodem apart is dan beter. Figuur 6.6 toont deze vergelijking.



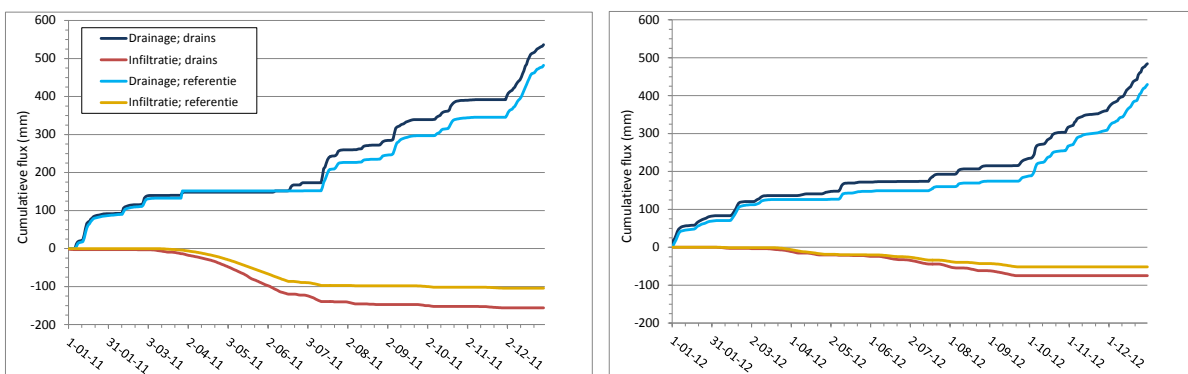
Figuur 6.5 Verschil in veldgemiddelde grondwaterstand tussen Referentie en Drains zoals afgeleid uit de metingen op de twee aparte proefvelden en zoals berekend voor gemiddelde omstandigheden met SWAP.

6.1.1.2 Bepalen toestand in de meetperiode

Figuur 6.5 toont het verschil in **grondwaterstand** tussen de situatie met en zonder drains als met minus zonder. Dit is gedaan voor zowel de metingen als de berekeningen. De berekeningen zijn gedaan voor de gemiddelde waarden van maaiveldhoogten en slootpeilen van beide behandelingen. De modelberekeningen waren noodzakelijk voor dit proces, ook voor de vergelijking tussen de metingen. Referentie en drains betreffen twee perceelsdelen die verschillen in verloop van het maaiveld en exacte hoogte t.o.v. NAP. Dit heeft effect op verschillende hydrologische processen. Alleen via de modelberekeningen (of een verantwoorde statistische benadering met een voldoende aantal herhalingen) is een effectieve gemiddelde maaiveldhoogte per perceel af te leiden en wordt vergelijking van het grondwaterstandsverloop tussen beide percelen goed mogelijk. Het gaat hier om verschillen in grondwaterstand die kleiner of in dezelfde orde van grootte zijn als de verschillen in maaiveldhoogte (10 cm). En dat geldt zeker bij deze twee meetjaren vanwege de natte zomers. Ook het verschil in het verloop van het slootpeil in de aparte meetsloten maakt directe vergelijking van de twee behandelingen moeilijk. Aan beide benaderingen - metingen en modellen - kleven nadelen. Samen geven ze een genuanceerder beeld. Gemiddeld gezien schat het model de effecten van drains iets gunstiger in.

Vanuit het hoofddoel van onderwaterdrains - in droge tijden bevorderen van infiltratie van water de veenbodem in - zijn de positieve verschillen, wanneer de grondwaterstand bij Drains in de droge periode hoger is dan die bij Referentie, het interessants. Het grootste verschil in deze zin is een 30 cm hogere grondwaterstand bij Drains op 19 juni 2011. Deze uitschieter is het gevolg van een snelle reactie van de drains op een grote regenbui. Deze situatie negerend is het vernattend effect van drains in een droge periode 10 ('gemeten') tot 15 cm (model).

Bij de toename van de drainage in natte perioden zijn het vooral de pieken in de grondwaterstand bij hevige neerslag die met drains beter verwerkt kunnen worden dan zonder. Ook voor deze situatie zijn de modelvoorspellingen wat gunstiger: een maximum verlaging van 30 cm tegen 20 cm in de metingen. Wel blijkt ook uit de metingen dat de drains de piekmomenten van grondwaterstanden goed kunnen opvangen door hun betere drainerende werking dan die van de sloot.



Figuur 6.6 Berekende cumulatieve drainage en infiltratie (negatief) voor Referentie en Drains bij gelijke maaiveldhoogte en slootpeilen voor beide behandelingen in mm per landoppervlak. Links 2011, rechts 2012.

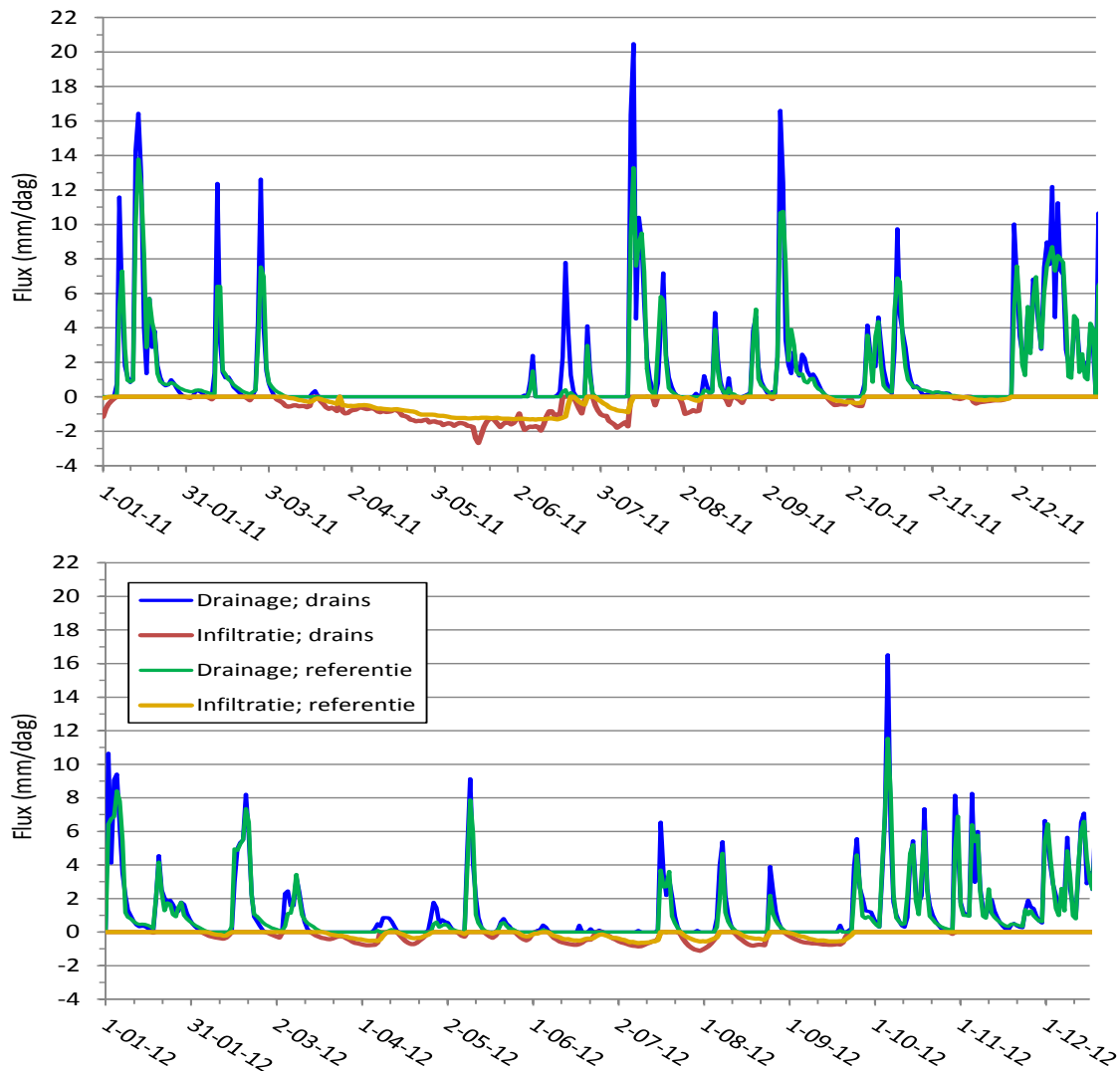
Figuur 6.6 laat de met SWAP berekende cumulatieve **drainage- en infiltratiefluxen** zien en de verschillen hierin tussen Referentie en Drains. In tabel 6.4 zijn de jaartotalen samengevat. Het gaat hier ook om de berekeningen met gemiddeld maaiveld en slootpeil. De procentuele verschillen liggen voor beide jaren dicht bij elkaar. Voor infiltratie zijn de procentuele verschillen tussen Referentie en Drains een factor 3-5 groter dan voor drainage. Relatief gezien hebben de drains een groter effect op de infiltratie van slootwater dan op de drainage. In een wat droger jaar als 2011 is het effect op infiltratie in absolute zin zelfs gelijk aan dat op drainage: ca. 50 mm. Het beoogde effect van onderwaterdrains, vergroten van de infiltratie, wordt in die zin dus wel waar gemaakt. De drains leiden tot een snellere en grotere infiltratie en drainage dan bij Referentie.

Tabel 6.4

Berekende totale drainage en infiltratie in 2011 en 2012 vergeleken tussen Referentie en Drains bij gelijke maaiveldhoogte en slootpeilen voor beide behandelingen, in mm per landoppervlak.

Proefperceel	Drainage (mm)		Infiltratie (mm)	
	2011	2012	2011	2012
Referentie	486	430	104	52
Drains	539	484	156	75
Vershil	53 (11%)	54 (13%)	52 (50%)	23 (44%)

Voor de waterbeheerder is ook het effect van drains op het waterbeheer in termen van piekafvoeren van belang. Voor 'piekaanvoeren' geldt dit minder, omdat de urgentie minder groot is. Overtollig water moet tot op zekere hoogte kunnen worden afgevoerd, om grote overlast te voorkomen. In figuur 6.7 zijn de berekende verhogingen van de pieken in de drainage en de infiltratie getoond. Hierbij moet met nadruk worden aangegeven dat deze niet één-op-één kunnen worden vertaald naar pieken in de afvoer uit het gebied door uitmalen of -pompen. Tussen deze twee grootheden zit het oppervlakte-waterstelsel, met extra aanvoer van water door neerslag direct op het wateroppervlak, en het peilbeheer. Hierop wordt dieper ingegaan in paragraaf 6.2.



Figuur 6.7 Berekende drainagefluxen en infiltratiefluxen (negatief) op dagbasis voor Referentie en Drains bij gelijke maaiveldhoogte en slootpeilen voor beide behandelingen, in mm per landoppervlak per dag. Boven 2011, onder 2012.

Tabel 6.5

Verschillen in berekende pieken in drainage en infiltratie op dagbasis in 2011 en 2012 vergeleken tussen Referentie en Drains bij gelijke maaiveldhoogte en slootpeilen voor beide, in mm per landoppervlak per dag.

	Hoogste piek in drainage (mm d ⁻¹)		Hoogste piek in infiltratie (mm d ⁻¹)	
	2011	2012	2011	2012
Referentie	13,3	11,5	1,2	0,6
Drains	20,5	16,5	2,4	1,1
Verskil	7,2 (54%)	5,0 (43%)	1,2 (100%)	0,5 (83%)

In tabel 6.5 zijn de hoogste berekende pieken en de verschillen hierin tussen Referentie en Drains samengevat. De toename in drainagepieken zijn op dagbasis soms fors. Zoals de piek op 15 juni 2011 als gevolg van grote neerslagbuien op 14 en 15 juli, met een totaal van 53 mm. De piek neemt die dag toe met 54% tot 21 mm per dag. Ook in 2012 is er een grote toename met 43% tot 17 mm. Het procentuele verschil in piekhoogte in drainage tussen Referentie en Drains bedraagt voor alle pieken groter dan 10 mm per dag gemiddeld 53% en als mediaan 48%. Omdat de huidige capaciteit van het gemaal in de Krimpenerwaard 10 mm per dag bedraagt, suggereert dit een groot gevolg voor het waterbeheer. Hierbij moet worden bedacht dat een bui van 50 mm in dit gebied met ca. 15% oppervlaktewater een extra wateraanvoer van 8,8 mm per oppervlakte land betekent door neerslag direct op het oppervlaktewater. Een extra aanvoer die geldt voor zowel Referentie als Drains. Zo zijn er meer aspecten van het oppervlaktewatersysteem die het mogelijk maken deze grotere drainage door drains te bufferen (zie verder 6.2). Ook is het patroon in pieken in de tijd vaak dat op één of enkele dag(en) de piek bij drains hoger is en dat de volgende dag(en) de piek bij de referentie zonder drains juist hoger is. Het effect is vooral dat drains de afvoer uit de veenbodem versnellen. Maar ook bij Referentie moet het overtollige water worden weggewerkt. Voor een deel gebeurt dat door meer wegzijging: 15 mm (66 - 51) meer bij Referentie in 2011 en 19 mm (90 - 71) in 2012. Dat is respectievelijk 3% en 5% van de totale jaarsom van de drainage bij Referentie. Voor de rest loost Referentie het overtollige water door tragere drainage.

De effecten van drains op de pieken in infiltratie op dagbasis zijn relatief gezien groter dan bij drainage. Absoluut gezien gaat het echter om geringe verhogingen. Toename van de infiltratiebehoefte is een veel geleidelijker proces dan het verwerken van grote neerslagbuien met grote intensiteit.

6.1.2 Scenario's van natte en droge jaren

In deze paragraaf worden de resultaten gegeven van berekeningen met de gekalibreerde SWAP voor extreme meteorologische condities in termen van extreem natte en droge omstandigheden. Bij de natte omstandigheden gaat het om extreme buien van grote omvang met een hoge intensiteit en om het uitgesproken nat jaar 1981, bij de droge om lange droge zomers in de jaren 1976 en 2003. Omdat het hierbij ook om de effecten van drains op het oppervlaktewaterregime gaat, is gerekend met het 'bakjesmodel' van SWAP voor waterbalans en peil van het oppervlaktewater (zie subparagraaf 2.1.3 punt 2).

Voor beide soorten berekeningen zijn dezelfde eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem en het waterbeheer van het gebied aangehouden zoals die zijn verkregen van HH Schieland en de Krimpenerwaard en van de proefsloten. Van het areaal is 16% oppervlaktewater, dat tot stand komt door slootbreedten aan maaiveld van 5,50 m en perceelbreedten van 30 m. De slootdiepte bedraagt 0,9 m en de helling van het talud 1 : 1,7. Voor het waterbeheer is aangenomen: een streefpeil van -45 cm ten opzichte van maaiveld, een drempel van 2 cm op streefpeil voor starten van wateruitslag en een drempel van 5 cm onder streefpeil voor starten van waterinlaat, waarbij uitslag en inlaat stoppen als streefpeil is bereikt. De capaciteit van het gemaal bedraagt 10 mm per dag; voor de capaciteit van de inlaat is eveneens 10 mm per dag genomen. Voor de drainage- en infiltratiestand zijn de gekalibreerde waarden gebruikt. Voor de weerstand voor kwel/wegzijging aan de onderrand is een hogere waarde genomen van 1200 die beter de gemiddelde situatie van de Krimpenerwaard vertegenwoordigt. Deze waarde is tot stand gekomen door middeling van de gekalibreerde waarde met de waarde van Van Gerven et al. (2011).

6.1.2.1 Extreme neerslagbuien

Er zijn twee extreme buien uit de buienreeks ' r2050-14.rks' van HH Schieland en de Krimpenerwaard doorgerekend (zie subparagraaf 2.1.3):

1. de eerste uit de rangorde van grootste buien: een bui van 48,5 mm op 13 juni in het 22ste uur die is opgenomen in 8-21 juni. In deze periode is voor alle dagen een lage gemiddelde verdamping van 2 mm per dag als ETref aangenomen (werkelijke ETref is niet bekend). Dit versterkt de extremiteit van deze bui;
2. de tiende uit de rangorde: een bui van 25,3 mm op 7 augustus 2002 in de periode 10 juni tot 14 augustus. In deze 66-daagse periode komen vijf buien voor die groter zijn dan 10 mm per uur. Interessant aan deze bui is dat hij wordt voorafgegaan door vier dagen met neerslag. Voor de verdamping is de ETref (Makkink) van de Bilt genomen.

Met de gekalibreerde SWAP is voor beide buien de gehele periode doorgerekend. Hierbij is uitvoer op uurbasis gegenereerd.

In figuur 6.8 zijn voor de bui uit 1953 en in figuur 6.9 voor de buienreeks uit 2002 de berekende oppervlakte-waterpeilen, de drainage/infiltratiefluxen en de uitslagdebieten gegeven van water voor Referentie en voor Drains. Ook zijn de verschillen tussen beide situaties gepresenteerd. De fluxen en debieten zijn hierbij uitgedrukt in mm per totaaloppervlak (land + water) per dag. In tabel 6.6 zijn de belangrijke termen van de oppervlaktewaterbalans voor deze analyse samengevat: drainage uit de veenbodem, uitslag uit het gebied en draaiuren van het gemaal.

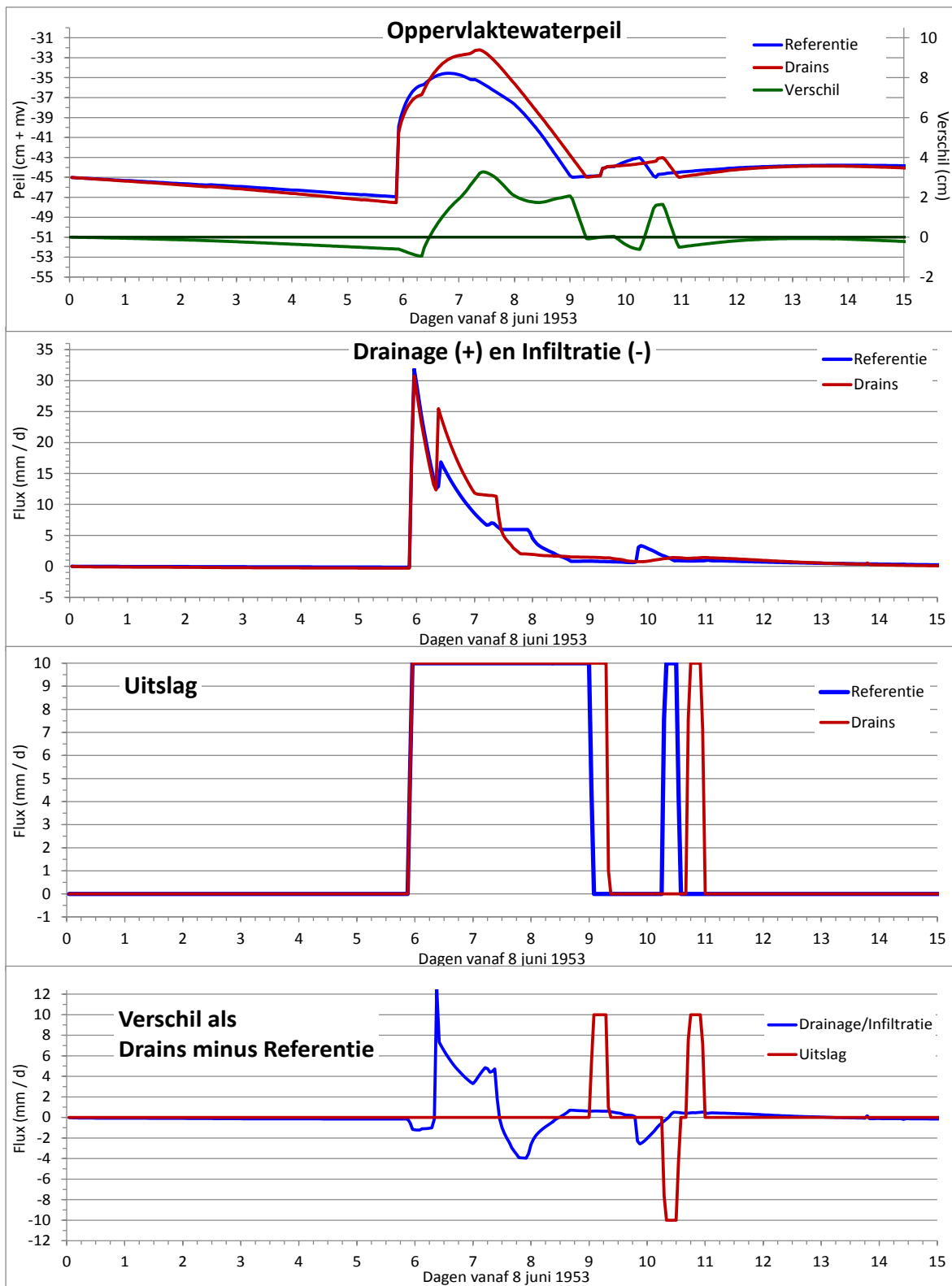
Tabel 6.6

Berekende drainage (drain.), uitslag door het gemaal en draaiuren van het gemaal bij de twee perioden met piekbuien. Hoeveelheden water zijn uitgedrukt in mm per totaaloppervlak (land + water).

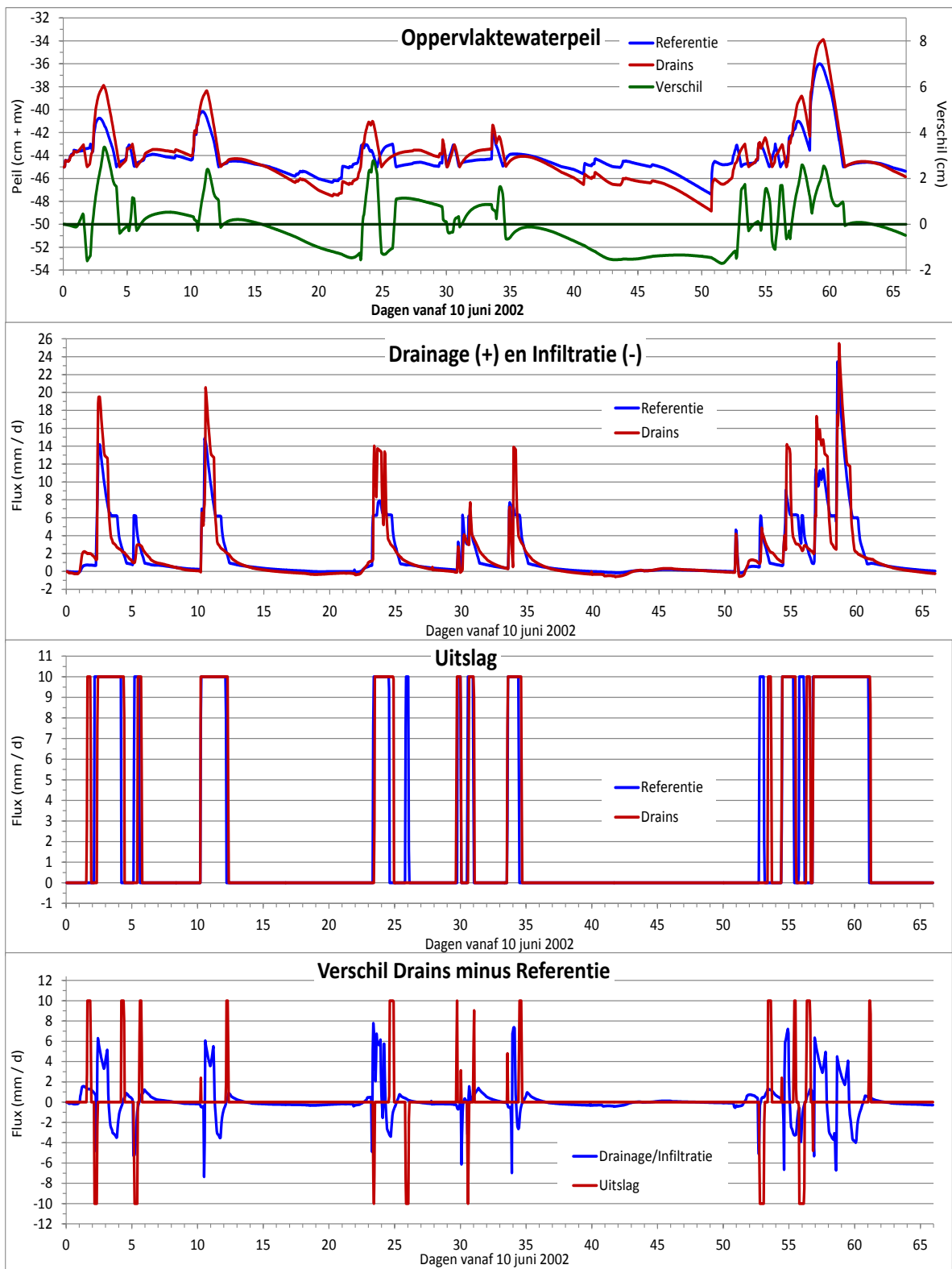
Bui	Jaar	Periode	Referentie			Drains			Drains minus Referentie					
			Drain. (mm)	Uitslag (mm)	Draaiuren (uur)	Drain. (mm)	Uitslag (mm)	Draaiuren (mm)	Drainage (mm %)	Uitslag (mm %)	Draaiuren (uur %)			
1953	8/6-18/6		30	34	81	33	37	88	3	8	3	8	7	9
2002	10/6-14/8		121	134	323	128	142	340	7	6	7	5	17	5

De figuren en de tabel laten zien dat kwantitatief het effect van drains op de verwerking van de grote hoeveelheden water van extreme buien minder dan 10% is. Bij de grootste bui uit 1953 nemen alle grootheden met 8% toe terwijl in de periode met buien uit 2002 de toename van uitslag en draaiuren 5% bedraagt. Dat de effecten van drains op de uitslag niet groter zijn heeft verschillende redenen:

1. neerslag direct op het oppervlaktewater is bij beide situaties (met en zonder drains) gelijk en substantieel door het grote aandeel oppervlaktewater van 16%. Dit verkleint het relatieve effect van extra drainage bij drains;
2. de berging in het oppervlaktewater buffert de extra en snelle drainage bij Drains. Deze extra berging is eveneens substantieel door het grote aandeel oppervlaktewater. De berging uit zich via het oppervlaktewaterpeil. Te zien is in de bovenste figuren dat het verschil hierin tussen Referentie en Drains in de tijd wisselt van teken: meestal aan het begin van een bui positief wat betekent dat het peil bij Drains hoger is door de grotere aanvoer van drainagewater, gevolgd door vaak een lager peil als gevolg van wat grotere infiltratie van water bij Drains;
3. de hoeveelheid extra te bergen water in de sloot is vaak groter bij Drains (lager peil) omdat het peil door grotere infiltratie verder uitzakt, waardoor extra berging voor buien wordt gecreëerd. De verhouding land : oppervlaktewater is 5,25. Dat betekent dat elke cm peilverschil in het oppervlaktewater bijna 2 mm afvoer vanuit het land extra kan bergen. Dit kan bij buien vlak na elkaar juist omgekeerd werken. Zoals bij de laatste buien in de reeks van 2002, maar het effect hiervan is niet erg groot;
4. de grotere stijging van het peil bij Drains dempt de drainage meer: het potentiaalverschil tussen grondwaterstand en peil is bij hoger peil kleiner, ook door de lagere grondwaterstanden bij drains;



Figuur 6.8 Berekende oppervlaktewaterpeil, drainage/infiltratie en uitslag van water voor Referentie en Drains en de verschillen daartussen, voor bui '13 juni 1953'. Fluxen zijn uitgedrukt in mm per totaaloppervlak (land+water) per dag.



Figuur 6.9 Berekende oppervlaktewaterpeil, drainage/infiltratie en uitslag van water voor Referentie en Drains en de verschillen daartussen, voor de buien van 10 juni t/m 14 augustus 2002. Fluxen zijn uitgedrukt in mm per **totaaloppervlak** (land+water) per **dag**.

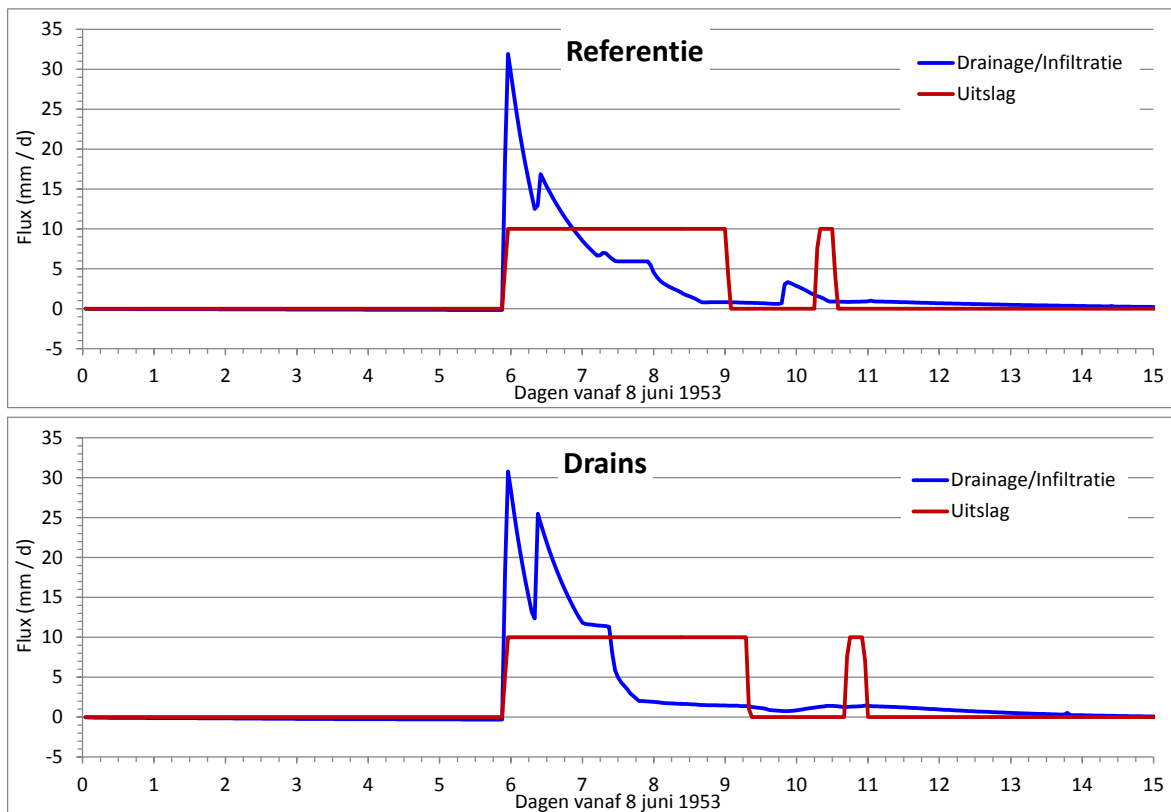
-
5. de grotere stijging van het peil bij drains geeft meer wegzijging direct vanuit de sloot. In dit geval is deze toename zo goed als verwaarloosbaar;
 6. het betreft netto drainage: drainage uit minus infiltratie in de veenbodem. Het verschil hierin tussen Referentie en Drains wordt verkleind door de toename van zowel drainage als infiltratie bij Drains. Omdat in dit geval de situatie van een korte en relatief natte periode wordt bekeken, is deze demping van het netto effect niet erg groot. Op jaarbasis zal dit groter zijn;
 7. in figuren waarin drainage wordt vergeleken met uitslag is te zien dat bij Referentie de drainage na-ijlt op die van Drains waardoor bij Referentie uiteindelijk de drainage langer duurt wat het verschil met Drains verkleint.

De berging van water in het oppervlaktewater heeft dus een belangrijk dempend effect op de snellere en grotere drainage bij Drains. Maar ook bij Referentie zonder drains wordt de grote bui voor een belangrijk deel opgevangen door de sloot met als gevolg een peilstijging tot ruim 10 cm boven streefpeil bij de grootste buien. Bij onderwaterdrains komt hier maximaal 2,4 cm bovenop. Dat is 23%, maar duurt slechts enkele uren, en binnen een paar dagen is dit teruggebracht naar nul en is streefpeil bereikt. De vraag voor de waterbeheerder is of deze extra stijging acceptabel is. De minimale drooglegging bedraagt bij drains tijdens die piek 32 cm.

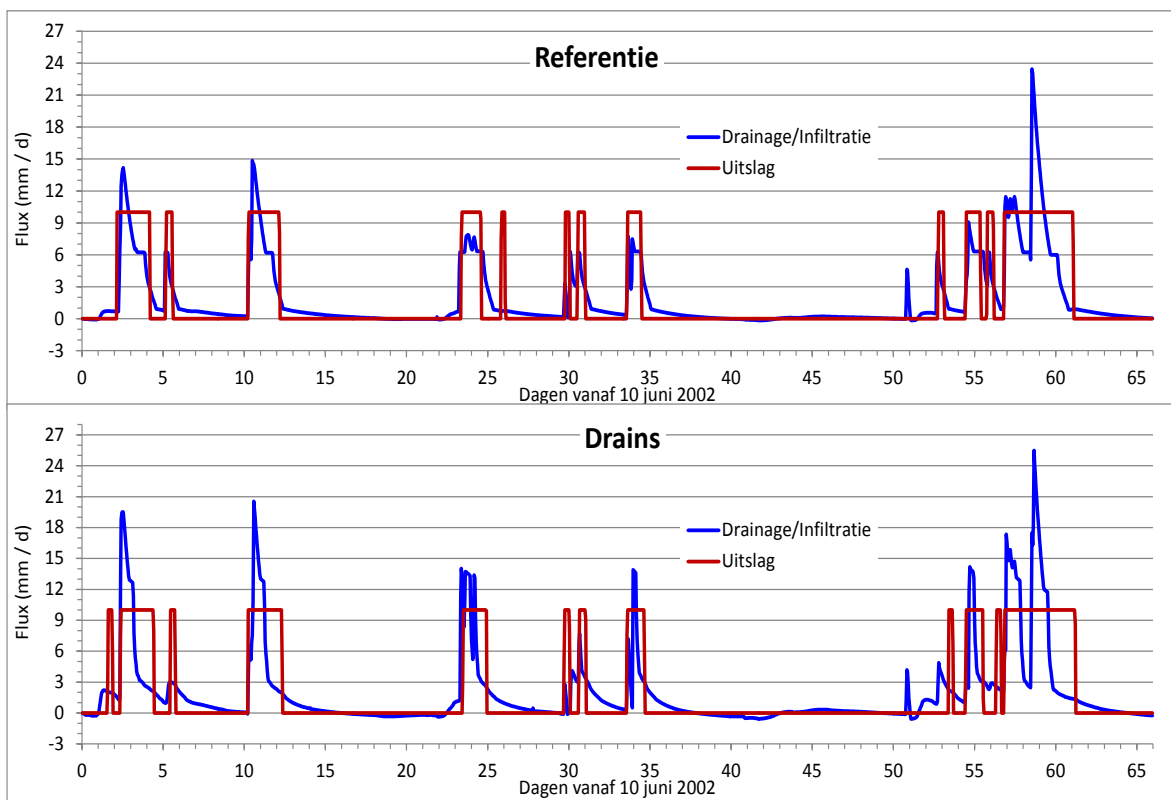
Het antwoord op deze vraag is sterk afhankelijk van de situatie op gebieds(polder)niveau waarin onderlinge verschillen in maaiveldhoogten tussen deelgebieden en percelen, en de dimensie van het afwateringsstelsel bepalend zijn voor de kans dat een deel van het areaal onder water komt te staan. Uiteraard speelt hierin ook sterk mee het aandeel areaal met onderwaterdrains. In de hier beschreven berekeningen is 'totaal geen drains' vergeleken met '100% van het areaal met drains'. In de werkelijkheid zal dat percentage kleiner zijn. Om antwoord op deze vraag te krijgen is het nodig om de gehele Krimpenerwaard met een hydraulisch netwerkmodel door te rekenen waaraan een neerslagafvoermodule gekoppeld is die op een realistische manier de invloed van onderwaterdrains op de wateruitwisseling tussen veenbodem en oppervlaktewater kan beschrijven. De hier besproken resultaten geven aan dat voor realistische berekeningen een terugkoppeling tussen bodem en oppervlaktewatersysteem op kleine tijdschaal (≤ 1 uur) onontbeerlijk is. De reactie van het oppervlaktewatersysteem in termen van peilveranderingen is sterk bepalend voor de wateraf- en -aanvoer vanuit de bodem, en omgekeerd. En met drains is deze reactie sneller dan zonder.

Daarnaast speelt peilbeheer een belangrijke rol bij het ontstaan van een extra peilstijging als gevolg van drains bij grote, intensieve buien. Door te anticiperen op neerslagvoorspellingen voor de korte termijn, die tegenwoordig steeds accurater worden, en bijvoorbeeld 'voor te malen' wordt extra bergingsruimte voor het opvangen van pieken in drainage gecreëerd.

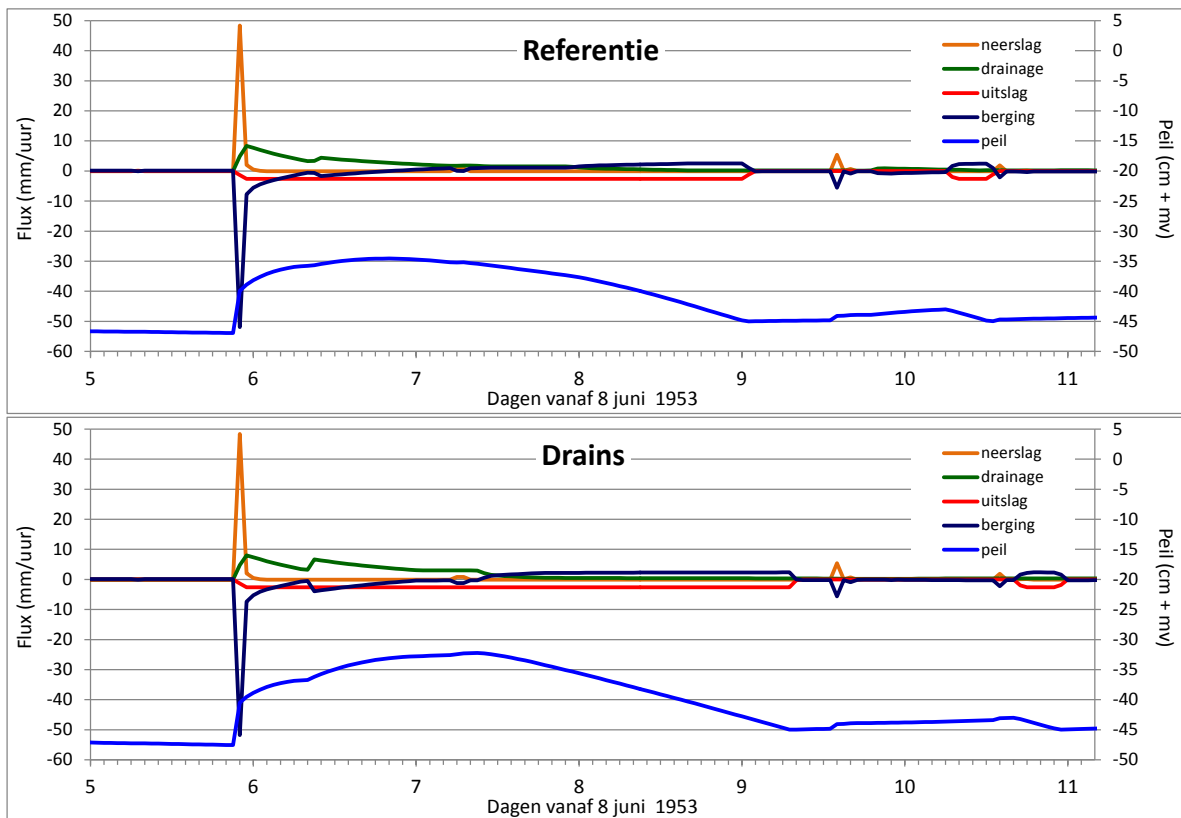
Op het piekmoment bedraagt de geringste drooglegging circa 33 cm voor enkele uren bij Drains in 1953. Deze tijdelijk geringere drooglegging heeft maar een beperkt effect heeft op de ontwateringstoestand van de bodem omdat drains deze ontwatering weer snel bevorderen na de bui. Dit is goed te zien in figuren 6.10 en 6.11. Bij Referentie blijft het water daardoor langer in de bodem wat bij nieuwe neerslag weer eerder tot snelle afvoer via *runoff*, *greppelafvoer* en *interflow* (ondiepe uitspoeling).



Figuur 6.10 Berekende verloop van drainage- en infiltratiefluxen onderling vergeleken voor Referentie en Drains, voor bui '13 juni 1953'. Fluxen zijn uitgedrukt in mm **totaaloppervlak** (land+water) per **dag**.



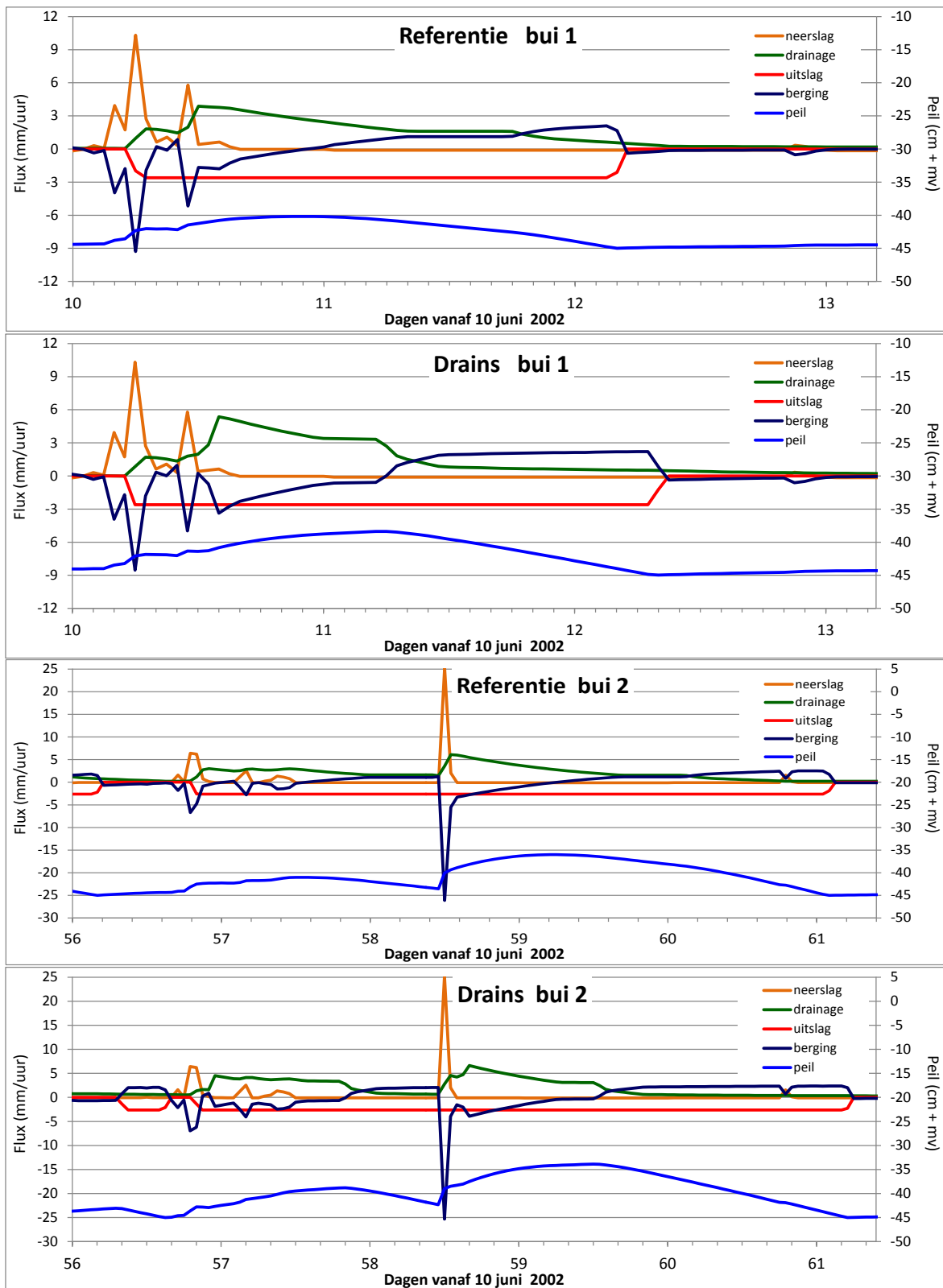
Figuur 6.11 Berekende verloop van drainage- en infiltratiefluxen onderling vergeleken voor Referentie en Drains, voor de buien van 10 juni t/m 14 augustus 2002. Fluxen zijn uitgedrukt in mm per **totaaloppervlak** (land+water) per **dag**.



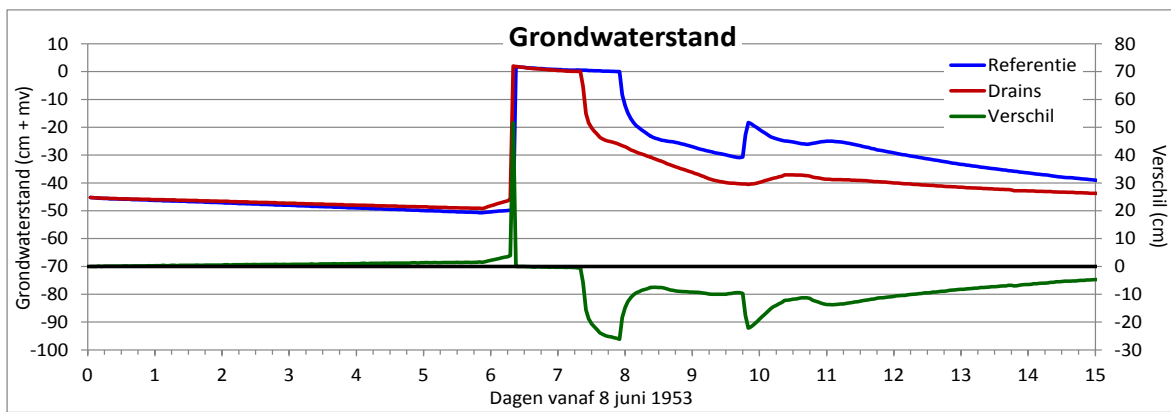
Figuur 6.12 Berekende verloop van de belangrijkste balanstermen van het oppervlaktewater, en van het oppervlaktewaterpeil voor Referentie en Drains, voor bui '13 juni 1953'. Fluxen zijn uitgedrukt in mm per slootoppervlak per uur.

De figuren 6.12 en 6.13 tonen de dynamiek van de belangrijke balanstermen van het oppervlaktewater. De resultaten zijn op uurbasis en de fluxen zijn uitgedrukt in mm per slootoppervlak per uur. Interessante bevindingen die uit deze figuren spreken zijn de volgende:

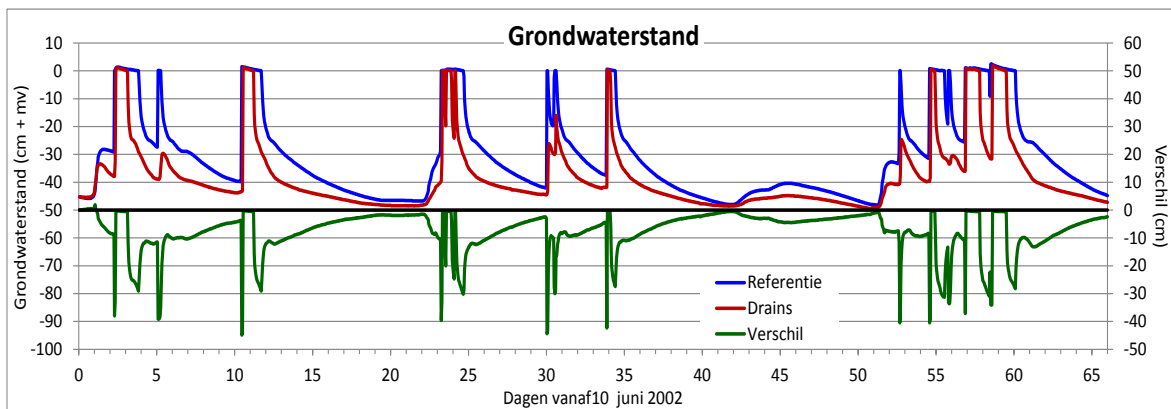
1. het eerste dat opvalt is dat in het uur dat de piekneerslag valt, de neerslag direct op het oppervlaktewater de grootste bron van water is en dat de afname van de bergingscapaciteit de grootste put van water is met een peilstijging tot gevolg;
2. de uitgestelde toename van de drainage na de neerslagpieken bij Drains ten opzichte van Referentie komt door de wat drogere bodem bij drains waardoor *runoff* wat later start en eerder stopt (zie ook bij bespreking van de grondwaterstanden);
3. op het moment dat de bergingsverandering de 0-lijn kruist en van negatief positief wordt, neemt het peil weer af en is het oppervlaktewater alleen nog een bron van water voor het gemaal, niet meer voor de bergingstoename van het oppervlaktewater.



Figuur 6.13 Berekende verloop van de belangrijkste balanstermen van het oppervlaktewater en van het oppervlaktewaterpeil voor Referentie en Drains, voor twee van de buien van 10 juni t/m 14 augustus 2002. Fluxen zijn uitgedrukt in mm per **slootoppervlak** per **uur**.



Figuur 6.14 Berekende verloop van de veldgemiddelde grondwaterstand voor Referentie en Drains en het verschil daartussen als Drains minus Referentie, voor bui '13 juni 1953'.



Figuur 6.15 Berekende verloop van de veldgemiddelde grondwaterstand voor Referentie en Drains en het verschil daartussen als Drains minus Referentie, voor de buien van 10 juni t/m 14 augustus 2002.

Figuren 6.14 en 6.15 tonen de gesimuleerde grondwaterstanden van Referentie en Drains en het verschil hier tussen voor beide perioden met buien. Het betreft veldgemiddelde grondwaterstanden. Dus geen waarden van opbolling of uitzakking midden tussen de sloten of drains.

Het effect van onderwaterdrains onder deze extreme omstandigheden is evident en groot: drains bewerkstelligen onder extreem natte omstandigheden (grondwaterstand tot boven maaiveld) grondwaterstandverlagingen tot gemiddeld ruim 10 cm en maximaal 45 cm onder de grondwaterstanden van Referentie. Dit is meestal door het sneller afvoeren van water uit het volledig verzadigde profiel, want drains kunnen niet altijd voorkomen dat het water tot aan maaiveld komt. Drains bieden in die zin vooral tijdswinst door de grondwaterstand sneller uit en onder maaiveld te trekken. Bij 'bui 1953' piekt het grondwaterstandverschil in eerste instantie bij drains omdat er dan voor een korte tijd infiltratie plaatsvindt door de stijging van het slootpeil. Het gevolg is een snelle stijging van de grondwaterstand. Dit is een kortdurend negatief effect van drains.

Resumerend is het belangrijkste mechanisme dat in werking treedt bij extreme buien de berging van neerslagwater in de veenbodem, en vooral ook, door het grote (16%) aandeel in het areaal daarvan, in het oppervlaktewater. Hierdoor stijgt het slootpeil, in eerste instantie door de neerslag direct op het wateroppervlak. Wat later treedt het afvoermecanisme van de bodem in werking en stijgt het peil nog meer. Bij onderwaterdrains gaat dat sneller door de grotere drainage vanwege de geringere weerstand van de drains. De snellere peilverhoging en grondwaterstandsverlaging bij drains verkleinen het potentiaalverschil tussen grondwaterstand en peil en dempen daarmee de toename van de drainage tot een evenwicht is bereikt met de afvoer van het gemaal en het peil weer gaat dalen. Met deze dempings- en terugkoppelingsmechanismen is de maximale invloed van de drains een extra peilstijging van 3-7 cm en een toename van het aantal draaiuren van het gemaal met 5-9%. Met drains wordt het streefpeil twee tot drie uur later bereikt dan zonder. Bij hevige buien van een omvang en intensiteit als de doorgerekende treedt direct plasvorming op en schiet de grond-

waterstand binnen enkele uren tot in het maaiveld. Een voordeel van drains is dan een ca. 5 dagen snellere daling van de grondwaterstand vanuit het maaiveld tot een niveau dat geschikt is voor beweiding en berijden.

6.1.2.2 Droge en natte jaren

Droge jaren 1976 en 2003

In figuren 6.16 en 6.17 zijn voor het zeer droge jaar 1976 de effecten van drains op oppervlaktewaterpeil, drainage en infiltratie, en inlaat en uitslag getoond. Deze resultaten voor 2003 tonen hetzelfde beeld, alleen is daarin de droge periode in voorjaar en zomer wat korter. In tabel 6.7 worden de belangrijke resultaten voor beide jaren samengevat.

Tabel 6.7

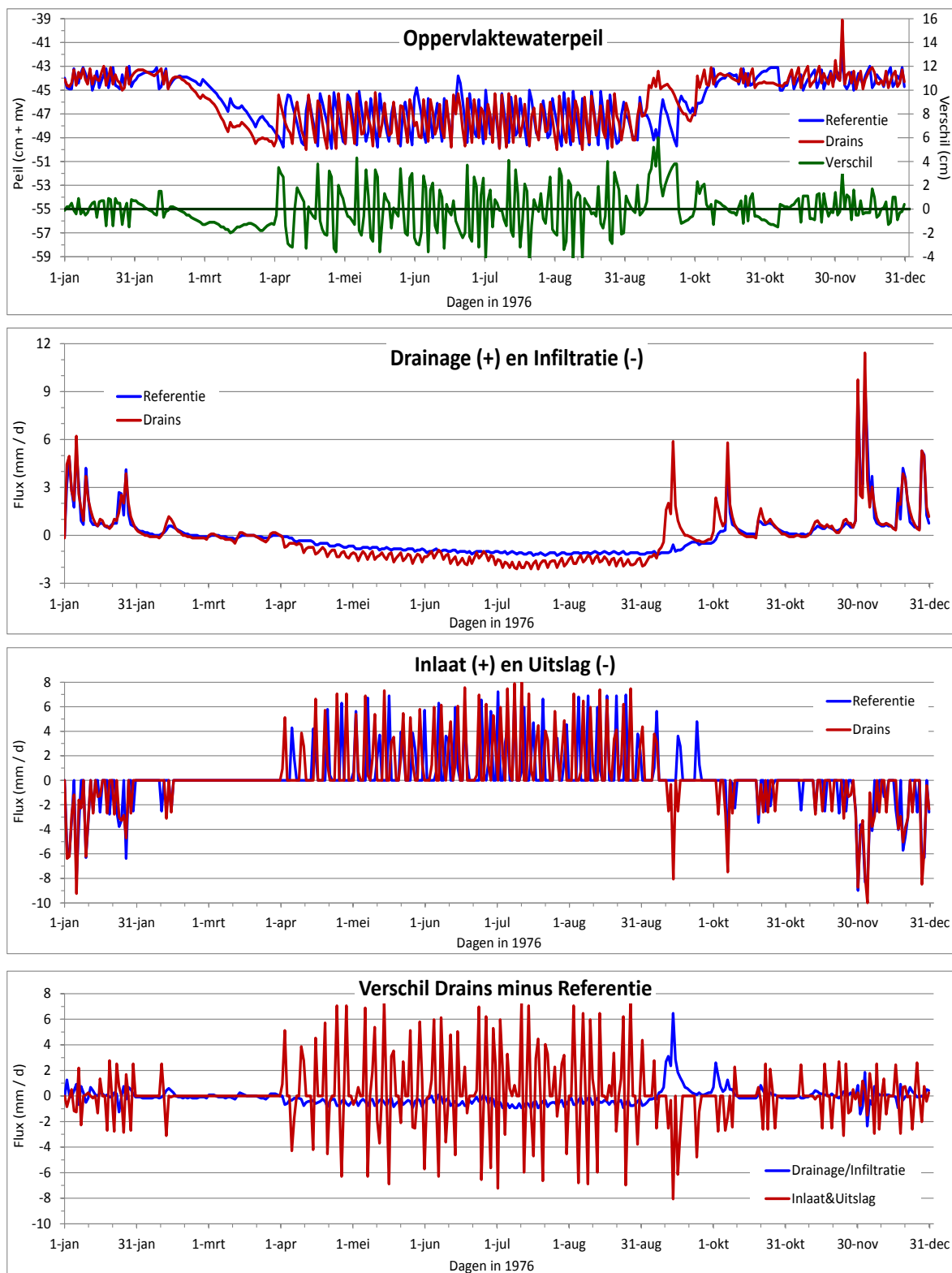
Berekende termen van de waterbalans van het oppervlaktewater voor Referentie en Drains en het verschil daartussen, voor de twee droge jaren 1976 en 2003. Termen zijn in mm per oppervlak land + water.

Situatie	Jaar	Referentie			Drains			Drains minus Referentie					
		Infiltratie (mm)	Inlaat (mm)	Inlaattijd (uur)	Infiltratie (mm)	Inlaat (mm)	Inlaattijd (uur)	Infiltratie (mm %)	Inlaat (mm %)	Inlaattijd (uur %)			
IN	1976	166	232	557	235	298	714	68	41	65	28	157	28
	2003	120	159	380	176	210	504	55	46	51	32	123	32
UIT	Jaar	Drainage (mm)	Uitslag (mm)	Draaiuren (uur)	Drainage (mm)	Uitslag (mm)	Draaiuren (uur)	Drainage (mm %)	Uitslag (mm %)	Draaiuren (uur %)			
		1976	156	184	441	187	214	512	31	20	30	16	72
	2003	264	284	680	290	318	764	26	10	35	12	84	12

De drains hebben een groot effect op de infiltratie van slootwater de bodem in en daarmee op de inlaat van water gedurende het/de zeer droge voorjaar en zomer van 1976. De toename van de infiltratie door drains bedraagt 41% en de toename van de inlaat bruto 28%. In absolute cijfers bedraagt de netto toename 68 respectievelijk 65 mm (per oppervlak land + water). Dat de relatieve toename van de inlaat kleiner is dan die van de infiltratie komt door de verdamping van het oppervlaktewater die fors is in de zomer door de openwaterverdamping die dan in het maximaal 131% bedraagt van de referentiegewasverdamping. Aangezien de grootte van deze hoge verdamping gelijk is voor beide behandelingen, Referentie en Drains, is de toename van de inlaat door vergrote infiltratie relatief kleiner dan de toename van de infiltratie.

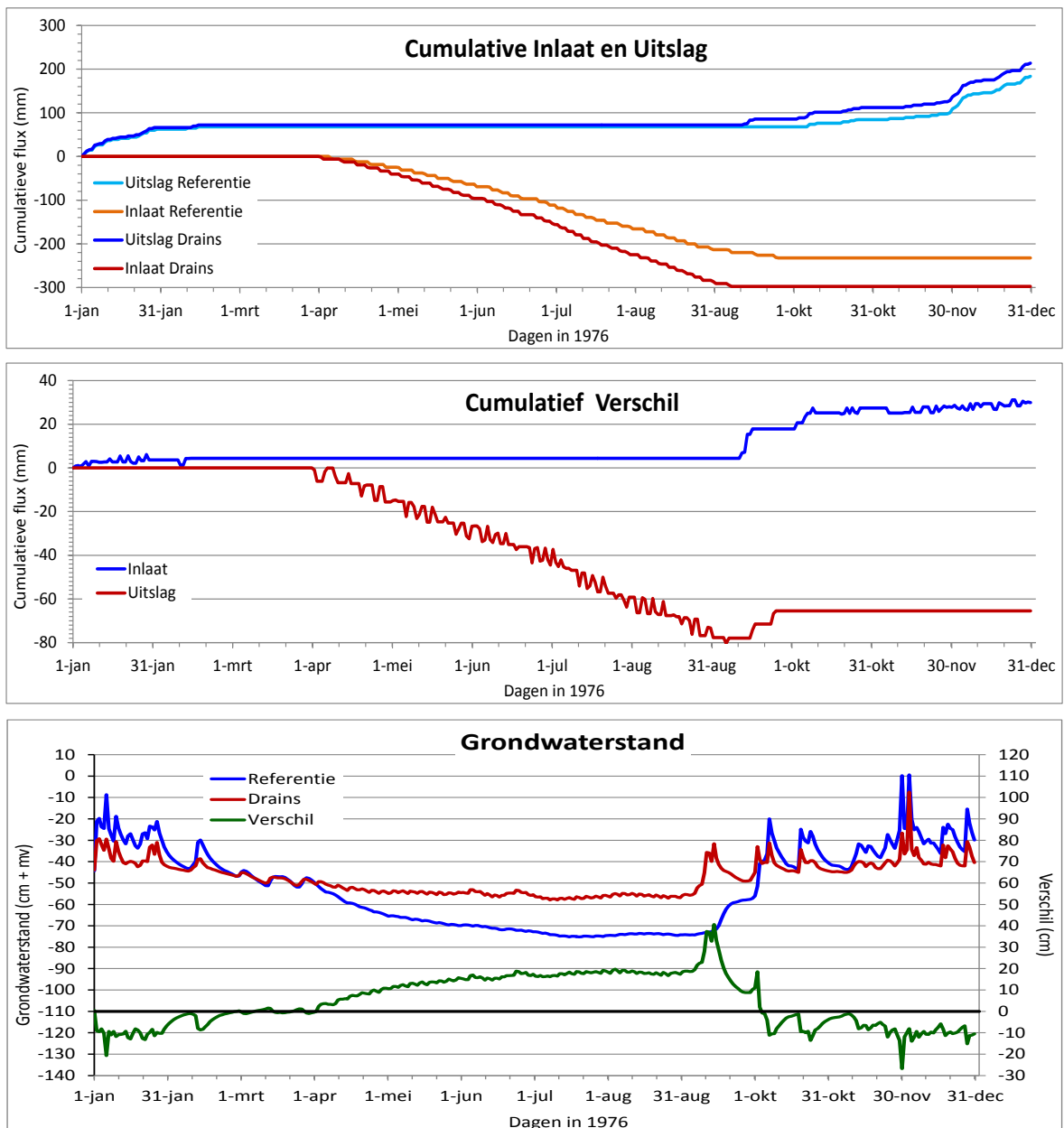
In die zin heeft de uitwisseling tussen atmosfeer en oppervlaktewater een zelfde dempend effect op de inlaat als bij de extreme neerslagbuien op de uitslag. Hoewel het effect op de inlaat gedurende het zomerhalfjaar groter is dan het effect van relatief kortdurende hevige buien op de uitslag van water, gelden bij inlaat toch vergelijkbare mechanismen die de grootte van de toename (enigszins) dempen:

1. verdamping direct uit oppervlaktewater is bij beide behandelingen (met en zonder drains) gelijk en substantieel door het grote aandeel oppervlaktewater en verkleint daardoor het relatieve effect van extra infiltratie bij drains;
2. berging in het oppervlaktewater buffert de extra infiltratie bij drains. Dit is substantieel door het grote aandeel oppervlaktewater;
3. grotere daling van het peil bij drains dempt de infiltratie meer door een kleiner potentiaal verschil, ook door de hogere grondwaterstanden bij drains;
4. grotere daling van het peil bij drains geeft minder wegzijging direct vanuit de sloot (in dit geval een zeer gering effect);
5. een bijzondere situatie doet zich voor einde zomer rond 10 september. Bij drains schiet daarbij als gevolg van een grote bui het peil omhoog boven streefpeil, even later gevolgd door de grondwaterstand als gevolg van de toegenomen infiltratie door hoger peil en de neerslag op het bodemoppervlak. Bij Referentie gebeurt dit nauwelijks. Dit is uiteraard het gevolg van de



Figuur 6.16 Berekende oppervlaktewaterpeil, drainage/infiltratie en inlaat/uitslag van water voor Referentie en Drains en de verschillen daartussen voor droog jaar 1976. Fluxen zijn uitgedrukt in mm per **totaaloppervlak** (land+water) per dag.

tragere reactie door het ontbreken van drains, maar ook doordat bij Drains op 9 september nog zoveel water wordt ingelaten tot streefpeil is bereikt. Bij Referentie gebeurt dat een dag eerder. Met de huidige technieken mag worden aangenomen dat men de bui van 10 september voorziet en men hierop anticipeert door minder water in te laten.



Figuur 6.17 Berekende cumulatieve inlaat en uitslag van water en het verloop van de grondwaterstand voor Referentie en Drains, en het verschil daartussen voor droog jaar 1976. Fluxen zijn uitgedrukt in mm per *totaaloppervlak* (land+water) per dag.

Ook opvallend is dat de toename in de uitslag gedurende het gehele jaar relatief groot is, in ieder geval groter dan bij de extreme buien: met 14% twee keer zo groot als bij de extreme buien. Dit is enerzijds het effect van de langere periode ten opzichte van de perioden met extreme buien waar bij Drains structureel meer drainage plaatsvindt dan bij Referentie en waarbij ook voor Referentie de effecten extreem zijn. Anderzijds speelt hierbij ook dat de grotere hoeveelheid inlaatwater de bodem natter houdt waardoor in perioden van afwisselende natte en droge perioden er meer drainage optreedt.

Figuur 6.17 laat de gesimuleerde effecten van drains op de grondwaterstand in een langdurige droge periode zien. Het betreft veldgemiddelde grondwaterstanden (dus geen waarden van opbolling of uitzakking midden tussen de sloten of drains). Het effect van onderwaterdrains gedurende de droge periode is dat de grondwaterstand minder ver uitzakt waardoor de laagste waarde van Referentie in de zomer niet wordt bereikt. Deze met de drains beoogde 'winst' bedraagt dan maximaal 20 cm. In geval van zomerbuien die als extra 'natuurlijke' inlaat kunnen worden gezien kan deze winst oplopen tot 40 cm verhoging. Dit is te zien aan de piek eind zomer als gevolg van de snelle reactie van de drains op een plotselinge bui nadat net water is ingelaten tot streefpeil. De 'winst' door drains in termen van verlagen van de grondwaterstand in nattere perioden bedraagt maximaal 28 cm.

Nat jaar 1981

Figuren 6.18 en 6.19 tonen voor het natte jaar 1981 de effecten van drains op oppervlaktewaterpeil, drainage en infiltratie, en inlaat en uitslag. In tabel 6.8 worden de belangrijke resultaten voor dat jaar samengevat.

Tabel 6.8

Berekende termen van de waterbalans van het oppervlaktewater voor Referentie en Drains en het verschil daartussen, voor de het natte jaar 1981. Termen zijn in mm per oppervlak land + water.

Situatie	Referentie			Drains			Drains minus Referentie						
	IN	Infiltratie (mm)	Inlaat (mm)	Inlaattijd (uur)	Infiltratie (mm)	Inlaat (mm)	Inlaattijd (uur)	Infiltratie (mm %)		Inlaat (mm %)		Inlaattijd (uur %)	
		73	96	229	125	136	326	52	72	40	42	97	42
UIT	Drainage (mm)	Uitslag (mm)	Draaiuren (uur)	Drainage (mm)	Uitslag (mm)	Draaiuren (uur)	Drainage (mm %)	Uitslag (mm %)	Draaiuren (uur %)	Drainage (mm %)	Uitslag (mm %)	Draaiuren (uur %)	
	517	526	1261	521	567	1360	4	1	41	8	99	8	

De relatieve toename van de uitslag van water en de draaiuren van het gemaal liggen in dezelfde orde van grootte als bij de extreme buien (5-10%). Dit is relatief beperkt ten opzichte van de relatieve toename van de inlaat. Ook in het natte jaar 1981 heeft de uitwisseling tussen atmosfeer en oppervlaktewater een zelfde dempend effect op de toename van de uitslag als bij de extreme neerslagbuien. Dezelfde mechanismen die de grootte van de toename (enigszins) dempen als bij de buien gelden (zie daar).

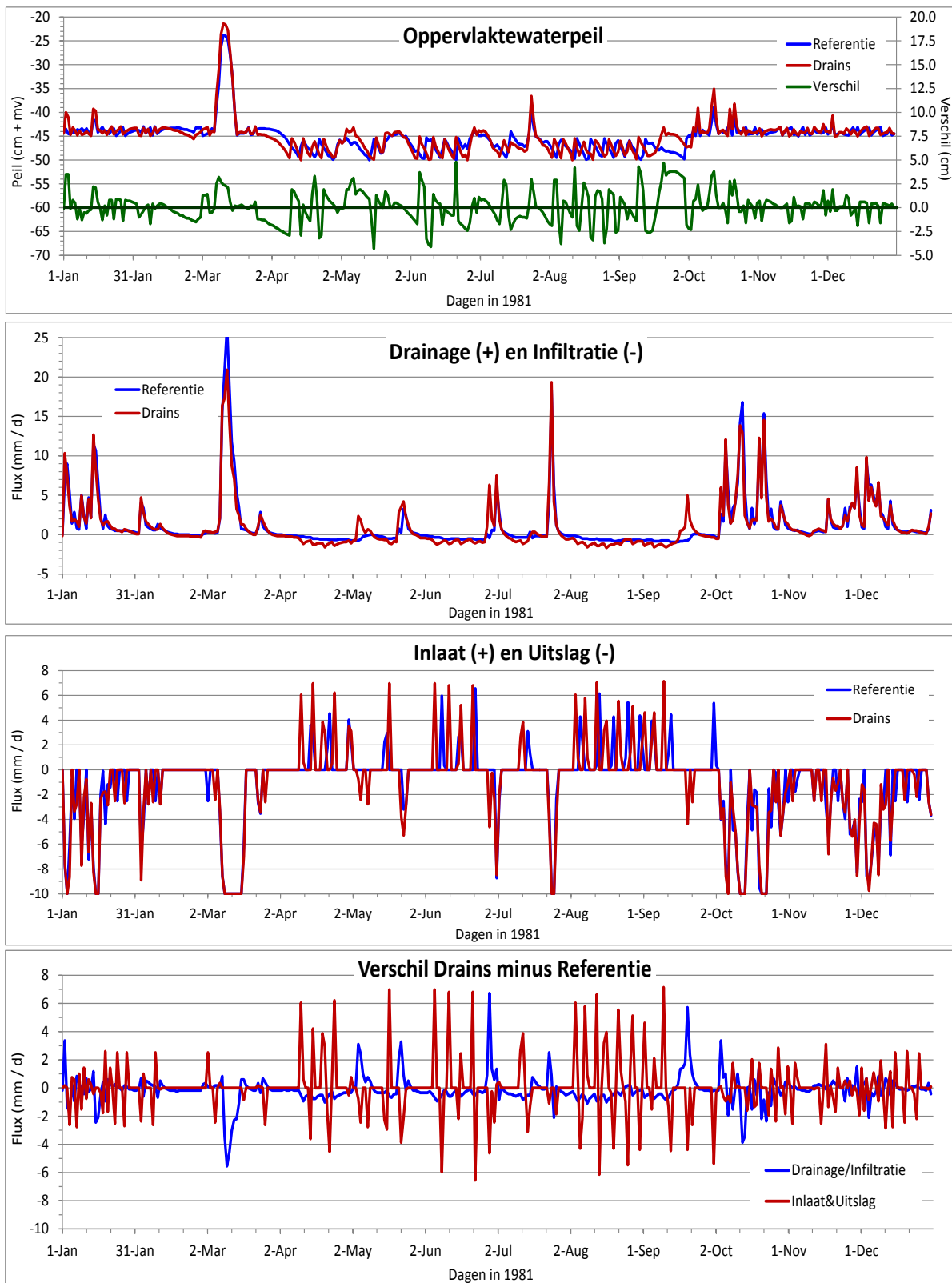
De relatieve toename in uitslag in 1981 is veel kleiner dan bij de droge jaren 1976 en 2003 (16% resp. 12%). In absolute zin is de toename in uitslag wel veel groter dan bij de droge jaren (37% resp. 17%). Reden voor de grotere relatieve toename bij de droge jaren is uiteraard de veel geringere basisuitslag bij Referentie van deze jaren.

De relatieve toename in inlaatbehoefte is met 42% groter dan in de droge jaren en ligt in dezelfde orde van grootte als de relatieve toename in infiltratiebehoefte van de meetjaren, eveneens gemiddeld natte jaren. In absolute zin is de toename in infiltratie maar 62% van die van extreem droog jaar 1976 en 85% van die van droog jaar 2003. Ook hier is de verklaring voor de grote relatieve toename de geringe basisinlaat bij Referentie van 1981.

Opvallend is dat in absolute zin de extra inlaat gelijk is aan de extra uitslag: het extra uitgeslagen water moet ook in dit natte jaar op een gegeven moment weer worden aangevuld. In meetjaar 2011 geldt dit voor de extra infiltratie en de extra drainage. Daarmee lijkt over het jaar gezien de inzet van onderwaterdrains niet erg zinvol. De reden hiervoor is dat zowel in de meetopstelling als in het model aan- en afvoer van water automatisch worden geregeld op basis van het oppervlaktewaterpeil. Als bij uitslaan en inlaten van water zou worden geanticieerd op het verwachte weer in relatie tot de vochttoestand in het gebied zoals bepaald door het recente weer, kan worden gestuurd op de actuele waterbehoefte. Door de snellere communicatie tussen bodem en oppervlaktewater bij drains, kan dit sturen in principe beter en preciezer dan in een situatie zonder drains. Nadere bestudering van de modelresultaten laat zien dat situaties waarin zich dit voordoet ook toevalligerwijs voorkomen in de berekeningen.

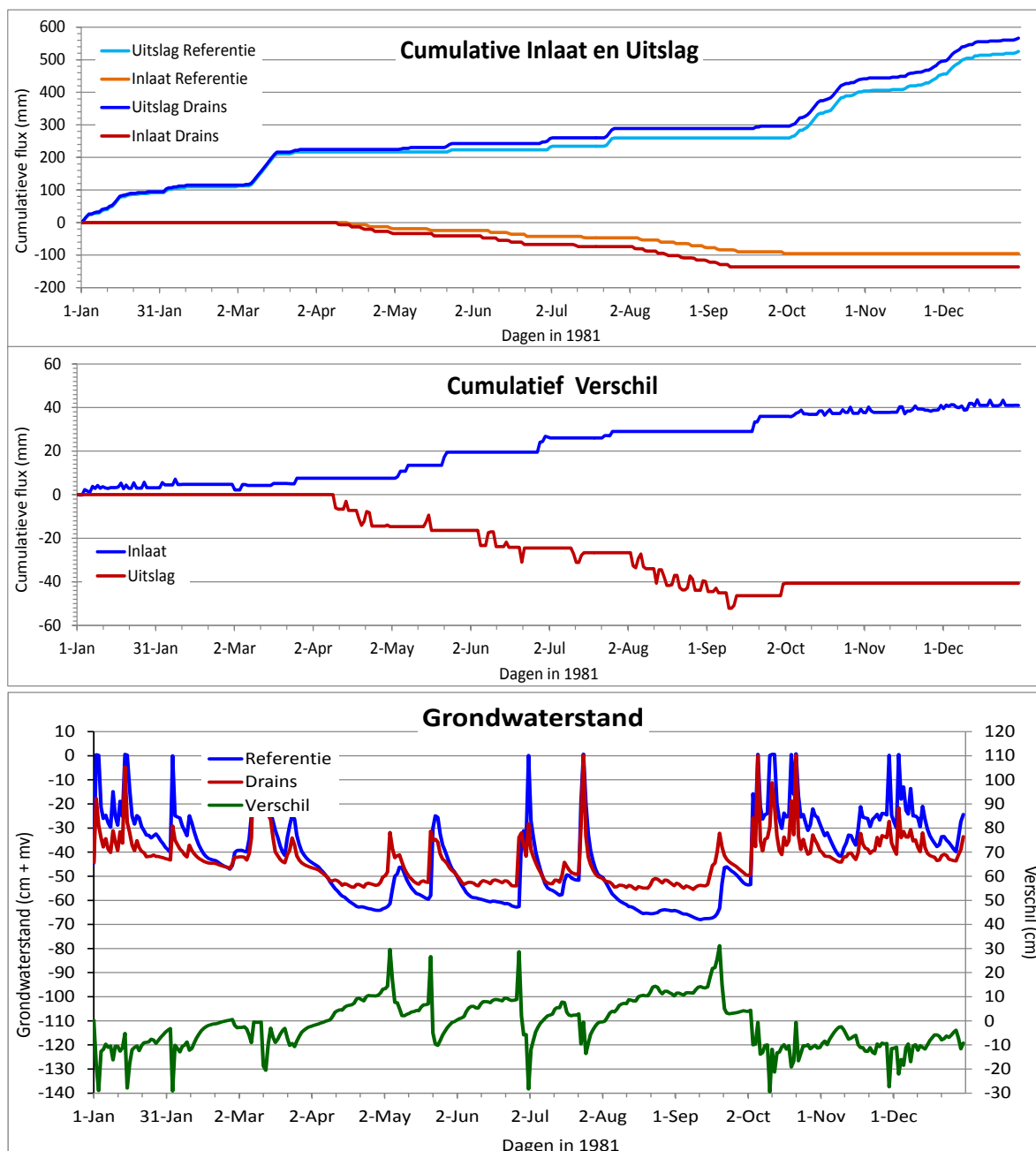
Verder kijken alle doorgerekende scenario's af van de (verwachte) werkelijkheid doordat een situatie met het volledige areaal onder drains is vergeleken met de situatie zonder drains. In werkelijkheid zal dit meestal niet voorkomen en is te verwachten dat slechts een deel van het areaal van een peilgebied onderwaterdrains zal bevatten. In zo'n situatie is het gehele peilgebied beter in staat de extra drainage en infiltratie in het deel met drains op te vangen (Jansen et al., 2009; Van den Akker et al., 2011). Zeker als met malen en inlaten wordt geanticieerd op het weer.

De betekenis van bovenbeschreven effecten van onderwaterdrains voor het waterbeheer van een geheel bemalingsgebied wordt bepaald door het areaal en de structuur van het oppervlaktewatersysteem, met



Figuur 6.18 Berekende oppervlaktewaterpeil, drainage/infiltratie en inlaat/uitslag van water voor Referentie en Drains en de verschillen daartussen voor nat jaar 1981. Fluxen zijn uitgedrukt in mm per totaaloppervlak (land+water) per dag.

peilvakken in relatie tot maaiveldhoogten en het areaal veenweiden met onderwaterdrains. Uit de modelexperimenten valt ook af te leiden dat anticiperen op komende buien door voormalen de extra peilverhoging (sterk) kan beperken. Door de snellere communicatie tussen veenbodem en oppervlaktewater kan deze sturing bij drains beter dan zonder drains: met drains is in kortere tijd een extra berging in de veenbodem te creëren.



Figuur 6.19 Berekende cumulatieve inlaat en uitslag van water en het verloop van de grondwaterstand voor Referentie en Drains, en het verschil daartussen voor nat jaar 1981. Fluxen zijn uitgedrukt in mm per **totaaloppervlak** (land+water) per **dag**.

De effecten op de grondwaterstand zijn in dit natte jaar vooral een verlaging in natte tijden van maximaal 30 cm. Maar ook vindt verhoging van de grondwaterstand plaats door drains in de relatief droge perioden, eveneens tot maximaal 30 cm. Net als in 1976 wordt deze maximale verhoging alleen bereikt in geval van hevige buien in de zomer.

6.2 Nutriënten

6.2.1 Analyse veldonderzoek

Voor de analyse van de effecten van onderwaterdrains drains op de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater tijdens de meetperiode is uitgegaan van de twee nutriëntenthema's die bij de modelstudie naar deze effecten zijn onderscheiden door Hendriks en Van den Akker (2012): afwenteling en zomerwaterkwaliteit in de vorm van concentraties in het oppervlaktewater om te toetsen aan normen van de KRW (Kaderrichtlijn Water).

6.2.1.1 Afwenteling

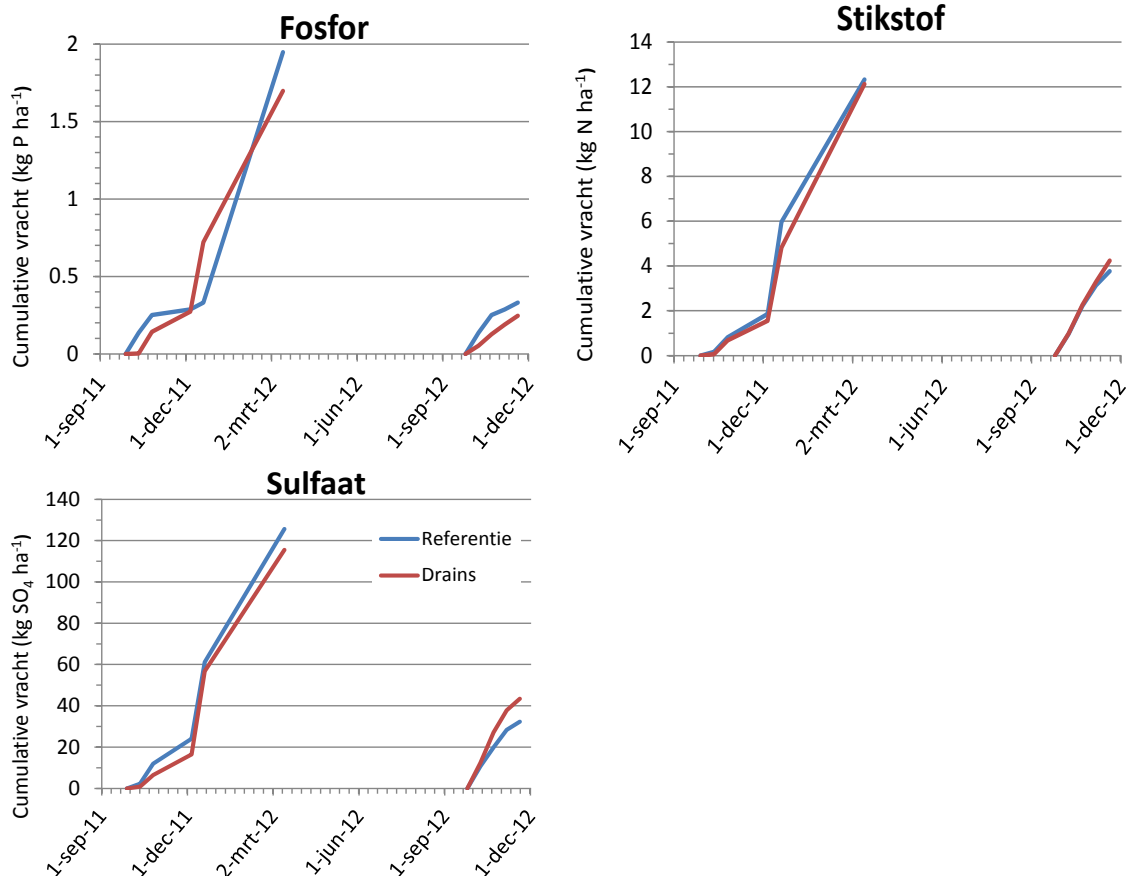
Voor 'afwenteling' is gebruik gemaakt van de gemeten uitpompdebieten en debiet-proportionele concentraties. Eerst is gekeken vanaf welk tijdstip in de uitspoelingsperiode de hoeveelheid water in de meetsloten twee keer is doorgespoeld. Dat was voor beide jaren en beide behandelingen vanaf begin oktober. Van die tijd tot het moment dat de uitpompdebieten weer zeer klein waren (begin april) zijn per periode uit de grafieken van figuren 6.3 en 6.4 de gemeten debieten verrekend met de gemeten debietproportionele concentraties. Voor enkele perioden zijn de debieten gecorrigeerd met de modelberekeningen. De concentraties in het winterhalfjaar representeren het best de uitspoelingsconcentraties vanwege de relatief snelle, netto afvoer van water en stoffen uit de veenbodem en de geringe rol van omzettingsprocessen in slootwater en -bodem door de lage temperaturen in dit halfjaar. Daarvoor is de debietproportionele uitpompconcentratie omgerekend naar uitspoelingsconcentraties door het uitpompdebiet te verrekenen met het aandeel neerslagwater direct op het oppervlaktewater. Voor stikstof is daarbij uitgegaan van een concentratie in de neerslag van $1,1 \text{ mg L}^{-1}$; voor fosfor en sulfaat is deze concentratie verwaarloosbaar geacht (Hendriks en Van den Akker, 2012).

De resultaten zijn gegeven in figuur 6.20 en samengevat in tabel 6.9. Bij de vrachten moeten worden bedacht dat deze gesommeerd niet de gehele uitspoelingsperiode beslaan en dus niet de totale uitspoelingsvracht geven. Te zien is dat Referentie en Drains elkaar weinig ontlopen in grootte van (cumulatieve) vrachten en in de tijd tegengesteld gedrag laten zien voor wat betreft hun verschil. Hoewel de verschillen over het algemeen niet erg groot zijn. De grootste verschillen zijn gevonden voor fosfor: een cumulatieve afname van de vracht bij drains van 15% en een afname van de gemiddelde concentraties met 20%. Bij stikstof en sulfaat zijn de onderlinge percentages gelijk: een te verwaarlozen toename van de vracht van rond 1% en een lichte afname van de uitspoelingsconcentraties van 7%. De substantiële afname bij fosfor komt overeen met de bevindingen uit de modelstudie van Hendriks en Van den Akker (2012) evenals de afname van de stikstof- en sulfaatconcentraties, zij het dat in de modelstudie alle afnamen groter zijn. De te verwaarlozen verschillen in vrachten van stikstof en sulfaat wijken af van de modelstudie die ook afname van deze vrachten voorspelt voor de voor de pilot meest gelijkende veenweide-eenheid, '5 meter dik eutroof veen, zonder kleidek met een neutrale onderrand, lage infiltratiewaterconcentraties en 40-50 cm drooglegging'.

Tabel 6.9

Cumulatieve uitpomp/uitspoelingsvrachten en debietgewogen gemiddelde uitpomp- en uitspoelingsconcentraties van fosfor, stikstof en sulfaat voor relevante (niet alle!) perioden in de uitspoelingsperiode.

Parameter	Referentie			Drains			Drains minus Referentie		
	fosfor	stikstof	sulfaat	fosfor	stikstof	sulfaat	fosfor	stikstof	sulfaat
Vracht (kg per ha land)	2,28	16,1	158	1,94	16,3	159	-0,34 (-15%)	0,2 (+1%)	1 (+1%)
Uitpompconc. (mg L-1)	0,51	3,6	35	0,41	3,4	33	-0,10 (-20%)	-0,2 (-6%)	-2 (-6%)
Uitspoelconc. (mg L-1)	0,65	4,6	45	0,52	4,3	42	-0,13 (-20%)	-0,3 (-7%)	-3 (-7%)

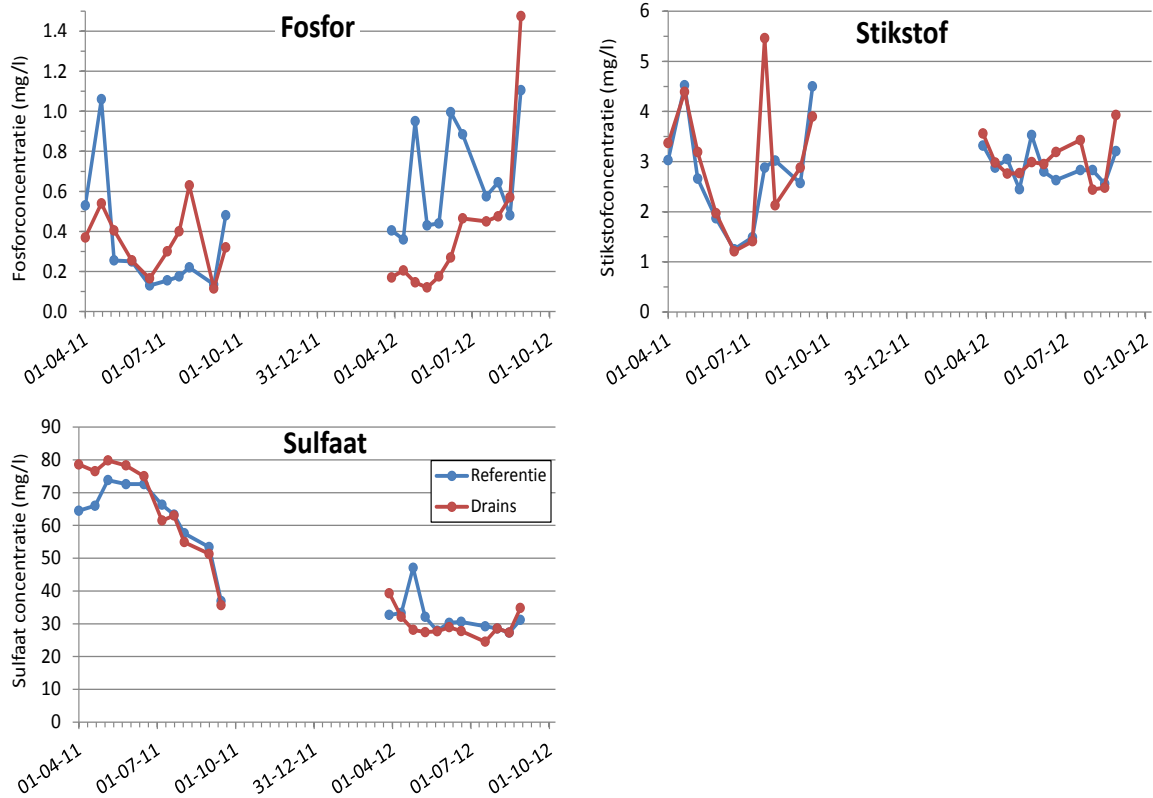


Figuur 6.20 Vrachten van fosfor, stikstof en sulfaat uitgedrukt in kg per ha land uit de meetsloten van Referentie en Drains.

De afname van fosforvrachten en -concentraties bij drains kan het gevolg zijn van de drogere omstandigheden tijdens natte perioden waardoor fosfor (uit mest) beter gebonden wordt en blijft aan het bodemcomplex. Hierbij moet echter worden bedacht dat de metingen van de proefvelden met drains gedaan zijn aan een recent verstoorte situatie, hooguit één (2011) tot twee (2012) jaar nadat de drains zijn ingebracht, wat in de hoogreactieve veenbodem een verstoring van de fysiobiochemische toestand rond drains betekent die enkele jaren kan duren. De conclusies aan de hand van de metingen zijn daarom voorlopig richtinggevend maar worden in het algemeen gesteund door de modelberekeningen. De conclusie lijkt gerechtvaardigd dat voor nutriëntentema 'afwenteling' er geen wezenlijke effecten van drains zijn op de afwenteling van stikstof en sulfaat op buitengebieden en licht positieve (afnemende) effecten op fosfor.

6.2.1.2 Waterkwaliteit in zomerhalfjaar

Voor thema 'waterkwaliteit' is gekeken naar het verloop van de nutriëntenconcentraties in de tijd in de zomerperiode (april tot oktober), de periode waarvoor de normen gelden. Hoewel de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten ook van belang is voor de waterkwaliteit was het niet mogelijk om die in het onderzoek vast te stellen. Met de beschikbare gegevens - concentraties, uitgedrukte vrachten en ingepompte vrachten - was het niet mogelijk zonder een diepgaande analyse of modelberekeningen een nutriëntenbalans voor de meetsloten op te stellen. De belangrijke onbekende termen zijn vooral: de hoeveelheid die af- en uitspoelt van en uit de bodem en de invloed hierop van omzettingprocessen in slotwater en slotbodem.



Figuur 6.21 Gemeten concentraties van fosfor, stikstof en sulfaat in het oppervlaktewater van de slootbakken van Referentie en Drains, voor de zomermaanden.

Figuur 6.20 laat de gemeten nutriëntenconcentraties in de twee slootbakken in de zomermaanden zien. In tabel 6.10 zijn statistische maten gegeven. Hier komt in algemene zin een vergelijkbaar beeld uit als bij de afwentelingsvrachten: verschillen zijn meestal klein en bijna nooit eenduidig. Uitzonderingen zijn vooral fosfor en in mindere mate sulfaat in 2012. Daarbij zijn de concentraties van Drains duidelijk en eenduidig lager dan die van Referentie. Dit terwijl de concentraties in 2011 juist gemiddeld hoger zijn bij Drains. Deze tegenstelling tussen beide jaren bij fosfor en sulfaat wordt weerspiegeld in de zeer grote standaardafwijking van de gemiddelde verschillen tussen Drains en Referentie ten opzichte van dat gemiddelde. Oorzaak van deze tegenstelling kan zijn dat de verstoreng van de fysio-biochemische toestand rond de drains in 2011 verser is dan in 2012.

Voor fosfor is bij Drains de afname van de concentraties in 2012 zoveel groter dan de toename in 2011 dat gemiddeld over beide jaren een duidelijke afname van 25% optreedt bij Drains (tabel 6.10). Dit komt overeen met de bevindingen uit de modelstudie van Hendriks en Van den Akker (2012). Bij sulfaat is dit effect niet erg duidelijk met een geringe mediane afname en een zeer geringe gemiddelde toename over het totaal van beide jaren. De conclusie voor sulfaat is dat deze metingen geen duidelijk verschil laten zien tussen Drains en Referentie.

Tabel 6.10

Statistische maten (mg L^{-1}) voor concentraties van fosfor, stikstof en sulfaat gemeten in de slootbakken van Referentie en Drains in de zomermaanden en de verschillen hierin tussen beide behandelingen.

Statistische maat	Referentie			Drains			Drains minus Referentie		
	fosfor	stikstof	sulfaat	fosfor	stikstof	sulfaat	fosfor	stikstof	sulfaat
Mediaan	0,44	2,8	37	0,32	3,0	36	-0,16 (-36%)	0,1 (+4%)	-0,3 (-1%)
Gemiddeld	0,51	2,9	47	0,38	3,0	47	-0,13 (-25%)	0,2 (+7%)	0,2 (0%)
Standaardafwijking	0,32	0,8	20	0,29	1,0	21	0,32	0,7	7,0

Stikstof is het minst eenduidig van de drie nutriënten. Het mediane en het gemiddelde verschil geven beide een toename van de concentratie door drains aan in de orde van 5%. Ook is hierbij de standaardafwijking groot ten opzichte van het gemiddelde. Beide, gemiddelde toename bij Drains en standaardafwijking worden sterk bepaald door een hoge piek bij Drains op 21 juni 2011. Weglaten hiervan geeft een gemiddeld verschil van 0,05 mg L⁻¹ of 2% en een standaardafwijking van 0,4. Deze kleine toename door Drains geldt dan volledig voor 2012, terwijl in 2011 het verschil zeer gering is. Figuur 6.21 laat zien dat de toename in stikstofconcentratie door Drains in 2012 niet eenduidig is: vijf van de elf metingen tonen een toename door Drains, drie een afname en de overige drie een slechts gering verschil. Net als bij sulfaat is de conclusie voor stikstof dat de metingen geen duidelijk en eenduidig effect van drains laten zien op de zomerconcentraties in het slootwater.

Ook bij de conclusies over de effecten van drains op de zomerconcentraties geldt de kanttekening die is verwoord in de laatste alinea van subparagraaf 6.2.1.1 Afwenteling.

Tenslotte is opvallend dat de sulfaatconcentratie afneemt in de tijd, zowel bij Referentie als bij Drains. In 2012 is de gemiddelde concentratie slechts de helft van die in 2011. Dit kan worden verklaard door de uitspoeling van door pyrietoxidatie gevormd sulfaat in de veenbodem in de natte tweede helft van 2011, terwijl in de natte zomer van 2012 de sulfaatvorming door pyrietoxidatie sterk achterblijft en daardoor de sulfaatconcentraties in de veenbodem ook.

6.2.2 Scenario's van natte en droge jaren

In tabel 6.11 zijn de resultaten gegeven van de scenarioberekeningen voor het droge jaar 1976 en natte jaar 1981. Deze berekeningen zijn uitgevoerd met een ANIMO-model dat is gekalibreerd op de gemiddelde uitspoelingsconcentraties van tabel 6.9. Hierbij zijn de gemeten concentraties gesimuleerd met een afwijking kleiner dan 5%.

Tabel 6.11

Resultaten van de scenarioberekeningen van het droge jaar 1976 en het natte jaar 1981 als uitspoelingsvrachten (kg per ha land + water per jaar) en gemiddelde uitspoelingsconcentraties (mg L⁻¹) van fosfor, stikstof en sulfaat voor de situatie zonder en met drains en het verschil hier tussen. Negatief betekent afname van vracht of concentratie door gebruik van drains. 'Berg' staat voor de nutriëntenberging in het slootwater aan het begin van de zomer, opgebouwd in de winter door uitspoeling. 'Net' is de netto uitspoelingsvracht als uitspoeling minus infiltratie. Bij zomer is hierin ook opgenomen de berging 'berg' in het slootwater. De kleuren bij de verschillen verwijzen naar de klassen van verschil in **percentage** van de situatie zonder drains, zoals aangegeven onder de tabel.

Nutrient	Scenario- jaar	Absolute waarden												Verschilwaarden			
		Bruto vracht: uitspoeling						infiltratie		Concentraties				Wel drain - Niet drain			
		Niet drain			Wel drain			Niet zom	Wel zom	Niet drain		Wel drain		net vracht		concentrat.	
		jaar	berg	zom	jaar	berg	zom			wint	zom	wint	zom	jaar	zom	wint	zom
Fosfor	1976	1.16	0.24	0.10	1.32	0.23	0.21	0.50	0.64	0.57	1.12	0.54	0.81	0.01	-0.03	-0.03	-0.31
	1981	3.63	0.27	0.48	3.44	0.24	0.63	0.22	0.38	0.65	0.70	0.57	0.57	-0.36	-0.04	-0.08	-0.12
Stikstof	1976	12.1	2.5	0.9	12.1	2.1	2.0	4.0	5.0	6.0	10.3	5.0	7.4	-1.2	-0.4	-1.0	-2.9
	1981	28.7	2.1	4.3	27.8	2.0	5.4	1.8	3.0	5.1	6.0	4.5	4.9	-2.3	-0.3	-0.6	-1.1
Sulfaat	1976	191	42	0	128	25	6	48	60	102	5	60	22	-78	-24	-42	18
	1981	208	16	27	211	15	35	21	36	38	38	36	32	-13	-7	-2	-6

Klassen (%): < -25 -25 - -15 -15 - -5 -5 - 5 5 - 15 15 - 25 > 25

Tabel 6.11 toont de absolute bruto nutriëntenvrachten als uitspoeling voor het hele jaar en het zomerhalfjaar, en als infiltratie voor het zomerhalfjaar, de gemiddelde nutriëntenuitspoelingsconcentraties voor winter- en zomerhalfjaar en de bergingsvoorraad in de sloot aan het einde van de winter, voor de situatie zonder en met drains. De infiltratie in het winterhalfjaar is in 1976 niet helemaal nul, maar erg klein (15 keer) ten opzichte van de infiltratie in het zomerhalfjaar en daarom niet getoond; in het natte jaar 1981 is de winterinfiltratie wel nul.

De vier rechtse kolommen van de tabel geven de verschillen tussen de situatie met en zonder drains en daarmee de effecten van onderwaterdrains op de getoonde grootheden. De netto vrachten voor het jaar zijn de 'afwentelingsvrachten' en die voor de zomer de 'waterkwaliteitsbelasting', beide zoals gedefinieerd in subsubparagraaf 2.1.2.3 volgens Hendriks en Van den Akker (2012). De concentraties zijn de gemiddelde uitspoelingsconcentraties voor winter- en zomerhalfjaar. De kleuren bij de verschillen verwijzen naar de klassen van verschil in percentage van de situatie zonder drains (aangegeven onder de tabel).

De jaarvrachten zijn het grootst in het natte jaar 1981 als de drainage het grootst is. De infiltratievrachten zijn juist het grootst in het droge jaar 1976 met de grootste infiltratiebehoefte. Ook zijn ze consequent groter bij drains omdat daarbij de infiltratie het grootst is (infiltratieconcentraties zijn gelijk voor met en zonder drains). De uitspoelingsvrachten zijn bij drains niet altijd groter, hoewel daarbij de drainage wel consequent groter is dan bij zonder drains. Dit komt door het samenspel van waterhoeveelheden en concentraties. De laatste zijn op één uitzondering na allemaal lager bij drains. De uitzondering is sulfaat in de droge zomer van 1976. De uitspoelingsconcentratie zonder drains is dan extreem laag omdat uit/afspoeling nagenoeg alleen tot stand komt door afstroming van water bij grote buien met hoge intensiteit over een veenbodem waarin de sulfaatconcentraties aan maaiveld zeer laag zijn. Bij drains wordt een groot deel van dit neerslagwater door de bodem afgevoerd waarin wel hoge sulfaatconcentraties voorkomen met als gevolg een veel hogere uitspoelingsconcentratie.

Bij de winterberging (berg) in het slotwater zijn waterhoeveelheden in de sloot gelijk voor met en zonder drains. Het aandeel bodemwater in deze waterberging is iets groter bij drains en daardoor het aandeel neerslag iets kleiner. Maar omdat de winteruitspoelingsconcentraties consequent (veel) lager zijn bij drains is de winterberging ook consequent kleiner bij drains.

Dit alles resulteert in de verschillen in 'afwentelingsvrachten' onder 'jaar' en 'waterkwaliteitsvrachten' onder 'zomer' van de op twee na meest rechtse kolommen van de tabel. Zoals uitgelegd in 2.1.2.3 zijn dit in beide gevallen netto vrachten als uitspoeling minus infiltratie, plus bij de netto zomervracht opgeteld de winterbergingsvracht. De verschillen laten overal negatieve getallen en groene kleuren zien wat betekent dat de belasting voor beide nutriëntentema's afneemt bij toepassing van onderwaterdrains. Uitzondering vormt de fosforbelasting bij afwenteling in droog jaar 1976. Dan hebben drains een verwaarloosbare toename van de belasting tot gevolg. Reden is dat in het droge jaar de drainerende werking van de drains, met als gevolg in natte tijden een drogere bodem waarin fosfor sterker gebonden blijft, een minder groot positief effect sorteert dan in een gemiddeld of uitgesproken nat jaar als 1981.

De meeste donkergroene kleuren komen voor bij sulfaat, gevolgd door stikstof, en dan vooral in het droge jaar 1976. De verklaring hiervoor is dat de vernattende werking van de drains in droge omstandigheden de stikstofmineralisatie en de pyrietoxidatie remmen, belangrijke bronnen van oplosbaar stikstof en sulfaat. Bij nutriëntentema 'waterkwaliteit' zijn de donkergroene kleuren talrijker dan bij thema 'afwenteling'. Dit is voor een belangrijk deel het gevolg van de grotere infiltratievracht bij drains die een geringere netto uitspoelingsvracht geeft.

Resumerend geven de modelberekeningen in extreem droge en natte jaren vooral bij sulfaat en stikstof een gering tot sterk verlagend effect van onderwaterdrains op de belasting aan. Het sterke effect treedt vooral op in een droog jaar. Bij fosfor is juist in zo'n jaar geen relevant effect voor de belasting van thema 'afwenteling' te verwachten maar wel een relatief grote afname voor de belasting van thema 'waterkwaliteit'. In het natte jaar is het effect voor fosfor een (lichte) afname van de belasting van beide thema's.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies Krimpenerwaard

Deze conclusies zijn gebaseerd op zowel de metingen aan debieten en waterkwaliteit in de jaren 2011 en 2012 als de modevaluatie, waarbij extreme neerslag en zeer natte en droge jaren zijn beschouwd. De waarden genoemd in deze conclusies hebben betrekking op de pilot in de Krimpenerwaard.

1. In het extreem droge jaar 1976 is in de periode van begin april tot begin september de extra inlaat bij toepassing van onderwaterdrains bijna 30% (80 mm) groter dan bij de referentie. Omdat de droogte bijna continu was, betekent dit dat de extra waterbehoefte bij toepassing van drains ca. 0,5 mm per dag zou zijn geweest.
2. Door de infiltratie via de drains zakt de grondwaterstand bij toepassing van onderwaterdrains in droge zomers ca. 20 cm minder diep uit dan bij de referentie.
3. Gebaseerd op deze 20 cm minder diepe uitzakking van de grondwaterstand, kan worden ingeschat dat de maaiveld daling met ca. 6 mm (60 %) wordt gereduceerd.
4. Bij extreme buien (bijna 50 mm) stijgt het slootpeil bij de referentie met ca. 10 cm en bij de drains met ca. 13 cm.
5. Bij extreme buien kunnen de drains niet voorkomen dat de grondwaterstand tot in het maaiveld stijgt. Wel zakt de grondwaterstand bij de drains veel sneller en daarna liggen de grondwaterstanden bij de drains gemiddeld 10 cm onder de grondwaterstanden bij de referentie.
6. Voor het nutriëntenthema 'afwenteling' zijn er in 2011 en 2012 geen wezenlijke effecten van drains op de afwenteling van stikstof en sulfaat op buitengebieden en licht positieve (afnemende) effecten op de afwenteling van fosfor.
7. Voor het nutriëntenthema 'waterkwaliteit in de zomer' laten de metingen in 2011 en 2012 voor sulfaat en stikstof geen duidelijk en eenduidig effect van drains zien op de zomerconcentraties in het slootwater. Voor fosfor is er een duidelijk positief (lagere concentratie) resultaat.
8. Uit de modelberekeningen voor extreem droge en natte jaren volgt vooral bij sulfaat en stikstof een gering tot sterk verlagend effect van onderwaterdrains op de belasting, zowel voor 'afwenteling' als voor 'waterkwaliteit'. Het sterke effect treedt vooral op in een droog jaar. Bij fosfor is juist in zo'n jaar geen relevant effect voor de belasting van thema 'afwenteling' te verwachten, maar wel een relatief grote afname voor de belasting van thema 'waterkwaliteit'. In het natte jaar is het effect voor fosfor een (lichte) afname van de belasting van beide thema's.

7.2 Algemene conclusies

Deze algemene conclusies zijn niet alleen gebaseerd op de pilot Krimpenerwaard maar ook op de andere twee pilots, het bijkomende onderzoek en eerder onderzoek.

Maaiveld dalingen

Uit metingen bij eerder gestarte proeflocaties blijkt in het algemeen dat de maaiveld daling sterk afneemt. Dit is echter niet bij elke proeflocatie het geval. Voorlopig valt er bij de pilot in de Krimpenerwaard en de pilots in de Keulevaart en Demmeriksekade nog niets te zeggen over het effect van onderwaterdrains op de maaiveld daling, omdat het aantal meetjaren nog veel te weinig is. Daarnaast waren de zomers van 2011 en 2012 relatief nat, zodat de grondwaterstanden niet diep zijn uitgezakt en de maaiveld daling in beide jaren beperkt zal zijn gebleven.

Grondwaterstanden

Uit de gemeten grondwaterstanden bij de pilot Krimpenerwaard in een dwarsdoorsnede blijkt niet dat de grondwaterstand sterk wordt beïnvloed door toepassing van onderwaterdrains. Uit continuumetingen met Divers blijkt wel het gunstige effect van onderwaterdrains. Zie verder bij de evaluatie van de meetresultaten met het model SWAP, waar dit nog beter tot uitdrukking komt.

Waterkwaliteit

Gebaseerd op de directe metingen lijkt voor zowel sulfaat als fosfor de waterkwaliteit bij Drains beter te zijn. Voor stikstof lijkt er geen verschil te zijn. Opvallend is dat de waterkwaliteit bij zowel Referentie als Drains beter is dan in de sloten direct buiten het proefperceel. Al met al zijn de verschillen echter niet zo groot tussen Referentie en Drains dat deze conclusies echt hard zijn, temeer daar zowel 2011 als 2012 natte jaren waren en grote verschillen pas kunnen worden verwacht bij droge jaren. Zie verder de modevaluatie van de waterkwaliteit.

Grasopbrengsten

De grasopbrengsten zijn bij de pilot Krimpenerwaard in 2011 bij Drains hoger dan bij Referentie. Echter in 2012 is dit het omgekeerde en is de drogestof-opbrengst bij Drains ca. 930 kg/ha lager dan bij Referentie. Bedacht moet worden dat dit netto-opbrengsten zijn, dus dat dit zonder vertrapingsverliezen is en extra grasopbrengsten door een eventueel langer weideseizoen bij Drains.

Draagkracht

Bij de pilot Krimpenerwaard werden nauwelijks verschillen gemeten in de draagkracht. In een uitgebreider onderzoek op verschillende praktijkbedrijven werd wel een toename van de draagkracht gemeten.

Effect op de geschiktheid voor weidevogels

Dit is een onderzoek uitgevoerd door Landschapsbeheer Zuid-Holland. Toepassing van onderwaterdrains lijkt geen nadelige effecten te hebben voor weidevogels wat betreft de foeragering. Niet onderzocht zijn effecten van een eerder weideseizoen en betere mogelijkheden voor berijding (eerder rollen zou gunstig zijn voor weidevogels, eerder maaien juist weer niet).

Maximale lengte van onderwaterdrains

Bij de nu gebruikte drains met een diameter van 6 cm blijkt de effectiviteit om de grondwaterstand te verlagen bij ongeveer 250 m lengte te zijn gehalveerd. In natte perioden wordt dan nog wel een verlaging van de grondwaterstand van 10 cm gerealiseerd, wat op zich al leidt tot een merkbare draagkrachtverbetering. Bij een lengte van 450 m lijkt de verlaging van de grondwaterstand nihil te worden.

2012 was een nat jaar en de grondwaterstand daalde te weinig om een goede indruk te krijgen of de infiltratie om de grondwaterstand te verhogen ook al bij ca. 250 m wordt beperkt. Dit kan alleen in een jaar met drogere perioden worden gemeten.

De kwaliteit van aanleg van onderwaterdrains

Het gaat hierbij vooral om de hoogteligging (zo horizontaal mogelijk) en het eerste stuk vanaf de sloot. Het blijkt goed mogelijk om over langere lengten een onderwaterdrain horizontaal te leggen. Twee van vier draineurs slaagden erin om constant werk van goede kwaliteit af te leveren. Wel blijkt een zeer matige tot slechte draagkracht een nadelig effect op de kwaliteit te hebben. Bochten maken met de drains lijkt geen echt probleem te zijn.

Praktijkervaringen en economische haalbaarheid

In het praktijknetwerk wordt in het algemeen geconcludeerd dat onderwaterdrainage werkt en de draagkracht daadwerkelijk wordt verbeterd. In het algemeen, want er zijn ook enkele deelnemers die de resultaten nog niet overtuigend vinden. Onderwaterdrains lijken goed economisch haalbaar, maar de marges zijn vrij klein. Het voordeel van onderwaterdrains zal daarbij afhangen of vertrapingsverliezen inderdaad minder worden en het weideseizoen verlengt wordt.

Conclusies resultaten evaluatie van de metingen met het model

Voor de analyse en interpretatie van de meetgegevens van grondwaterstanden en in en uit gepompte hoeveelheden water is het model van grote waarde geweest. De verschillen in belangrijke kenmerken van de proefvelden, zoals effectieve maaiveldhoogte en effectieve grootte van het afwateringsgebied, zijn te groot tussen de proefgebieden om alleen op de metingen te kunnen varen.

De gekalibreerde drainageweerstand en infiltratieweerstand bedragen respectievelijk 49 dagen en 57 dagen. Dit is bijna twee keer zo groot als op theoretische gronden verwacht. De drains werken daardoor theoretisch wat minder goed dan verwacht.

Uit de schattingen op grond van de metingen en de interpretatie met het model daarvan is het verhogende effect van drains op de grondwaterstand in de droge periode van 2011 10 cm ('gemeten') tot 15 cm (model).

Pieken in de grondwaterstand bij hevige neerslag worden met drains beter 'verwerkt' waardoor de pieken sneller dalen. Ook voor deze situatie zijn de modelvoorspellingen wat gunstiger dan de schattingen uit de metingen: een maximum verlaging van 30 cm tegen 20 cm in de schattingen. Wel blijkt ook uit de metingen dat de drains de piekmomenten van grondwaterstanden goed kunnen opvangen door hun betere drainerende werking dan die van de sloot.

De toename in de met het gekalibreerde model gesimuleerde drainagepieken bij Drains zijn op dagbasis soms fors, tot 43% en 54% in de meetperiode. Het effect hiervan op de uitslag van overtollig water wordt onder het volgende kopje besproken.

De effecten van drains op de gesimuleerde pieken in infiltratie op dagbasis zijn relatief gezien groter dan bij drainage. Absoluut gezien gaat het echter om geringe verhogingen. Toename van de infiltratiebehoefte is een veel geleidelijker proces dan het verwerken van grote neerslagbuien met grote intensiteit.

Conclusies resultaten scenario's van natte en droge jaren

De berging van water in het oppervlaktewater heeft door het grote aandeel hiervan in het areaal (16%) een belangrijk dempend effect op de snellere en grotere drainage op piekmomenten bij toepassen van drains. Maar ook zonder drains worden grote buien voor een belangrijk deel opgevangen door de sloot met als gevolg een peilstijging tot 10 cm bij de grootste buien. Bij onderwaterdrains komt hier maximaal 3,2 cm bovenop. Dat is 30%, maar duurt slechts enkele uren, en binnen een paar dagen is dit terug gebracht naar nul en is het streefpeil van -45 cm bereikt. De vraag voor de waterbeheerder is of deze extra stijging acceptabel is. Op het piekmoment bedraagt de geringste drooglegging circa 33 cm voor enkele uren. Ook is het zo dat bij drains deze tijdelijk geringere drooglegging maar een beperkt effect heeft op de ontwateringstoestand van de bodem omdat drains deze ontwatering weer snel bevorderen na de bui. In de situatie zonder drains blijft het water daardoor langer in de bodem wat bij nieuwe neerslag weer eerder tot snelle afvoer leidt via *runoff*, greppelafvoer en *interflow* (ondiepe uitspoeling).

Het effect van onderwaterdrains onder extreme omstandigheden met extreme buien is evident en groot: drains bewerkstelligen onder extreem natte omstandigheden (grondwaterstand tot boven maaiveld) grondwaterstand-verlagingen tot gemiddeld ruim 10 cm en maximaal 45 cm onder de grondwaterstanden van de situatie zonder drains.

De drains hebben een groot effect op de infiltratie van slootwater de bodem in en daarmee op de inlaat van water gedurende het/de zeer droge voorjaar en zomer van erg droge jaar 1976. De toename van de infiltratie door drains bedraagt 41% in 1976 en de toename van de bruto inlaat 28%. In het iets minder droge jaar 2003 bedraagt deze toename 32%, maar is in absolute termen kleiner dan in 1976: 51 mm tegen 65 mm. De orde van grootte van de toename in zeer droge jaren ligt rond 30% en 60 mm.

Het effect van onderwaterdrains gedurende de droge periode in 1976 is dat de grondwaterstand minder ver uitzakt waardoor de laagste waarde in de zomer die wordt bereikt in de situatie zonder drains niet wordt bereikt. De grondwaterstandverhoging door drains bedraagt dan maximaal 20 cm.

De toename in de uitslag gedurende het gehele jaar is ook in droge jaren relatief groot met 14% in 1976 en 12% in 2003, in ieder geval groter dan de relatieve toename bij de extreme buien. Dit is het effect van een structureel snellere afvoer van overtollig neerslagwater uit de veenbodem bij drains. Maar ook de extra infiltratie de veenbodem in door verhoogde infiltratie bij drains veroorzaakt in natte tijden volgend op droge tijden een snellere afvoer van water uit de initieel al nattere bodem.

De grondwaterstandverlaging door drains die gepaard gaat met de grotere uitslag in droge jaren ligt in dezelfde orde van grootte als die bij de buien en bedroeg maximaal 28 cm in 1976.

Conclusies resultaten van de metingen van effecten drains op nutriëntenuitspoeling

Op grond van de meetresultaten lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat voor het uitpompen van stikstof en sulfaat uit de meetsloten (afwenteling) er geen wezenlijke verschillen zijn in uitgedempte en uitgespoelde vrachten tussen de proefvelden met en zonder drains. Voor fosfor lijkt er wel een verlagend effect van drains op de vrachten te zijn. Het effect van drains op de gemiddelde uitspoelingsconcentraties is een lichte verlaging bij stikstof en sulfaat, en een duidelijke verlaging bij fosfor.

De meetgegevens van nutriëntenconcentraties in het zomerhalfjaar als schatters voor de nutriëntentoestand van het slootwater laten geen eenduidig verschil in concentraties van stikstof en fosfor zien tussen de meetsloten met en zonder drains. Ook statistische maten suggereren dat er geen duidelijk verschil in concentraties is tussen beide meetsloten. Voor fosfor tonen deze maten wel een duidelijke verlaging van de concentraties in de orde van 30% aan.

Hierbij moet worden bedacht dat de metingen van de proefvelden met drains gedaan zijn aan een recent verstoorde situatie, hooguit één (2011) tot twee (2012) jaar nadat de drains zijn ingebracht, wat in de hoogreactieve veenbodem een verstoring van de fysio-biochemische toestand rond drains betekent die enkele jaren kan duren. De conclusies aan de hand van de metingen zijn daarom voorlopig richtinggevend.

Conclusies resultaten van effecten drains op nutriëntenuitspoeling in extreme jaren

De modelberekeningen naar het effect van onderwaterdrains op de nutriëntenbelasting in extreem droge en natte jaren geven vooral bij sulfaat en stikstof een gering tot sterk verlagend effect van onderwaterdrains op de belasting aan. Het sterke effect treedt vooral op in een droog jaar als 1976. Bij fosfor is juist in zo'n jaar geen relevant effect voor de belasting van thema 'afwenteling' te verwachten maar wel een relatief grote afname voor de belasting van thema 'waterkwaliteit'. In het natte jaar 1981 is het effect voor fosfor een (lichte) afname van de belasting van beide thema's.

7.3 Aanbevelingen

In beide meetjaren waren de zomers nat. Wat de effecten van een droge zomer zijn, is daarom in deze proefopzet niet gemeten. Aanbevolen wordt om de pilots minder intensief voort te zetten, vooral door de (dure) waterkwaliteitsmetingen sterk te beperken. Treedt een droge periode op, dan kan dan worden besloten om de metingen tijdelijk te intensiveren.

De aanleglengte van onderwaterdrains blijft een heikel punt. Uit globale berekeningen (niet gepubliceerd) volgt dat de draindiameter een grote invloed heeft op de maximaal toelaatbare lengte. Voorgesteld wordt om in de praktijk verder te onderzoeken of een grotere diameter van de drainbuis niet veel grotere lengten mogelijk maakt.

De kwaliteit van aanleg van de drains heeft een grote invloed op het functioneren. Aanbevolen wordt om bij bestaande langere drains te onderzoeken wat de vlakligging is en of eventueel luchtinsluitingen aanwezig zijn.

Om de betekenis van de beschreven effecten van onderwaterdrains voor het waterbeheer van een geheel bemalingsgebied vast te stellen, wordt aanbevolen om het gebied met een hydraulisch netwerkmodel door te rekenen waaraan een neerslagafvoermodule is gekoppeld die op een realistische manier de invloed van onderwaterdrains op de wateruitwisseling tussen veenbodem en oppervlaktewater kan beschrijven. De hier besproken resultaten geven aan dat voor realistische berekeningen een terugkoppeling tussen bodem en oppervlaktewatersysteem op kleine tijdschaal (≤ 1 uur) onontbeerlijk is.

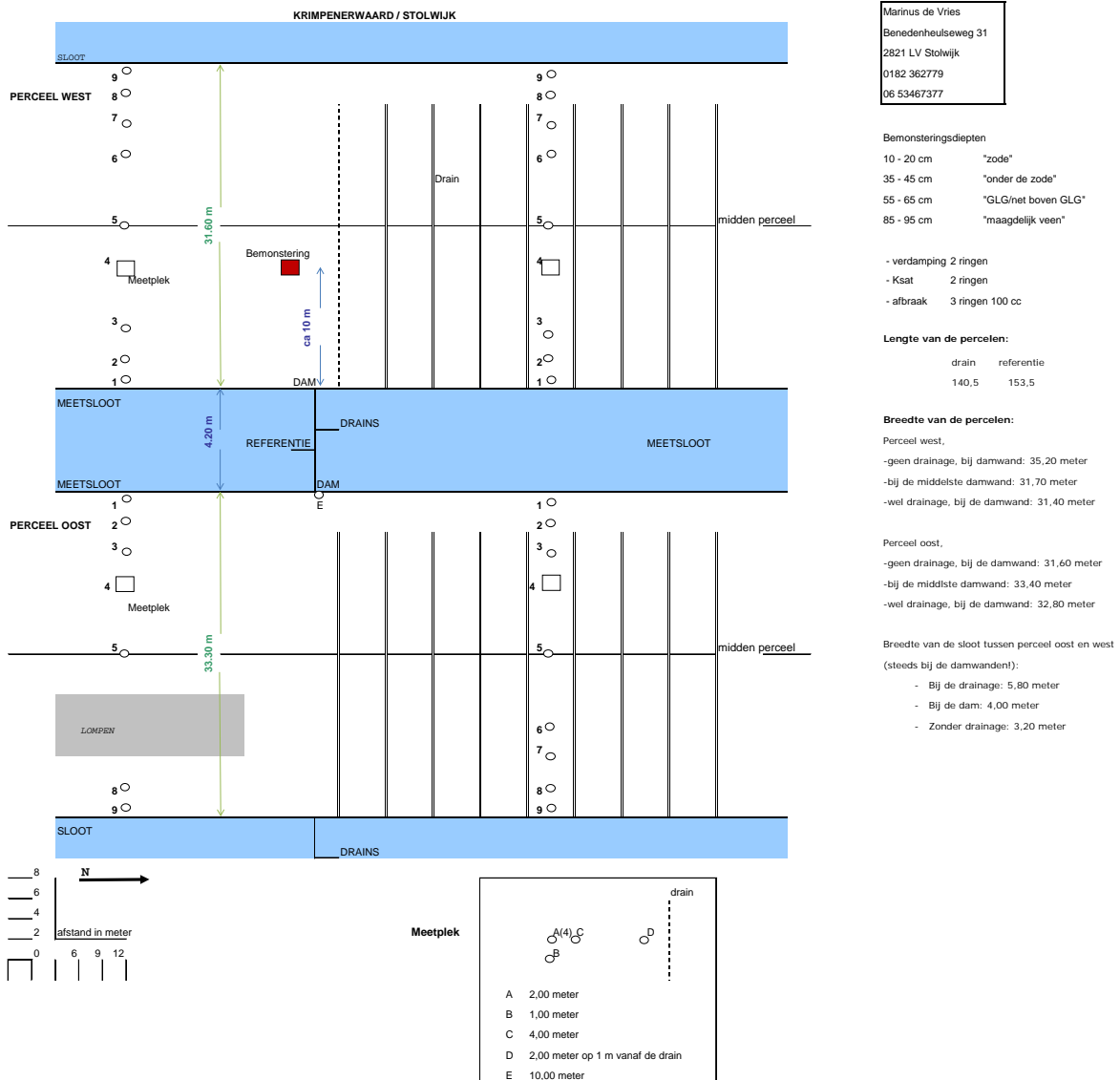
De melkveehouder speelt bij de introductie van onderwaterdrains in het veenweidegebied uiteraard een centrale rol. Voortzetting van het bestaande praktijknetwerk en uitbreiding daarvan is daarom essentieel.

Referenties

- Akker, J.J.H. van den, J. Beuving en K. Oostindie, 1993. Berijdingsmogelijkheden veengrasland I: Draagkracht en uitrijmogelijkheden in het voorjaar. In: H. Snoek (ed.), *Grasland en berijding; inleidingen van de themadag op donderdag 17 juni 1993*. Lelystad, PR, 1993, blz. 19-26.
- Akker, J.J.H. van den, J. Beuving, R.F.A. Hendriks en R.J. Wolleswinkel, 2007a. 5510 Maaiveldaling, afbraak en CO₂ emissie van Nederlandse veenweidegebieden. Leidraad Bodembescherming, afl. 83, Sdu, Den Haag, 32 p.
- Akker, J.J.H. van den, R.F.A. Hendriks en J.R. Mulder, 2007b. Invloed van infiltratiewater via onderwaterdrains op de afbraak van veengrond; Helpdeskvraag HD2057 Onderwaterdrains van Drunen 1106. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1597, 43.
- Akker, J.J.H. van den, P.J. Kuikman, F. de Vries, I. Hoving, M. Pleijter, R.F.A. Hendriks, R.J. Wolleswinkel, R.T.L. Simões en C. Kwakernaak, 2008. Emission of CO₂ from agricultural peat soils in the Netherlands and ways to limit this emission. In: Farrell, C and J. Feehan (eds.), 2008. *Proceedings of the 13th International Peat Congress After Wise Use – The Future of Peatlands*, Vol. 1 Oral Presentations, Tullamore, Ireland, 8 - 13 June 2008. International Peat Society, Jyväskylä, Finland. ISBN 0951489046. pp 645-648
- Akker, J.J.H. van den, R. Hendriks, I. Hoving en M. Pleijter, 2010. Toepassing van onderwaterdrains in veenweidegebieden. Effecten op maaiveldaling, broeikasgasemissies en het water. Werkgemeenschap voor Landschapsonderzoek (WLO), Utrecht, Landschap 27/3, 137-149
- Akker, J.J.H. van den, P.C. Jansen en E.P. Querner, 2011. De huidige en toekomstige watervraag van veengronden in het Groene Hart; Verkenning naar het effect van onderwaterdrains. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2142.
- Beuving, J., K. Oostindie en Th. Vellinga, 1989. Vertrappingsverliezen door onvoldoende draagkracht van veengrasland. Wageningen, Staring Centrum, Rapport 6, 31 pp.
- CTV, werkgroep herziening cultuurtechnisch vademecum, 2000. Cultuur Technisch Vademecum. Cultuurtechnische Vereniging, Utrecht.
- De Vos, J.A., P.J.T. van Bakel, I.E. Hoving, J.G. Conijn, 2006. Waterpas-model: a predictive tool for water management, agriculture and environment. *Agricultural Water Management*, Vol. 86, 187-195.
- Gerven, L.P.A. van, B. van der Grift, R.F.A. Hendriks, H.M. Mulder en T.P. van Tol-Leenders, 2011. Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Krimpenerwaard. Bronnen, routes en sturingsmogelijkheden. Reeks Monitoring Stroomgebieden 25-III. Wageningen, Alterra, Alterra rapport 2220.
- Groenendijk, P., L.V. Renaud ennd J. Roelsma, 2005. Prediction of Nitrogen and Phosphorus leaching to groundwater and surface waters; Process descriptions of the Animo4.0 model. Wageningen, Alterra, Alterra rapport 983.
- Hendriks, R.F.A., 1993. Nutriëntenbelasting van oppervlaktewater in veenweidegebieden. Rapport 251, DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Hendriks, R.F.A., D.J.J. Walvoort en M.H.J.L. Jeuken, 2008. Evaluation of the applicability of the SWAP-ANIMO model for simulating nutrient loading of surface water in a peat land area. Calibration, validation, and system and scenario analysis for an experimental site in the Vlietpolder. Alterra rapport 619, Alterra, Wageningen.
- Hendriks, R.F.A. en L.P.A. van Gerven, 2011. Nadere beschrijving van de analyse van processen van 'interne eutrofiëring'. In: Van Gerven et al., 2011a.
- Hendriks, R.F.A. en J.J.H. van den Akker, 2012. Effecten van onderwaterdrains op de waterkwaliteit in veenweiden. Modelberekeningen met SWAP-ANIMO voor veenweide-eenheden naar veranderingen van de fosfor-, stikstof- en sulfaatbelasting van het oppervlaktewater bij toepassing van onderwaterdrains in het westelijke veenweidegebied. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2354.
- Hendriks, R.F.A., J.J.H. van den Akker, K. van Houwelingen, J. van Kleef, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2013. Pilots onderwaterdrains Utrecht. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2469.

-
- Hoving, I.E., G. André, J.J.H. van den Akker en M. Pleijter, 2008. Hydrologische en landbouwkundige effecten van gebruik van 'onderwaterdrains' op veengrond. Rapport 102 Animal Sciences Group, Wageningen UR, 68 blz.
- Hoving, I.E., J.J.H. van den Akker en M. Pleijter, 2009. Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zeevang. Rapport 188 Wageningen UR Livestock Research.
- Hoving, I.E., J.J.H. van den Akker, M. Pleijter en K. van Houwelingen, 2011. Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zeevang. Rapport 449 Wageningen UR Livestock Research.
- Hoving, I.E., P. Vereijken, K. van Houwelingen en M. Pleijter, 2013. Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains bij dynamisch slootpeilbeheer op veengrond. Rapport 719 Wageningen UR Livestock Research.
- Jansen, P.C., E.P. Querner en J.J.H. van den Akker, 2009. Onderwaterdrains in het veenweidegebied en de gevolgen voor de inlaatbehoefte, de afvoer van oppervlaktewater en voor de maaiveldvaling. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1872.
- Jansen, P.C., R.F.A. Hendriks en C. Kwakernaak, 2010. Behoud van veenbodems door ander peilbeheer; Maatregelen voor een robuuste inrichting van het westelijk veenweidegebied. Wageningen, Alterra, rapport 2009.
- Kemmers, R.H. en G.F. Koopmans, 2010. Interne eutrofiering en veenafbraak; literatuuronderzoek. Effect van toepassing van onderwaterdrains. Alterra-rapport 1980, Alterra, Wageningen.
- Kroes, J.G., J.C. Van Dam, P. Groenendijk, R.F.A. Hendriks en C.M.J. Jacobs, 2008. SWAP version 3.2. Theory description and user manual. Report 1649. Wageningen UR, Alterra, Wageningen.
- Kruk, M. en A. van der Zijden, 2013. Effecten van onderwaterdrainage op indringweerstand en bodemfauna veenbodems - 2012. Landschapsbeheer Zuid-Holland, Waddinxveen.
- KWIN-Veehouderij 2012. Kwantitatieve Informatie Veehouderij 2012-2013. Animal Sciences Group van Wageningen-UR, Lelystad. Handboek 6.
- Noord, T. van, 2012. Onderwaterdrainage in het veenweidegebied: Het effect van onderwaterdrainage op de draagkracht van de graszode. Stagerapport Christelijke Agrarische Hogeschool Dronten.
- Renaud, L.V., J. Roelsma en P. Groenendijk, 2005. User's guide of the ANIMO 4.0 nutrient leaching model. Alterra-Report 224. Wageningen.
- Schils, R.L.M., M.H.A. de Haan, J.G.A. Hemmer, A. van den Pol-van Dasselaar, J.A. de Boer, A.G. Evers, G. Holshof, J.C. van Middelkoop en R.L.G. Zom, 2007. DairyWise, A Whole-Farm Dairy Model. Journal of Dairy Science, vol: 90 iss: 11 pag: 5334 -5346
- Van den Pol-Van Dasselaar, A., A.P. Philipsen en M.H.A. de Haan, 2013. Economisch weiden. Livestock Research van Wageningen UR, Lelystad. Rapport 679
- Woestenburg, M., 2009. Waarheen met het veen. Uitgeverij Landwerk, Wageningen en Alterra/Wageningen UR.
- Zijden, A. van der en M. Kruk, 2011. Effecten van onderwaterdrainage op indringweerstand en bodemfauna veenbodems. Landschapsbeheer Zuid-Holland, Waddinxveen.

Bijlage 1 Schets drains en indeling pilot Krimpenerwaard



Figuur B1-1 Meetopstellingen pilot Krimpenerwaard nabij de middelste damwand.

Bijlage 2 Boringen Krimpenerwaard, bedrijf M. de Vries



Figuur B2-1 Locatie boorpunten Krimpenerwaard, bedrijf M. De Vries. Boorpunt 4 en twee boorpunten Bod25 (één noordelijk en één zuidelijk van boorpunt 4) en 'zuidelijk') liggen in het westelijke proefveld.

Tabel B2-1

Boringen pilot Krimpenerwaard, algemene gegevens.

ID	code / jaar	STPC_SUB	STPC_CIJF	GHG	GLG	GT	BEW_DIEPTE	Opmerkingen
1	0111PTRGR	1d	c	10	65	IIa	30	
2	0111PTRGR	1d	b	5	60	IIa	25	
3	0111PTRGR	1d	c	10	65	IIa	25	
4	0111PTRGR	1d	b	15	65	IIa	30	
5	0111PTRGR	1d	b	10	65	IIa	40	
6	0111PTRGR	1d	b	10	65	IIa	40	
7	0111PTRGR	1d	b	10	65	IIa	30	
8	0111PTRGR	1d	b	10	65	IIa	30	
5182161024	1984	1d	b	5	55	IIa	25	Noordelijke boring
5182161025	1984	1d	b	10	55	IIa	20	Zuidelijke boring

Tabel B2-2

Profielbeschrijvingen pilot Krimpenerwaard, bedrijf M. de Vries.

Boring nr	Be- gin- diep- te	Eind- diep- te	Hori- zont- nr	Hori- zont	Org_ stof	Veen- soort	Lu- tum	Geo- code	D	Opmerkingen/ omschrijving	D- omschrijving
1	0	30	1	AC	20	DK		110	VK		venige klei
1	30	45	2	Cu	65	BM		130		kienhout	
1	45	70	3	Cur	70	C		130			
1	70	200	4	Cr	85	C		130			
2	0	25	1	Aa	24	DK		692	VK	iets zandbijmenging	venige klei
2	25	30	2	Cw	40	DV		110	KV		kleilig veen
2	30	45	3	Cu	65	C		130			
2	45	55	4	Cur	75	C		130			
2	55	80	5	Cr1	75	BM		130		roodbruin veen	
2	80	200	6	Cr2	60	BE		120		roodbruin slap veen	
3	0	25	1	Aa	20	DK		692	VK	iets zandbijmenging	venige klei
3	25	50	2	Cu	60	C		130			
3	50	65	3	Cur	70	C		130			
3	65	100	4	Cr1	75	BM		130		roodbruin fijn veen	
3	100	120	5	Cr2	70	BM		130		roodbruin veen	
3	120	200	6	Cr3	65	BE		120		roodbruin slap veen	
4	0	30	1	ACg	20	DK	34	110	VK		venige klei
4	30	55	2	Cu	55	C		130			
4	55	110	3	Cr1	75	C		130		zwartbruin veen	
4	110	200	4	Cr2	65	BE		120		roodbruin slap veen	
5	0	5	1	Ah	30	DV		110	VK		venige klei
5	5	38	2	ACg	20	DK		110	VK		venige klei
5	38	55	3	Cur	55	C		130			
5	55	100	4	Cr1	75	BM		130		roodbruin veen	
5	100	200	5	Cr2	65	BE		120		roodbruin slap veen	
6	0	7	1	Ah	40	DV		110	KV		kleilig veen
6	7	15	2	ACg	25	DK	32	110	VK		venige klei
6	15	40	3	Cg	20	DK	34	110	VK	vlekkerig	venige klei
6	40	55	4	Cur	55	C		130			
6	55	110	5	Cr1	70	BM		130		roodbruin veen	
6	110	200	6	Cr2	65	BE		120		roodbruin slap veen	
7	0	5	1	Ah	40	DK		110	KV		kleilig veen
7	5	15	2	ACg	30	DK	32	110	KV		kleilig veen
7	15	30	3	Cg	20	DK	34	110	VK		venige klei
7	30	55	4	Cur	65	C		130			
7	55	70	5	Cr1	75	BM		130		roodbruin veen	
7	70	95	6	Cr2	95	BM		130		kienhout	
7	95	200	7	Cr3	70	BE		120		roodbruin slap veen	
8	0	10	1	ACg	35	DK	32	110	KV		kleilig veen
8	10	30	2	Cg	22	DK	34	110	VK		venige klei
8	30	60	3	Cur	65	C		130			
8	60	80	4	Cr1	75	BM		130		roodbruin veen	
8	80	200	5	Cr2	70	BE		120		roodbruin slap veen	
161024	0	15	1	Aan	50	D				donkerbruin, wat zand	Noordelijke boring
161024	15	30	2	A1b	45	D				donkerbruin	Noordelijke boring
161024	30	60	3	C	65	BE				donkerbruin, houtresten, vezelig	Noordelijke boring
161024	60	140	4	G	70	BE				bruin veen met riet	Noordelijke boring
161025	0	15	1	Aan	50	D				donkerbruin, wat zand	Zuidelijke boring
161025	15	25	2	A1b	50	D				donkerbruin	Zuidelijke boring
161025	25	55	3	C	65	BE				donkerbruin, vezelig	Zuidelijke boring
161025	55	130	4	G	65	BE				bruin, vezelig	Zuidelijke boring

Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport
ISSN 1566-7197



Alterra Wageningen UR is hét 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.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2466
ISSN 1566-7197

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.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

