



Pilot onderwaterdrains Utrecht

R.F.A. Hendriks, J.J.H. van den Akker, K. van Houwelingen, J. van Kleef, M. Pleijter en A. van den Toorn



ALTEERRA
WAGENINGEN UR

Pilot onderwaterdrains Utrecht

R.F.A. Hendriks, J.J.H. van den Akker, K. van Houwelingen, J. van Kleef, M. Pleijter en A. van den Toorn

Het onderzoek is verricht in opdracht van: Provincie Utrecht, Waterschap Amstel, Gooi en Vecht, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden en LTO Noord.

Alterra Wageningen UR
Wageningen, december 2013

Alterra-rapport 2479
ISSN 1566-7197

Hendriks, R.F.A., J.J.H. van den Akker, K. van Houwelingen, J. van Kleef, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2013. *Pilot onderwaterdrains Utrecht*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2479. 148 blz.; 62 fig.; 48 tab.; 30 ref.

Dit rapport beschrijft het onderzoek dat in 2011 en 2012 is uitgevoerd aan twee pilots met onderwaterdrains in Utrecht, in Demmeriksekade (polder Groot-Wilnis) en De Keulevaart (Lopikerwaard). In het onderzoek is voornamelijk het effect van onderwaterdrains op de waterkwantiteit (debieten) en de waterkwaliteit onderzocht. De meetresultaten zijn uitgewerkt en geëvalueerd met de modellen SWAP en ANIMO. Een overzicht van eerder en lopend onderzoek naar maaiveldaling, waterkwantiteit, waterkwaliteit, bedrijfseconomische aspecten en effect op weidevogels is gegeven en betrokken in de conclusies. In de conclusies zijn ook de resultaten van een pilot in de Krimpenerwaard opgenomen (gerapporteerd in Alterra-rapport 2466). 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), maaiveldaling, 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' in de grijze balk onderaan). Alterra Wageningen UR verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 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 Pilot Demmeriksekade	25
	2.1.1 Situatie- en profielbeschrijvingen	25
	2.1.2 Inrichting proefvelden en metingen	26
	2.2 Pilot De Keulevaart	29
	2.2.1 Situatie- en profielbeschrijvingen	29
	2.2.2 Inrichting proefvelden en metingen	30
	2.3 Meting potentiële afbraaksnelheid van veen uit Demmeriksekade, De Keulevaart en Krimpenerwaard	33
	2.3.1 Monstername	33
	2.3.2 Ademhalingsmetingen	33
	2.4 Modevaluatie en -analyse met de modellen SWAP en ANIMO	34
	2.4.1 SWAP	34
	2.4.2 ANIMO	42
3	Meetresultaten en discussie	47
	3.1 Pilot Demmeriksekade	47
	3.1.1 Maaiveldhoogte 2010, 2011 en 2012 Demmeriksekade	47
	3.1.2 Grondwaterstanden Demmeriksekade	49
	3.1.3 Hoeveelheden in- en uitgepompt water Demmeriksekade	51
	3.1.4 Waterkwaliteit Demmeriksekade	51
	3.1.5 Grasopbrengsten in 2011 en 2012 en bedrijfskundige verschillen tussen de percelen met en zonder drains in Demmeriksekade	54
	3.2 Pilot De Keulevaart	55
	3.2.1 Maaiveldhoogte 2011 De Keulevaart	55
	3.2.2 Grondwaterstanden De Keulevaart	58
	3.2.3 Hoeveelheden in- en uitgepompt water De Keulevaart	60
	3.2.4 Waterkwaliteit De Keulevaart	60
	3.2.5 Grasopbrengsten in 2011 en 2012 en bedrijfskundige verschillen tussen de percelen met en zonder drains pilot De Keulevaart	63
	3.3 Veenafbraak bij de pilots Demmeriksekade, De Keulevaart en Krimpenerwaard	64
	3.3.1 Resultaten afbraakmetingen	64
	3.3.2 Conclusies afbraakmetingen	67

4	Demmeriksekade: analyse en evaluatie meetresultaten met modelonderzoek	69
4.1	Water	69
4.1.1	Analyse veldonderzoek	69
4.1.2	Scenario's van natte en droge jaren	78
4.2	Nutriënten	91
4.2.1	Analyse veldonderzoek	91
5	De Keulevaart: analyse en evaluatie meetresultaten met modelonderzoek	97
5.1	Water	97
5.1.1	Analyse veldonderzoek	97
5.1.2	Scenario's van natte en droge jaren	106
5.2	Nutriënten	118
5.2.1	Analyse veldonderzoek	118
5.2.2	Samenvattend	123
6	Synthese van de analyse en evaluatie met modelonderzoek van de drie pilots	124
6.1	Verschillen en overeenkomsten in bepalende eigenschappen	124
6.2	Effecten van onderwaterdrains	125
6.2.1	Grondwaterstanden	125
6.2.2	Drainage en infiltratie in de meetjaren	125
6.2.3	Verwerken van extreme regenbuien	126
6.2.4	Inlaat en uitslag	126
6.2.5	Nutriëntenbelasting	127
7	Conclusies en aanbevelingen	129
7.1	Conclusies	129
7.2	Aanbevelingen	132
	Referenties	133
	Bijlage 1 Boringen Demmeriksekade	135
	Bijlage 2 Schets drains en indeling pilot Demmeriksekade	139
	Bijlage 3 Boringen De Keulevaart	141
	Bijlage 4 Schets drains en indeling pilot De Keulevaart	147

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 waterkwaliteit en de waterkwantiteit. Daarnaast waren er ook vragen in welke mate onderwaterdrains een aantrekkelijke optie zijn voor de melkveehouderij. Dit was reden voor de provincies Utrecht en Zuid-Holland 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: Demmeriksekade, De Keulevaart en Krimpenerwaard. De pilot Demmeriksekade ligt in het gebied van het waterschap Amstel, Gooi en Vecht. De pilot De Keulevaart ligt in het gebied van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden. 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 Utrechtse pilots is onderwerp van dit rapport. De pilot Krimpenerwaard ligt in het gebied van het Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard. Dat onderzoek is begeleid en gefinancierd door de provincie Zuid-Holland, het Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard, LTO-Noord en het Hoogheemraadschap Rijnland. Het onderzoek aan deze Zuid-Hollandse pilot is beschreven in Alterra-rapport 2466. De resultaten en conclusies van alle onderzoeken aan de pilots zijn verwerkt in beide rapporten. Onze dank gaat uit naar de betrokken veehouders G. van Eck, A. van Diemen en M. de Vries voor hun welwillende medewerking in beide onderzoeken.

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

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

Samenvatting

Doel onderzoek

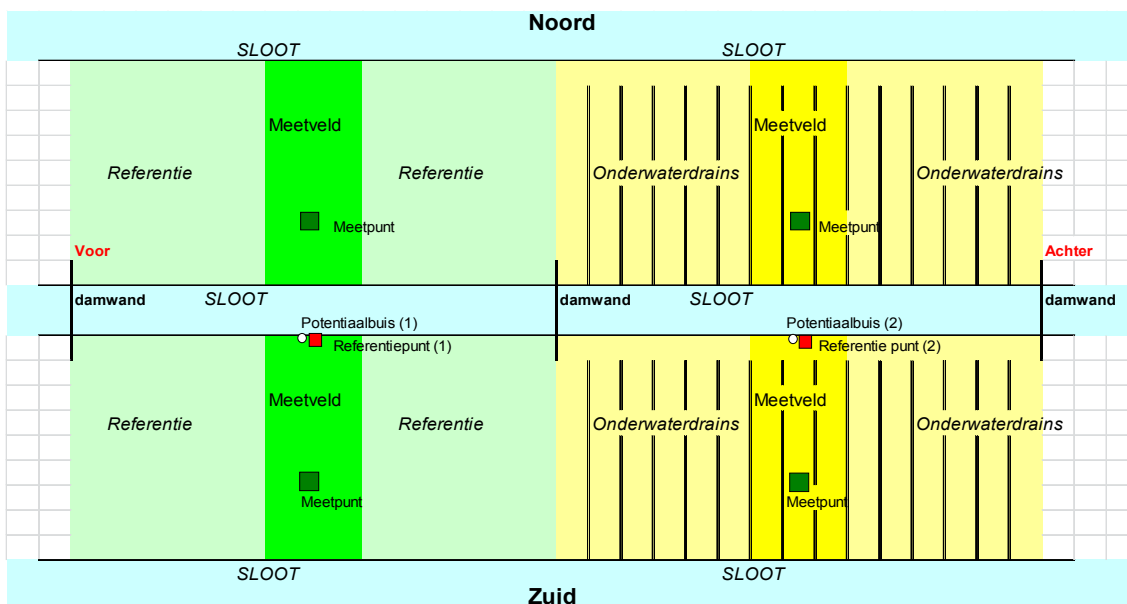
Het uitgevoerde onderzoek heeft tot algemeen doel om inzicht te krijgen in de toepassingsmogelijkheden, randvoorwaarden, kansen en risico's van onderwaterdrains (OWD) voor het versterken van de landbouw en beperken van de bodemdaling. De focus van dit onderzoek ligt op de kansen en risico's voor waterkwaliteit 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 pilots De Keulevaart en Demmeriksekade ook het onderzoek in de pilot Krimpenerwaard 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 maaiveld daling.

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 het onderzoek zijn naast de pilots Demmeriksekade en De Keulevaart ook de pilot Krimpenerwaard 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. Als onderdeel van de pilot Krimpenerwaard zijn door het agrarisch adviesbureau PPP-Agro 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 in de Krimpenerwaard uitgebreid met een onderzoek naar de maximale lengte van onderwaterdrains en naar de kwaliteit van de aanleg. Door het Landschapsbeheer Zuid-Holland is in 2011 en 2012 bij de pilots Krimpenerwaard en De Keulevaart onderzoek gedaan naar het effect van OWD op de foerageermogelijkheden van weidevogels.

De meetresultaten van de proeven 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 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 maaiveldval 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 De Keulevaart is een waardveengrond in de polder De 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 (stikstof) tot ontoereikend (fosfor).

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 maaiveldaling. 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 maaiveldaling 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 pilots in de Demmeriksekade, de polder De Keulevaart en de Krimpenerwaard representeren de 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 maaiveldaling 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 maaiveldaling 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 De 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 uitspoelingsconcentraties 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
De 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
De 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, De 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 toenames 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	uitslag	draaien		
Demmeriksekade	1,9	32	-0,5	40	3	7%	4	7%	11	9%	23	9%
De 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 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 -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 De 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.

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. In eerdere berekeningen was het peilbeheer voor de drie gebieden min of meer gelijk genomen en geënt op het beheer van Krimpenerwaard. 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/wegzijging 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 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.

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: wegzijgingsgebied 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 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%
De 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 uitwisseling 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 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. Bij de Krimpenerwaard lijkt er voor fosfor wel een verlagend effect van

drains op de vrachten te zijn. Voor beide andere pilots geldt dit niet. Het effect van drains op de gemiddelde uitspoelingsconcentraties is wisselend voor de pilots: Demmeriksekade en Krimpenerwaard geven een afnemend (7%-20%) effect voor fosfor en sulfaat, Krimpenerwaard ook voor stikstof, terwijl De Keulevaart bij fosfor en stikstof een toenemend effect laat zien en geen relevant verschil voor sulfaat.

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. Daarnaast zijn de meetjaren vrij nat en laten daardoor een eenzijdig beeld zien. 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 fosforbelasting 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. De 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 vergroot ten opzichte van de nattere situatie zonder drains. 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 perceelsdelen 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 Demmeriksekade, De Keulevaart en Krimpenerwaard 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 Demmeriksekade ca. 11 mm per jaar, bij De Keulevaart ca. 6 mm per jaar en bij Krimpenerwaard ca. 10 mm per jaar zijn. Bij Demmeriksekade is de ingeschatte jaarlijkse verlaging van de maaiveldddaling 5 tot 8 mm. Door toepassing van onderwaterdrains worden bij De Keulevaart en Krimpenerwaard de jaarlijkse maaiveldddalingen met 3 tot 6 mm verlaagd.

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 Demmeriksekade wordt bij toepassing van onderwaterdrains de jaarlijkse CO₂-emissie per hectare met 11,3 tot 18,1 ton CO₂ verlaagd. Bij De Keulevaart en Krimpenerwaard is dit dan 6,8 tot 13,5 ton 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
Vershil 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
Vershil Drain - Ref	-532	-4.1	-8.9	1205	5.1	54.2	-932	-6.3	-40.1

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 uitgemaaide 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 die betrokken zijn 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 geïnfiltreerd. 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 De 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 aan 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. Daarnaast waren de meetjaren vrij nat en is er niet gemeten aan een droog jaar. De conclusies aan de hand van de metingen zijn daarom voorlopig richtinggevend.
- Uit metingen sinds 2003 blijkt dat de maaiveldaling 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 ook 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 is na grootschalige peilverlagingen in de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw 5 tot 12 mm per jaar (Van den Akker *et al.*, 2007a). Deze daling wordt voor het grootste deel (80%) veroorzaakt door biologische afbraak van veen (oxidatie), waarbij nutriënten, organische deeltjes en CO₂ en N₂O vrijkomen. Ook veranderen op termijn wegzijggebieden 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 en afnemende wegzijging in de toekomst de nutriëntenbelasting met tientallen procenten toeneemt (Hendriks *et al.*, 2013).

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 - averechts 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 laat onverlet 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 is gemeten 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 (Hendriks *et al.*, 2008; 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 maaiveldddaling te compenseren) of toepassing van onderwaterdrains. Op bedrijfsniveau lijkt toepassing van onderwaterdrains ook milieuvordelen te hebben voor de nutriëntenbenutting en de beperking van de veenaafbraak en daarmee de mineralisatie en uitloging van de N- en P-rijke veenbodem. 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 is 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?' is 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 waterbeheersscenario'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 maaiveldddaling, 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 maaiveldddaling 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) is 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, waarin kenmerkende veenweide-eenheden zijn doorgerekend om de effecten van onderwaterdrains te bepalen. Kenmerkende veenweide-eenheden 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, infiltratie water in het veen, kwaliteit infiltrerend oppervlaktewater). In deze modelstudie is (zonder modellen) berekend dat de anaerobe veenafbraak door via drains infiltrerend sulfaat niet meer dan 0,05 mm per jaar bedraagt.

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 nodig dat metingen op praktijkschaal in een aantal pilots uitgevoerd worden. 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 (dit rapport). 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 (Van den Akker *et al.*, 2013). 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 het kader van het in dit rapport beschreven onderzoek zijn in 2010 en 2011 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 De 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 kwel is gering (0,014 mm per 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 in Alterra-rapport 2466 beschreven (Van den Akker *et al.*, 2013) en is een 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 is kenmerkend voor het midden-gedeelte 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 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 De 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 of gepromoot in het veenweidegebied. De aanleg van onderwaterdrains in het veenweidegebied 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. De communicatie met de melkveehouderij moet daarom goed zijn om een succesvolle introductie mogelijk te maken.

1.1.4 Projectdoelstelling

Het project moest op semi-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 pilots in Utrecht stonden dus niet op zichzelf maar werden samen met de locatie in de Krimpenerwaard en de kennis opgedaan in eerdere projecten gebruikt om algemene conclusies te trekken voor het veenweidegebied. Daarnaast moest inzicht worden verkregen in hoeverre toepassing van onderwaterdrains voor de veehouderij aantrekkelijk is. Vooral bij de pilot in de Krimpenerwaard waren bijkomende doelstellingen inzicht te verwerven in hoeverre toepassing van onderwaterdrains bedrijfseconomisch rendabel is en een goede communicatie richting bedrijfsleven over de toepassing van onderwaterdrains in de praktijk.

1.1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 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 en 5. Hierin worden de meetresultaten van waterkwantiteit en -kwaliteit 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. Hoofdstuk 6 bevat een synthese van de resultaten van de drie pilots; de twee beschreven in dit rapport en de pilot Krimpenerwaard. Tot slot worden in hoofdstuk 7 de conclusies gepresenteerd.

2 Methoden

2.1 Pilot Demmeriksekade

2.1.1 Situatie- en profielbeschrijvingen

De pilot Demmeriksekade bestond uit een aantal percelen van het bedrijf van dhr. Gijs van Eck, Demmeriksekade 25, 3645 AZ Vinkeveen. Er zijn twee bodemkaarten beschikbaar die informatie gaven over de bodemgesteldheid van de betreffende percelen: De Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000 en de bodemkaart van de veengebieden in de provincie Utrecht, schaal 1:25 000. Volgens de bodemkaart van Nederland ligt het blok percelen bij van Eck binnen het bodemtype 'koopveengronden', veengronden waarop een moerige eerdlaag is ontwikkeld. De ondergrond (tot 120 cm -mv) bestaat hoofdzakelijk uit mesotroof bosveen. Op de 'veenkaart' van provincie Utrecht is een groot deel van de percelen echter toegedeeld aan het bodemtype 'weideveengronden', veengronden waarin een minerale (kleiige) bovengrond is ontwikkeld. Er is dus verschil in inzicht tussen de samenstellers van de twee bodemkaarten. De 'veenkaart' van provincie Utrecht geldt als een actualisatie van de bodemkaart van Nederland 1 : 50 000. Het is echter niet te verwachten dat in enkele decennia de bovengrond van een koopveengrond door oxidatie en krimp van veen transformeert van een moerige naar een minerale bodemlaag. Voor het maken van een keuze of deze locatie geschikt was voor aanleg van de pilot is de bodem van het bedrijf van Van Eck op 14 juni 2009 nader onderzocht door Matheijs Pleijter, bodemkundige van Alterra. Het bleek dat de bovengrond bestaat uit een 20-30 cm dik toemaakdek. Een toemaakdek ontstond door het aanvoeren in vroegere tijden van stadsvuil, duinzand en puin om de bovenste veenlaag te bemesten en te verstevigen. Het aangebrachte materiaal werd gemengd met de bovenste veenlaag. In het aangetroffen dek zitten echter niet voldoende minerale delen om de bovengrond te kenschetsen als een minerale bovengrond.

Bij het bezoek van de percelen is met een Edelman-grondboor op ieder perceel tenminste één grondboring gedaan en beschreven tot een diepte van 150 cm -mv. Daarnaast is met een guts op een aantal punten tot 250 cm -mv het bodemprofiel verder beschreven. De resultaten zijn gegeven in Bijlage 1. Er is op deze diepte geen minerale ondergrond aangetroffen. Het veen bestaat hoofdzakelijk uit mesotroof bosveen, met hier en daar een pluk zeggeveen. Het veen is slibrijk en heeft een geringe consistentie. Er zit veel kienhout in het profiel, regelmatig zijn in de boringen 10-20 cm dikke lagen kienhout (takken/stammen) aangetroffen. De bovenkant van het veen is geoxideerd, maar geheel verweerde lagen zijn niet aangetroffen. De gereduceerde zone begint tussen 55 en 70 cm -mv. De GLG is geschat op 65 cm -mv. De grondwaterstanden op 14 juni 2009 schommelden rond 55 cm -mv.

De bovengrond was plaatselijk sterk ingedroogd en bestaat uit moerig materiaal (kleiig veen). Heel duidelijk is bijmenging van duinzand zichtbaar en ook zijn regelmatig resten baksteen/puintjes aangetroffen, hetgeen kenmerkend is voor een toemaakdek. Het toemaakdek is niet overal even dik; ten zuiden van de boerderij ontbreekt het dek geheel. Hier is het kleigehalte van de bovengrond wat hoger, maar ook hier blijft de bovengrond moerig (kleiig veen). Onder het toemaakdek zit overal een kleiige, wat samengepakte veenlaag. Op deze laag zou wat stagnatie van water kunnen optreden. De bodemlijn zoals die op de veenkaart van de provincie Utrecht staat ingetekend, is tijdens de boringen niet aangetroffen. Tabel 2.1 bevat een globaal bodemprofiel van de proefpercelen. De maximale veendiepte bedraagt 375 cm.

Tabel 2.1

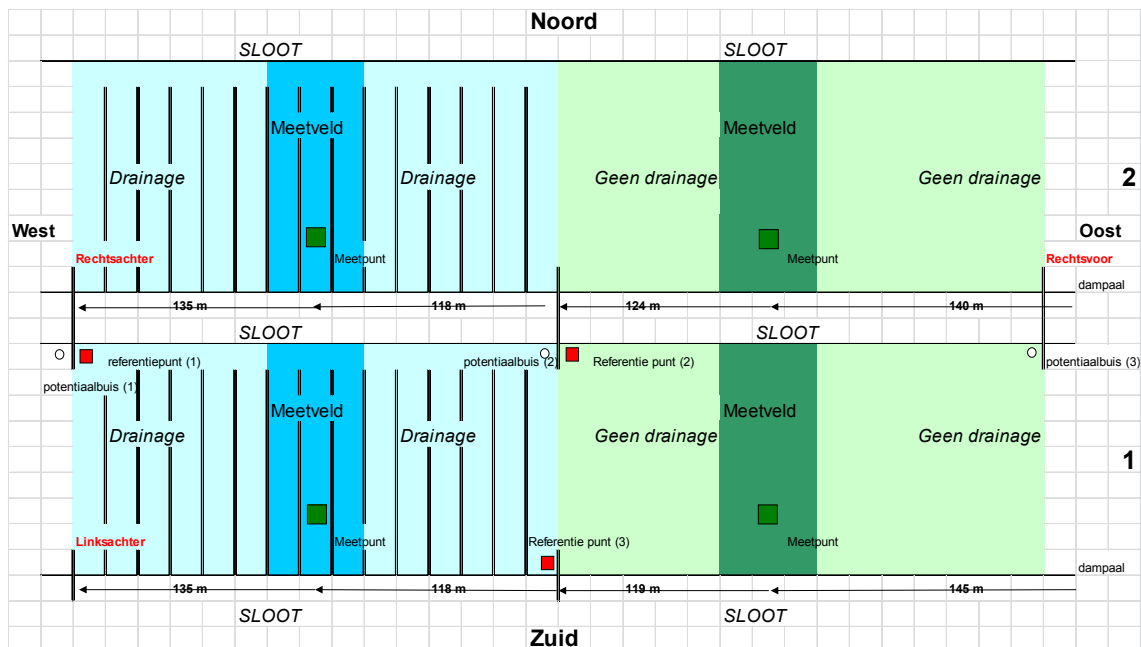
Globaal (gemiddeld) bodemprofiel van de proefpercelen van Demmeriksekade.

Horizont	Diepte (cm)	Organische stof (% droge stof)	Lutum (% minerale delen)	Opmerkingen
1 Aa	0 - 20	26	20	toemaakdek
2Cu1	20 - 50	35	20	-
2Cu2	50 - 65	55	-	veel kienhout
2Cr	65 - 250	65	-	slap veen

De percelen lopen tot achteraan door; de drie zuidelijke percelen worden achterin onderbroken door een dwarsloot. De percelen hebben een holle ligging met een greppel in het midden van circa 20 cm diep en circa 30 cm breed. De drooglegging ten opzichte van de rand van de percelen bedroeg (ruwe schatting) circa 40 cm; in het midden van het perceel zal de drooglegging dus geringer zijn geweest. De wegzijging in het gebied is met 0,7-1 mm per dag aanzienlijk.

2.1.2 Inrichting proefvelden en metingen

Een overzicht van de proefvelden is gegeven in Bijlage 2 en in Figuur 2.1. De noordoostelijke en zuidoostelijke proefvelden zonder drains wateren elk voor de helft af naar de meetsloot in het midden en vormen de referentiesituatie. Elke meetsloot is met damwanden afgescheiden van de reguliere sloten. De drains wateren af naar het zuiden. Ook de greppels in het midden van de proefpercelen zijn in stukken verdeeld en wateren met een greppelbuis in zuidelijke richting op de bijbehorende meetsloot af. Het zuidelijk referentieperceel (geen drains) watert af naar een sloot die niet als meetsloot is ingericht (zie Figuur 2.1). Van de met damwanden afgesloten meetsloten zijn de hoeveelheden en kwaliteit van het in- en uitgepompte water gemeten. Van de meetsloten van het noordwestelijke proefveld (met drains) is wel de kwantiteit (hoeveelheden in- en uitgepompte water) gemeten, maar uit kostenoverwegingen niet de kwaliteit.



Figuur 2.1 Overzicht meetopstellingen Demmeriksekade; meer details zijn aangegeven in Bijlage 2.

Vaste punten

Er zijn drie vaste punten geïnstalleerd bestaande uit gegalvaniseerde stalen buizen. Deze vaste punten dienen als referentie voor de hoogtemetingen. De buizen zijn in de meetsloot tot in de vaste zand-ondergrond gespoten/geslagen en staan tegen de damwanden aan. De locaties van de vaste punten staan weergegeven in Figuur 2.1. De hoogten van de referentiepunten zijn ingemeten met een waterpasinstrument vanaf NAP bout 31E222 uit het rijkdriehoekstelsel. De XY-coördinaten zijn in het veld ingemeten met een hand-GNSS-apparaat (GPS-apparatuur) (Tabel 2.2).

Tabel 2.2

Hoogten en RD-coördinaten (± 3 m) van de referentiepunten van Demmeriksekade.

Referentiepunt	Hoogte (m + NAP)	X (m)	Y (m)
1	-2,116	125501	468088
2	-2,194	125490	468044
3	-2,154	125263	468123

Slootpeilen

Op de damwanden is een peilschaal bevestigd aan beide zijden van de dam. De bovenkant van de peilschalen is ingemeten met een waterpasinstrument vanaf de referentiepunten. De hoogte van de peilschalen is twee keer in het jaar gecontroleerd. De peilschalen zijn gebruikt om het slootpeil in de meetsloot te monitoren.

Grondwaterstanden

1. Freatische grondwaterstanden in raaien

In een dwarsraai over elk perceel, in het meetveld over het 'meetpunt' (Figuur 2.1), zijn twaalf grondwaterstandbuizen geplaatst. Bij het proefveld met drains staan de grondwaterstandbuizen midden tussen de drains. De grondwaterstandbuizen zijn onder straatputjes geplaatst, met de bovenkant van de buis op zo'n diepte dat bij maaiveldzakking door droogtekrimp de buiskop nog ruimte heeft. De grondwaterstandbuizen hebben een filterlengte van één meter, met daarop een blinddeel van circa 50 cm, zodat het filter van deze buizen zich op maximaal 150 cm diepte bevinden. De buizen zijn in een raai over het meetveld dwars op de sloot geplaatst. Aan de noordzijde van de sloot staan de buizen op 1, 3, 5, 7, 12 (halverwege sloot en greppel) en 18 meter (tweederde afstand sloot en greppel) en aan de zuidzijde op 1, 3, 6, 8, 16 meter (eenderde van de breedte van het perceel) en 20 meter vanaf de sloot. Aan de zuidzijde van de percelen komt een strook met puin voor. Hierop is de plaatsing van de grondwaterstandbuizen aangepast. Om die reden ontbreekt op het referentieveld van perceel 2 de grondwaterstandbuis aan de zuidzijde op drie meter afstand van de sloot.

2. Freatische grondwaterstanden bij het meetpunt

In het 'meetpunt' (Figuur 2.1 en Tabel 2.3) aan de zuidzijde op 16 meter vanaf de slootkant en midden tussen de drains is een groep grondwaterstandbuizen geplaatst met verschillende filterdiepten:

- Twee volledig geperforeerde buizen met een lengte van één meter voor meting van het freatisch grondwater. Deze freatische buizen zijn vast verbonden aan de buis met filter tot in het zand. Op deze manier is voorkomen dat de buizen verticaal kunnen bewegen. In één van deze freatische buizen is een *Diver* (geautomatiseerde grondwaterstandopnemer) geïnstalleerd. De andere freatische buis dient voor de grondwaterstandmetingen met de hand (klokje).
- Een filter op 150 cm -mv met een filterlengte van 50 cm en een blinddeel van 100 cm.
- Een filter op 150 cm -mv met een blinddeel van 50 cm (freatische buis) op 0,50 m vanaf de drain.
- Een filter op 250 cm -mv met een filterlengte van 50 cm en een blinddeel van 200 cm.
- Een filter op 400 cm -mv met een filterlengte van 50 cm en een blinddeel van 350 cm.

Daarnaast is op het gedraineerde veld in het 'meetpunt' op circa 0,50 meter vanaf de drain een grondwaterstandbuis geplaatst om de freatische grondwaterstanden te meten.

Tabel 2.3

RD-coördinaten (± 3 m) van de 'meetpunten' (Figuur 2.1) van Demmeriksekade.

Meetpunt	X (m)	Y (m)
Drains noord	125394	468125
Drains zuid	125384	468077
Geen drains noord	125620	468094
Geen drains zuid	125610	468044

3. Diepe grondwater

Aan de meest westelijke zijde, in het midden en aan de meest oostelijke zijde is een stijghoogtebuis geplaatst waarin de stijghoogte van het water in eerste watervoerende pakket gemeten is. De buizen staan in de slootkant tegen de damwanden aan. De buizen hebben een lengte van 8 meter en een filter van 50 cm lengte dat in de zandondergrond op circa 7 meter onder het maaiveld is geplaatst.

Tabel 2.4

Stijghoogte en RD-coördinaten ($\pm 3m$) van de stijghoogtebuizen van Demmeriksekade.

Stijghoogtebuis	Stijghoogte (m + NAP; meting 3 maart 2011)	X (m)	Y (m)
1	-2.200	125501	468088
2	-2.239	125490	468044
3	-2.017	125742	468055

Hoogtemetingen

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

Er is in minimaal drie dwarsraaien gemeten om de twee meter. De middelste raai loopt 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 is daarbij zorg gedragen dat de raaien midden tussen de drains lopen. Elke dwarsraai is vastgelegd met twee punten, bestaande uit een ondergronds punt dat is afgedekt met een geel straatputje.

Meetfrequentie

De slootpeilen en de grondwaterstanden in het 'meetpunt' zijn elke 14-21 dagen opgenomen. De grondwaterstanden in de dwarsraai zijn in verband met de tijd en kosten incidenteel en aangepast aan de tijd van het jaar en de weersomstandigheden gemeten. De maaiveldhoogten en de hoogten van de grondwaterstandbuizen zijn jaarlijks gemeten in het vroege voorjaar, wanneer de grond maximaal gezwollen was.

Waterkwaliteit en -kwantiteit

Met twee pompen per deelgebied zijn de peilen in het referentiegebied en het gebied met onderwaterdrains gehandhaafd volgens het gewenste regime. Het streefpeil in de meetsloten is het hele jaar door op -2,60 m + NAP ingesteld. De marge is ± 1 centimeter. Dit peil komt overeen met het toekomstige polderpeil in de zomer. Tijdens de metingen is het polderpeil -2,50 m + NAP in de zomer en -2,60 m + NAP in de winter. De hoeveelheid en kwaliteit van het in- en uitgepompte water is gemonitord. Het nemen van de monsters gebeurt automatisch en debietproportioneel. Zo is bijvoorbeeld per in- of uitgepompte 5.000 liter water één monster genomen. De monsters zijn gekoeld bewaard en elke 14 dagen opgehaald. Op dat moment is ook een watermonster van het slootwater binnen en buiten de meetsloten genomen. De waterkwaliteitsbemonstering is beperkt tot één jaar. In de watermonsters zijn de concentraties van aluminium (Al), calcium (Ca), chloride (Cl), opgelost organische koolstof (DOC), opgelost anorganische koolstof (IC), ijzer (Fe), stikstof (N-tot), ammonium (NH₄), nitraat en nitriet (NO₃+NO₂), fosfor (P-tot), fosfaat (PO₄), zwavel (S), en de zuurgraad (pH) bepaald. Incidenteel zijn de concentraties van N en P bepaald na destructie. Hiermee zijn naast opgeloste N- en P-verbindingen ook N en P in zwevende deeltjes gemeten. Vanaf januari 2011 zijn N en P in ongefiltreerde, gedestruëerde watermonsters bepaald. Op deze manier is het stoffentransport met het in- en uitgaande water bepaald. Incidenteel is in bodemwater van verschillende diepten en in uitstromend drainwater gemeten.

Bodemeigenschappen

Om fysische en chemische eigenschappen van de verschillende bodemlagen (horizonten) te bepalen zijn monsters genomen op verschillende diepten in het 'meetpunt' (Figuur 2.1). De bodemfysische parameters zijn de hydraulische functies als waterretentiekarakteristiek en doorlatendheidskarakteristiek inclusief verzadigde doorlatendheid, droge volumieke massa en textuurgegevens in de vorm van lutum- en organischestofgehalte. Waarden van deze parameters zijn nodig voor de modellering met SWAP en ANIMO (sommige). Hiervoor zijn in de voorkomende horizonten (Tabel 2.1) met ringen ongestoorde monsters in duplo gestoken op de diepten: 10-20 cm, 35-45 cm, 65-75 cm en 85-95 cm. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken zijn gelijktijdig bepaald met de verdampingmethode (Stolte, 1997).

De bodemchemische parameters zijn het stikstof- en fosforgehalte van de organische stof, het pyrietgehalte (gemeten als zwavel), het oxalaatextraheerbaar fosfor-, aluminium- en ijzergehalte, en de zuurgraad. Deze parameters zijn nodig voor de modellering met ANIMO. Hiervoor zijn in de bodemhorizonten gestoorde monsters genomen op dezelfde diepten waarop de ongestoorde monsters voor de fysische bepaling zijn gestoken.

Andere belangrijke parameters voor de ANIMO-modellering van veen zijn de afbraaksnelheid van de organische stof en de bijbehorende temperatuurscoëfficiënt. Deze worden behandeld in paragraaf 2.3.

Bedrijfsgegevens

De bedrijfsgegevens, zoals bemesting, grasopbrengsten en ervaringen met de onderwaterdrains zijn vastgelegd door de proefboerderij Zegveld in een interview met de heer Van Eck. Omdat in 2010 bleek dat het inschatten van de grasopbrengst te onnauwkeurig was om verschillen te kunnen vaststellen, is besloten om door de proefboerderij Zegveld stroken te laten uitmaaien om op die manier in 2011 de grasopbrengst te meten. Per snede is de drogestofopbrengst bepaald. Per snede zijn gewasmonsters bewaard om deze na het groeiseizoen te laten analyseren.

2.2 Pilot De Keulevaart

2.2.1 Situatie- en profielbeschrijvingen

De pilot De Keulevaart bestond uit twee percelen van het bedrijf van dhr. Arjan van Diemen, Oost-Vlisterdijk 17, 2855 AC Vlist. Geselecteerd zijn percelen met een 'waardveengrond'. Dit zijn veengronden met een kleidek dunner dan 40 cm. Hier is het kleidek tussen de 30 en 40 cm dik. Een groot deel van de percelen van het bedrijf Van Diemen heeft een kleidek dikker dan 40 cm. Deze gronden worden aangeduid als 'klei-op-veen'. Volgens opgave van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) is dit een licht kwelgebied met een kweldruk van 0,014 mm per dag.

Op 31 maart 2010 zijn als verkenning twintig boringen met een Edelman-boor verricht tot 100 cm diepte. Op grond van de resultaten zijn twee percelen geselecteerd, waarna nog zeventien boringen tot een diepte van 150 cm zijn verricht op de geselecteerde percelen. Een overzicht van de boorlocaties en de boorbeschrijvingen zijn gegeven in Bijlage 3. Het kleidek van de veengronden is 30-40 cm dik. Daaronder begint een laag met zwart veen, zonder herkenbare plantenresten. Pas op tenminste 80 cm diepte komen er in het veen herkenbare plantenresten voor. Dat is over het algemeen rietzeggeveen; het voorkomen van veel houtresten wijst op een rijker milieu. Op een aantal plaatsen, vooral in het noordwestelijke perceel, zit in deze veenlaag op circa 40 cm diepte een 10 cm dikke zware kleilaag. Deze kleilaag zorgt er voor dat de kleidikte in de eerste 80 cm meer is dan 40 cm, waardoor deze gronden geen echte veengronden zijn, maar worden geclassificeerd als kleigronden. Daaronder ligt weer het zwarte veen. Uit het onderzoek bleek dat de twee noordoostelijke percelen van het bedrijf een waardveengrond hebben. Deze twee percelen zijn geselecteerd voor de proef en vervolgens nader onderzocht (boringen 21-37 in Bijlage 3). Tabel 2.5 bevat een globaal bodemprofiel van de proefpercelen van De Keulevaart. De maximale veendiepte bedraagt 420 cm.

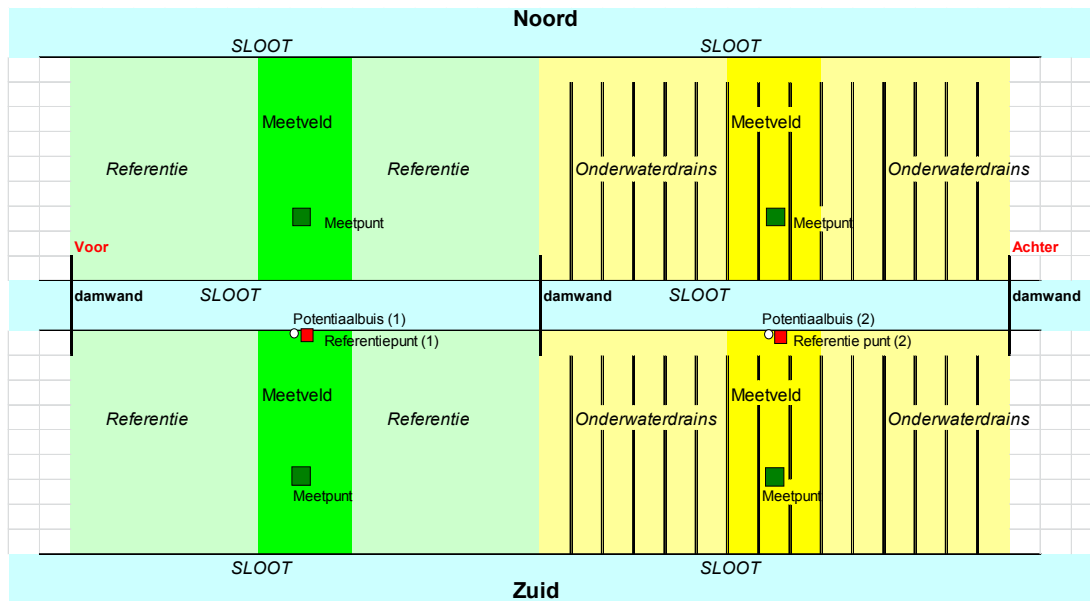
Tabel 2.5

Globaal (gemiddeld) bodemprofiel van de proefpercelen van De Keulevaart.

Horizont	Diepte (cm)	Organische stof (% droge stof)	Lutum (% minerale delen)	Opmerkingen
Ah	0 - 5	11	32	toemaakdddek
Cg	5 - 33	5	37	-
Cu	33 - 68	43	-	veraard veen
Cr	68 - 150	70	-	rietzeggeveen

2.2.2 Inrichting proefvelden en metingen

Een overzicht van de proefvelden is gegeven in Bijlage 4 en in Figuur 2.2. De noordoostelijke en zuidoostelijke proefvelden zonder drains wateren elk voor de helft af naar de meetsloot in het midden en vormen de referentiesituatie. Een meetsloot is met damwanden afgescheiden van de reguliere sloten. De drains wateren af naar het zuiden. Ook de greppels in het midden van de proefpercelen zijn in stukken verdeeld en wateren met een greppelbuis in zuidelijke richting op de bijbehorende meetsloot af. Bij de referentie (geen drains) watert het zuidelijk referentieperceel af naar een sloot die niet als meetsloot is ingericht (zie Figuur 2.2). Van de met damwanden afgesloten meetsloten zijn de hoeveelheden en kwaliteit van het in- en uitgepompte water gemeten. Van de meetsloten van het noordwestelijke proefveld (met drains) is wel de kwantiteit (hoeveelheden in- en uitgepompte water) gemeten, maar uit kostenoverwegingen niet de kwaliteit.



Figuur 2.2 Overzicht meetopstellingen De Keulevaart; meer details zijn aangegeven in Bijlage 4.

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 tot in de vaste zandondergrond gespoten/geslagen en staan in de raaien met grondwaterstandbuizen. De locatie van de vaste punten staan in Figuur 2.2 weergegeven. De hoogten van de referentiepunten zijn ingemeten met een waterpasinstrument vanaf NAP bout 38B0236 uit het rijkdriehoekstelsel. De XY-coördinaten zijn in het veld ingemeten met een hand-GNS- apparaat (GPS-apparatuur) (Tabel 2.6).

Tabel 2.6

Hoogten en RD-coördinaten (± 3 m) van de referentiepunten van De Keulevaart.

Referentiepunt	Hoogte (m + NAP)	X (m)	Y (m)
1	-0,958	116350	443930
2	-1,337	116400	443940

Slootpeilen

Op de damwanden is een peilschaal bevestigd aan beide zijden van de dam. De bovenkant van de peilschalen zijn ingemeten met een waterpasinstrument vanaf de referentiepunten. De hoogten van de peilschalen zijn twee keer in het jaar gecontroleerd. De peilschalen zijn gebruikt om het slootpeil in de meetsloot te monitoren.

Tabel 2.7

RD-coördinaten (± 3 m) van de 'meetpunten' (Figuur 2.2) van De Keulevaart.

Meetpunt	X (m)	Y (m)
Drains noord	116390	443960
Drains zuid	116400	443920
Geen drains noord	116340	443950
Geen drains zuid	116350	443900

Grondwaterstanden

1. Freatische grondwaterstanden in raaien

In een dwarsraai over elk perceel, in het meetveld over het 'meetpunt' (Figuur 2.2 en Tabel 2.7), zijn tien grondwaterstandbuizen geplaatst. Bij het proefveld met drains staan de grondwaterstandbuizen midden tussen de drains. De grondwaterstandbuizen zijn onder straatputjes geplaatst, met de bovenkant van de buis op zo'n diepte dat bij maaiveldzakking door droogtekrimp de buiskop nog ruimte heeft. De grondwaterstandbuizen hebben een filterlengte van één meter, met daarop een blinddeel van circa 50 cm, zodat de filters van deze buizen zich op maximaal 150 cm diepte bevonden. De buizen zijn in een raai over het meetveld dwars op de sloot geplaatst. Op het noordelijke proefperceel aan de noordzijde van de meetsloot staan de buizen op 1, 3, 6, 9, 12 meter (vanaf de sloot aan de noordzijde richting het meetpunt) en 18 meter (tweederde afstand sloot en greppel) en aan de zuidzijde op 1, 3, 6, 9, 11 meter (vanaf de meetsloot tot aan het meetpunt). Op het zuidelijke proefveld aan de zuidzijde van de meetsloot, staan de grondwaterstandbuizen op 1, 3, 6, 9, 12 en 15 meter (vanaf de meetsloot richting zuiden) en op 1, 3, 6, 9, 13 meter (vanaf de sloot aan de zuidzijde tot aan het meetpunt).

2. Freatische grondwaterstanden bij het meetpunt

Op het noordelijke proefveld is bij zowel de referentie als bij de drains op 11 meter vanaf de meet-slootkant het 'meetpunt' gesitueerd (zie Figuur 2.2). Bij het zuidelijk proefveld ligt het 'meetpunt' op 13 meter vanaf de zuidelijke sloot. Bij de drains ligt het meetpunt midden tussen twee drains. Het 'meetpunt' bestaat uit een groep grondwaterstandbuizen met verschillende filterdiepten:

- Twee volledig geperforeerde buizen met een lengte van één meter voor meting van het freatisch grondwater. Deze freatische buizen zijn vast verbonden aan de buis met filter tot in het zand. Op deze manier is voorkomen dat de buizen verticaal kunnen bewegen. In één van deze freatische buizen is een *Diver* (geautomatiseerde grondwaterstandopnemer) geïnstalleerd. De andere freatische buis dient voor de grondwaterstandmetingen met de hand (klokje).
- Een filter op 150 cm -mv met een filterlengte van 50 cm en een blinddeel van 100 cm.
- Een filter op 150 cm -mv met een blinddeel van 50 cm (freatische buis) op 0,50 m vanaf de drain.
- Een filter op 250 cm -mv met een filterlengte van 50 cm en een blinddeel van 200 cm.
- Een filter op 400 cm -mv met een filterlengte van 50 cm en een blinddeel van 350 cm.

Daarnaast is op het gedraineerde veld op circa 0,50 meter vanaf de drain een grondwaterstandbuis geplaatst om de freatische grondwaterstanden te meten.

3. Diepe grondwater

Direct naast de referentiepunten zijn stijghoogtebuizen geplaatst waarin de stijghoogte van het eerste watervoerende pakket gemeten is. De buizen zijn in de zandondergrond geplaatst en hebben een lengte van 6 meter en een filter van 50 cm lengte. Stijghoogte en coördinaten, dezelfde dus als die van de referentiepunten, zijn gegeven in Tabel 2.8.

Tabel 2.8

Stijghoogte en RD-coördinaten (± 3 m) van de stijghoogtebuizen van De Keulevaart.

Stijghoogtebuis	Stijghoogte (m + NAP; meting 4 maart 2011)	X (m)	Y (m)
1	-1.659	116350	443930
2	-1.739	116400	443940

Hoogtemetingen

De maaiveldhoogte is 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 is midden tussen de drains gemeten. Elk voorjaar is op dezelfde punten gemeten. Het begin- en eindpunt van de raai zijn met een ondergronds punt vastgelegd en afgedekt met een geel straatputje.

Er is in minimaal drie dwarsraaien gemeten om de twee meter. De middelste raai loopt 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 is daarbij zorg gedragen dat de raaien midden tussen de drains lopen. Elke dwarsraai is vastgelegd met twee punten, bestaande uit een ondergronds punt dat is afgedekt met een geel straatputje.

Meetfrequentie

De slootpeilen en de grondwaterstanden in het 'meetpunt' zijn elke 14-21 dagen opgenomen. De grondwaterstanden in de dwarsraai zijn in verband met de tijd en kosten incidenteel en aangepast aan de tijd van het jaar en de weersomstandigheden gemeten. De maaiveldhoogten en de hoogten van de grondwaterstandbuizen zijn jaarlijks gemeten in het vroege voorjaar, wanneer de grond maximaal gezwollen was.

Waterkwaliteit en -kwantiteit

Met twee pompen per deelgebied zijn de peilen in het referentiegebied en het gebied met onderwaterdrains gehandhaafd volgens het gewenste regime. De polderpeilen in dit gebied zijn -2,15 m + NAP in de zomer en -2,25 m + NAP in de winter. De overgang van winterpeil naar zomerpeil vindt in twee stappen plaats. Half april wordt het peil met 5 cm verhoogd tot -2,20 m + NAP, vervolgens wordt begin mei het peil verder verhoogd naar -2,15 m + NAP. Het moment van peilverhoging staat niet precies vast, maar is afhankelijk van de dan geldende situatie. Bij een heel nat voorjaar wordt het zomerpeil wat later ingesteld en bij een droog voorjaar juist eerder. Ook in het najaar wordt het peil in twee stappen aangepast. Begin oktober wordt het peil met 5 cm verlaagd naar het tussenpeil van -2,20 m + NAP en vervolgens eind oktober naar het winterpeil van -2,25 m + NAP. Ook dan is de uiteindelijke datum van peilaanpassing afhankelijk van de toestand van de grond en de weersomstandigheden.

De gemiddelde maaiveldhoogten van de twee noordelijke proefvelden, referentie en drains, verschillen 4 cm. Om eenzelfde drooglegging te creëren voor beide velden, is in de meetsloot bij de referentie een zomerstreefpeil van -2,13 m + NAP en een winterstreefpeil van -2,23 m + NAP aangehouden, en in de meetsloot waarin de drains uitmonden een zomerstreefpeil van -2,17 m + NAP en een winterstreefpeil van -2,27 m + NAP. De marge in de streefpeilen is ± 1 centimeter.

De hoeveelheid en kwaliteit van het in- en uitgepompte water is gemonitord. Het nemen van de monsters gebeurt automatisch en debietproportioneel. Zo is bijvoorbeeld per in- of uitgepompte 5.000 liter water één monster genomen. De monsters zijn gekoeld bewaard en elke 14 dagen opgehaald. Op dat moment is ook een watermonster van het slootwater binnen en buiten de meetsloten genomen. De waterkwaliteitsbemonstering is beperkt tot één jaar. In de watermonsters zijn de concentraties van aluminium (Al), calcium (Ca), chloride (Cl), opgeloste organische koolstof (DOC), opgeloste anorganische koolstof (IC), ijzer (Fe), stikstof (N-tot), ammonium (NH₄), nitraat en nitriet (NO₃+NO₂), fosfor (P-tot), fosfaat (PO₄), zwavel (S), en de zuurgraad (pH) bepaald. De concentraties van N en P zijn bepaald in ongefiltreerde monsters na destructie. Hiermee zijn naast opgeloste N- en P-verbindingen ook N en P in zwevende deeltjes gemeten. Op deze manier is het stoffentransport met het in- en uitgaande water bepaald. Incidenteel is in bodemwater van verschillende diepten en in uitstromend drainwater gemeten.

Bodemeigenschappen

Om fysische en chemische eigenschappen van de verschillende bodemlagen (horizonten) te bepalen zijn monsters genomen op verschillende diepten in het 'meetpunt' (Figuur 2.2). De bodemfysische parameters zijn de hydraulische functies als waterretentiekarakteristiek en doorlatendheidskarakteristiek inclusief verzadigde doorlatendheid, droge volumieke massa en textuurgegevens in de vorm van lutum- en organischestofgehalte. Waarden van deze parameters zijn nodig voor de

modellering met SWAP en ANIMO (sommige). Hiervoor zijn in de voorkomende horizonten (Tabel 2.5) met ringen ongestoorde monsters in duplo gestoken op de diepten: 10-20 cm, 35-45 cm, 58-68 cm en 87-97 cm. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken zijn gelijktijdig bepaald met de verdampingsmethode (Stolte, 1997).

De bodemchemische parameters zijn het stikstof- en fosforgehalte van de organische stof, het pyrietgehalte (gemeten als zwavel), het oxalaatextraheerbaar fosfor-, aluminium- en ijzergehalte, en de zuurgraad. Deze parameters zijn nodig voor de modellering met ANIMO. Hiervoor zijn in de bodemhorizonten gestoorde monsters genomen op dezelfde diepten waarop de ongestoorde monsters voor de fysische bepaling zijn gestoken.

Andere belangrijke parameters voor de ANIMO-modellering van veen zijn de afbraaksnelheid van de organische stof en de bijbehorende temperatuurscoëfficiënt. Deze worden behandeld in paragraaf 2.3.

Bedrijfsgegevens

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

2.3 Meting potentiële afbraaksnelheid van veen uit Demmeriksekade, De Keulevaart en Krimpenerwaard

De afbraak (oxidatie) van veen is de oorzaak van de voortdurende maaiveldddaling in het veenweidegebied. De andere twee componenten van de maaiveldddaling, consolidatie en zetting van de veen- en kleilagen door peilverlaging en/of ophoging en de rijping en irreversibele krimp van het veen, zijn processen die na een aantal jaren nog maar weinig aan de jaarlijkse maaiveldddaling bijdragen. Omdat de maaiveldddaling na enkele jaren bijna volledig wordt gedomineerd door de afbraak, zouden grote verschillen in de afbraaksnelheden van het veenmateriaal kunnen leiden tot grote verschillen in maaiveldddaling. Voor onder andere de modellering van de veenafbraak en veenmineralisatie met het model ANIMO (zie 2.4) zijn in alle drie de pilotprojecten - de twee die onderwerp zijn van dit rapport én de Krimpenerwaard (Van den Akker *et al.*, 2013) - veenmonsters genomen, waarvan in het laboratorium de potentiële afbraaksnelheid is bepaald met ademhalingsmetingen. Dit gaf de mogelijkheid om de afbraaksnelheden van alle drie de pilots met elkaar te vergelijken.

2.3.1 Monsternamen

De monsters zijn gestoken met een hardplastic buis met een lengte van 1,20 m en een inwendige diameter van 9 cm, waarvan de rand aan de onderzijde scherp was geslepen. Na verwijdering van de zode is de buis voorzichtig in de grond geslagen. Bij pilot De Keulevaart is ook eerst de laag zware klei van circa 35 cm dikte verwijderd. Vervolgens zijn de buizen uitgegraven. Per pilot zijn zo twee buizen met veengrond gestoken. In het laboratorium zijn voorzichtig de buiswanden aan weerszijden in de lengte doorgezaagd, waarna één buishelft kon worden verwijderd. Uit de veengrond in de buis zijn vervolgens met 100 cc ringen twaalf monsters gestoken met een diameter van circa 5 cm. Deze twaalf monsters vertegenwoordigden een profieldiepte van respectievelijk 2,5-7,5 cm, 12,5-17,5 cm, 22,5-27,5 cm, 32,5-37,5 cm, 42,5-47,5 cm, 52,5-57,5 cm, 62,5-67,5 cm, 72,5-77,5 cm, 82,5-87,5 cm, 92,5-97,5 cm, 102,5-107,5 cm en 112,5-117,5 cm.

2.3.2 Ademhalingsmetingen

De ringen zijn gedurende zeven dagen op een pF-bak geplaatst op een vochtspanning van -100 cm waterdruk. Het vochtgehalte bij deze vochtspanning is optimaal voor het uitvoeren van de ademhalingsmetingen. Optimaal omdat bij dit vochtgehalte via gasdiffusie voldoende zuurstof in de

veenporiën kan doordringen voor maximale aerobe afbraak door micro-organismen terwijl er voldoende vocht aanwezig is voor de micro-organismen. De monsters zijn vervolgens uit de ringen gehaald, in glazen potten met een inhoud van 325 cc gedaan en met gesloten deksel in vier perioden gedurende twee tot vier dagen bewaard op een temperatuur van 20 °C. Voor en na elke periode zijn van de lucht in de potten de concentraties van zuurstof (O₂) en van koolzuurgas (CO₂) gemeten. Uit de verschillen tussen de concentraties aan begin en eind van elke periode zijn het O₂-verbruik en de CO₂-productie van het monster gedurende de periode berekend.

Uit de CO₂-productie is de potentiële afbraaksnelheid van het veenmonster afgeleid. Omdat de organische stof van veen voor meer dan de helft uit koolstof (C) bestaat, is de omzetting van de organische C in anorganisch CO₂ door micro-organismen onder invloed van O₂, een goede maat voor de afbraak van de gehele organische stof. De zo verkregen afbraaksnelheid is potentieel omdat zij is bepaald bij voldoende O₂. Zij geldt voor de temperatuur waarbij de meting is gedaan. In het veld (en de modelmatige simulatie daarvan met bijvoorbeeld ANIMO) bepalen vooral de beschikbaarheid van O₂ en de heersende temperatuur de actuele afbraaksnelheid. Om de invloed van de temperatuur op de afbraaksnelheid van deze venen te weten, zijn daarom ook ademhalingsmetingen bij 10 °C uitgevoerd. Uit de verschillen in potentiële afbraaksnelheid bij beide temperaturen is de Q₁₀ voor de veenafbraaksnelheid per monster bepaald. Dit is de factor waarmee de snelheid toeneemt bij 10 °C temperatuurstijging.

Het O₂-verbruik is gemeten om de totale O₂-vraag van de monsters te bepalen. Naast organischestofafbraak is ook de oxidatie van pyriet (FeS₂) tot sulfaat een belangrijke O₂-consumerend proces in veengronden.

Na de laatste ademhalingsmeting zijn van de monsters het vochtgehalte, de droge bulkdichtheid, het organischestofgehalte, het koolstofgehalte (C) en het zwavelgehalte (S) bepaald.

2.4 Modevaluatie en -analyse met de modellen SWAP en ANIMO

Met het agrohydrologisch model SWAP en nutriëntenhuishouding en -uitspoelingsmodel ANIMO zijn de meetgegevens geëvalueerd en geanalyseerd. De SWAP-berekeningen hebben de meeste aandacht en tijd gekregen. De reden hiervoor was dat 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 maaiveldvaling en de hoeveelheden wateruitwisseling tussen veenbodem en veensloot die ook de basis vormde van de nutriëntenuitspoeling. De ANIMO-berekeningen zijn daarom, maar ook omdat de metingen aan nutriënten zich vooral beperkte tot het slootwater, vrij globaal gebleven.

2.4.1 SWAP

2.4.1.1 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 maaien) en beweid 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 de slootoppervlakte, 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.

2.4.1.2 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 referentie-gewasverdamping of volgens Penman-Monteith, en afhankelijk van het groeistadium en de bodemvochttoestand. De zijrand betreft drainage en oppervlakte-afstroming (runoff) naar ontwaterings-

middelen, 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 een 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 waterbalansen en tijdreeksen van toestands- en snelheidsvariabelen.

2.4.1.3 Toepassing in dit onderzoek

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

a. 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 groot-heden 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.

a.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/wegzijging). 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 neerslagegegevens opgevuld met gegevens van neerslagstations in de nabijheid. Voor beide proefvelden is 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 de afwateringsoppervlakte 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 (Demmeriksekade), en Cabouw en Gouda (De Keulevaart). 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 16 m (Demmeriksekade) en 13 m (De Keulevaart) uit de slootkant 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 in viervoud 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 storingsen en 'on geplande 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 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 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 slootoppervlakte en geschat en bijgesteld afwateringsoppervlakte. Neerslag is verkregen uit de meteogegevens evenals ETref 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);

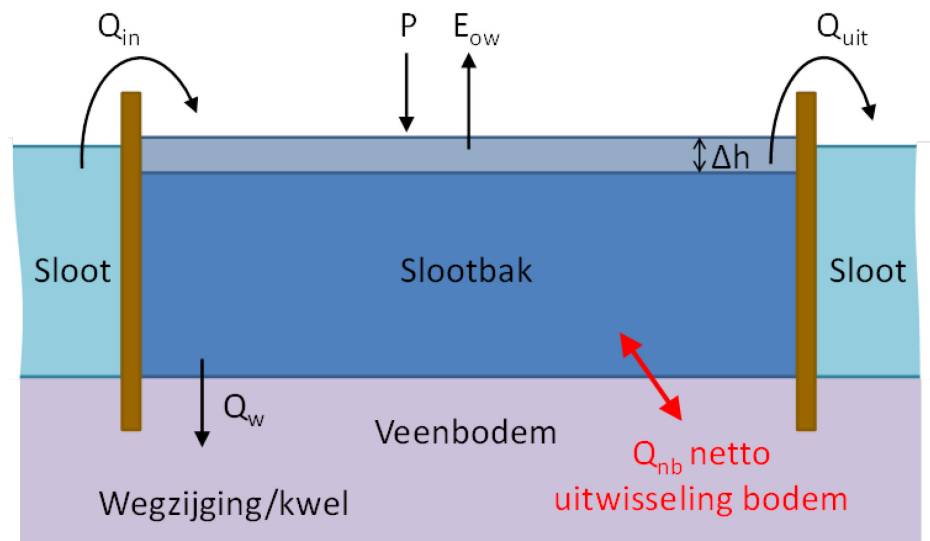
Q_w = wegzijgingsdebiet (m^3);

P = neerslagsom (m);

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

Δh = peilverandering in slootbak (m);

A_{sl} = slootoppervlakte 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 de afwateringsoppervlakte. Hierbij is het laatste bijgesteld indien nodig, binnen de range van 0,9-1,1 maal de berekende oppervlakte 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, en 5.3 en 5.4). 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.

a.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.

b. 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 2011 en 2012 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 oppervlakte ten opzichte van de landoppervlakte, slootbreedte en -diepte, taludhelling, capaciteiten inlaat en gemaal, drempels rond het streefpeil) kunnen worden afgestemd op die van het werkelijke oppervlaktewatersysteem. 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). De eigenschappen van de oppervlaktewaterbakjes worden bij de resultaten gegeven in subparagrafen 4.1.1 (Demmeriksekade) en 5.1.1 (De Keulevaart).

Voor deze berekeningen is aangesloten op de vergelijkbare berekeningen voor pilot Krimpenerwaard (Van den Akker *et al.*, 2013) om zo de drie pilots onderling te kunnen vergelijken. 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 twintig 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 extremiteit 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.

c. 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 per bodemhorizont de bodemfysische eigenschappen van het bodemmateriaal 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 2.9). Hydraulische karakteristieken zijn gegeven in de vorm van de VanGenuchtenparameters.

Tabel 2.9

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.

Boven Demmeriksekade; onder De Keulevaart.

Bodem horizont num- mer	omschrij- ving	diepte (cm)	Gehalten (massa-%) ¹		VanGenuchten-parameters						Anisotro- piefactor (-)
			organische stof	lutum	ORES (m ³ m ⁻³)	OSAT (m ³ m ⁻³)	ALFA (cm ⁻¹)	NPAP (-)	KSAT (cm d ⁻¹)	LEXP (-)	
1	wortelzone	0- 25	35,4	20,9	0,0	0,665	0,0104	1,266	3,0	-1,23	2
2	geoxid. veen	25- 40	72,6	19,2	0,0	0,760	0,0090	1,232	2,01	-2,41	2
3	geoxid. veen	40- 65	73,7	12,0	0,0	0,848	0,0075	1,197	1,66	-4,41	3
4	geoxid. veen	65- 80	75,1	11,4	0,0	0,883	0,0117	1,346	2,98	-4,6	1
5	gereduc. vn	80-375	74,4	8,1	0,0	0,898	0,0234	1,344	2,98	-3,7	0,5

Bodem horizont num- mer	omschrij- ving	diepte (cm)	Gehalten (massa-%) ¹		VanGenuchten-parameters						Anisotro- piefactor (-)
			organische stof	lutum	ORES (m ³ m ⁻³)	OSAT (m ³ m ⁻³)	ALFA (cm ⁻¹)	NPAP (-)	KSAT (cm d ⁻¹)	LEXP (-)	
1	wortelzone in kleidek	0- 35	21,6	55,5	0,0	0,713	0,0250	1,118	3,0	-1,23	2
2	geoxid. veen	35- 45	72,6	19,2	0,0	0,790	0,0104	1,132	3,66	-4,00	2
3	geoxid. veen	45- 70	73,5	14,1	0,0	0,885	0,0063	1,321	3,65	-3,5	3
4	gereduc. vn	70-420	78,0	11,4	0,0	0,910	0,0141	1,303	3,5	-4,0	0,5

¹ van droge stof, ook voor lutum	ORES = residueel volumetrisch vochtgehalte	NPAP = vormfactor n
	OSAT = verzadigd volumetrisch vochtgehalte	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 4.1.1.1 voor Demmeriksekade en in 5.1.1.1 voor De Keulevaart. 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 voor Demmeriksekade en 50 cm onder maaiveld voor De Keulevaart.

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 2011 en 2012 gemeten met een *tipping bucket*. Waarden voor neerslagsommen en neerslagduursommen op dagbasis van KNMI-neerslagstation Loenen voor Demmeriksekade en van KNMI-station Cabauw voor De Keulevaart zijn gebruikt om de gemeten neerslag aan te vullen en te corrigeren waar problemen met de neerslagmetingen waren opgetreden. Voor Demmeriksekade zijn verdampingsgegevens van KNMI-station Schiphol gebruikt en voor De Keulevaart van KNMI-station Cabauw. Voor beide pilots is de referentiegewasverdamping gebruikt, omdat voor Cabauw bekend is dat deze weinig afwijkt van de verdamping berekend met de Penman-Monteith-vergelijking (persoonlijke mededeling Joost Heijkers), die ook in SWAP als optie aanwezig is.

Voor de scenariojaren 1976 (extreem droog jaar) en 1981 (zeer nat jaar) zijn alle meteorologische gegevens van KNMI-station De Bilt genomen. Voor het zeer droge jaar 2003 is voor Demmeriksekade de meteorologische invoer van De Bilt gebruikt. Voor De Keulevaart zat dat jaar in de reeks van 1998-2012 die op verzoek van HDSR (Joost Heijkers) is doorgerekend om de door SWAP gegenereerde actuele verdamping in droge jaren te analyseren. Momenteel is de discussie of (agro)hydrologische modellen in staat zijn de actuele grasverdamping onder zeer droge omstandigheden correct te simuleren. Het idee bestaat dat de modellen de actuele verdamping onder die omstandigheden onderschatten. In subsubparagraaf 5.1.2.2 zijn resultaten gegeven van een berekening waarbij de gewasverdamping is verhoogd doordat wortels compenseren voor vochttekort door meer water te onttrekken uit diepere lagen. Voor de reeks 1998-2012 is alle meteorologische invoer van Cabauw genomen.

Om een indruk te geven van de meteorologische aard van de doorgerekende jaren zijn neerslag en verdamping op kwartaalbasis samengevat in Tabel 2.10 en in Figuur 2.4 als neerslagoverschot. Hieruit wordt duidelijk dat meetjaar 2011 erg droog was in het tweede kwartaal - voor Demmeriksekade droger dan droog jaar 2003 - maar zeer nat in het derde kwartaal - natter dan de natte jaren 1981, 1998 en 2012 - en dat meetjaar 2012 op jaarbasis erg nat was.

De verschillen tussen de twee pilots zijn voor de meetjaren niet zo heel groot: bij Demmeriksekade valt in 2011 en 2012 wat minder neerslag dan bij De Keulevaart. In 2012 is dat verschil zeer klein. Bij De Keulevaart is in 2011 de referentiegewasverdamping iets (10 mm) groter dan bij Demmeriksekade, terwijl in 2012 het verschil juist omgekeerd is en behoorlijk groot (62 mm). Het neerslagoverschot is bij Demmeriksekade in 2011 26 mm kleiner dan bij De Keulevaart; in 2012 is dat maar liefst 71 mm kleiner. In 2003 is de referentiegewasverdamping fors (105 mm) groter bij De Keulevaart (station Cabouw) dan bij Demmeriksekade (station De Bilt). Omdat de neerslag bij De Keulevaart (ook Cabouw) ook nog eens flink (88 mm) kleiner is dan bij Demmeriksekade (ook De Bilt) is het neerslagtekort bij De Keulevaart bijna 200 mm kleiner dan bij Demmeriksekade.

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 paragrafen 4.1 en 5.1.

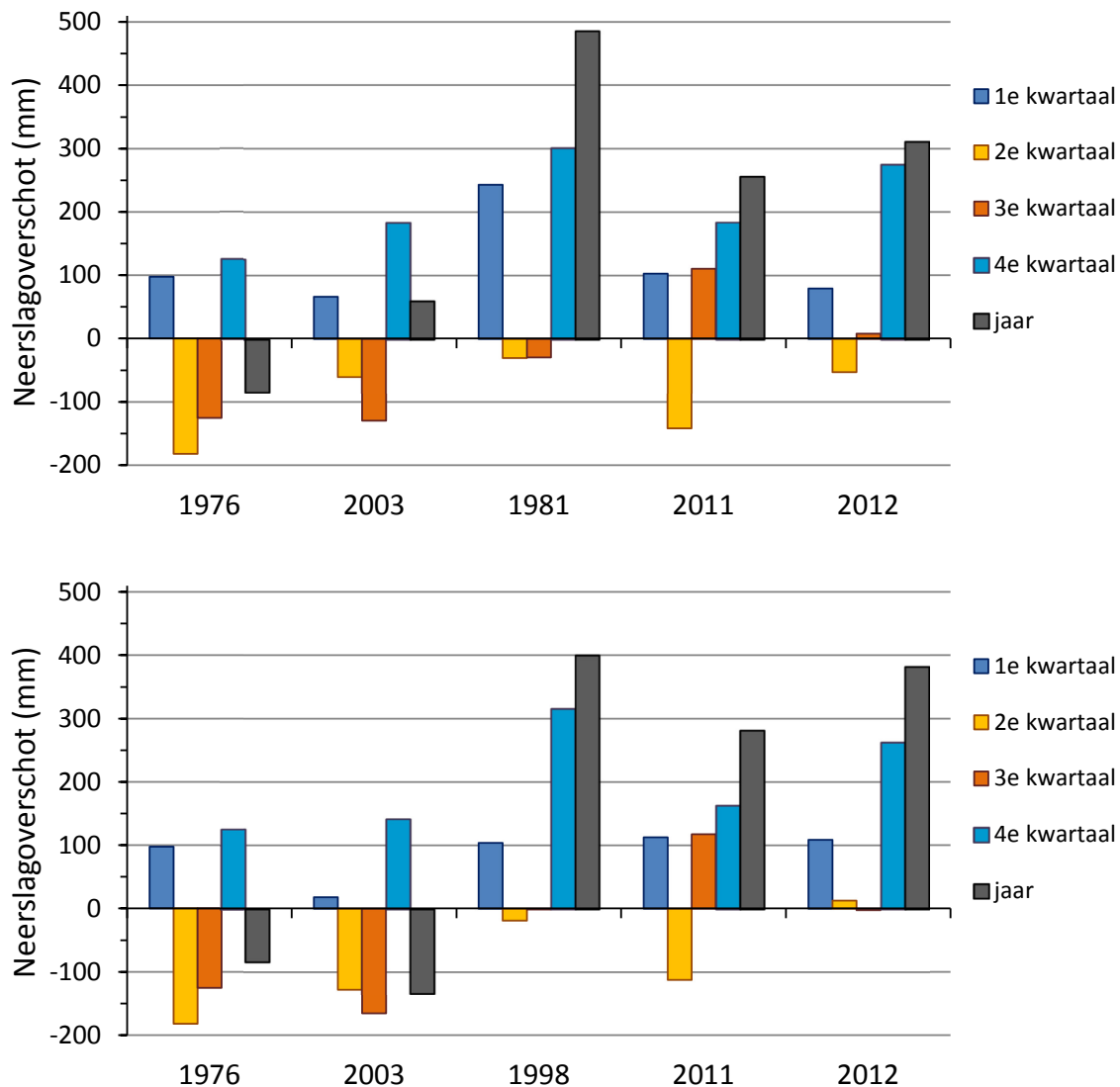
Tabel 2.10

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

Boven Demmeriksekade; onder De Keulevaart.

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	154	57	98	130	63	67	287	43	243	167	64	103	142	62	80
2	88	270	-182	173	233	-60	171	201	-30	109	251	-142	179	231	-52
3	123	249	-125	91	221	-130	186	216	-29	301	190	111	251	243	8
4	171	45	126	220	36	184	342	41	301	227	42	184	318	43	275
T	536	620	-84	613	552	61	987	501	485	803	547	256	891	579	311

Kwar- taal	1976 zeer droog			2003 droog			1998 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	154	57	98	96	78	18	182	78	104	167	54	113	163	55	109
2	88	270	-182	141	268	-128	235	254	-19	154	267	-112	219	207	12
3	123	249	-125	96	261	-166	234	236	-1	312	194	118	213	215	-2
4	171	45	126	194	52	142	369	53	316	205	42	163	304	41	263
T	536	620	-84	525	657	-133	1020	620	400	839	557	282	899	517	382



Figuur 2.4 Neerslagoverschot als neerslag minus referentiegewasverdamping in de doorgerekende jaren, op kwartaal- en jaarbasis. Boven voor Demmeriksekade en onder voor De Keulevaart.

2.4.2 ANIMO

2.4.2.1 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 verstoorde 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.

2.4.2.2 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. Verblijftijdspreiding en reistijdverdeling over de modelcompartimenten worden bepaald door de verdeling van de drainagefluxen over de modelcompartimenten die volgt uit het pseudo-2D-stromingsconcept. Randdomeinen 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 omzettingprocessen 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: één 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 en een extra groep:

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 organischestofklassen 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 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);
4. Hydrologische data en bodemtemperaturen van een model als SWAP.

Modeluitvoer van ANIMO omvat een groot scala aan mogelijkheden, te kiezen door de gebruiker, zoals stofbalansen 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 sulfaattransport 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.

2.4.2.3 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:

- Demmeriksekade: eutroof veen, vijf meter dik, zonder kleidek, met lage nutriëntenconcentraties in het infiltrerende water en met als onderrand wegzijging;
- De Keulevaart: eutroof veen, vijf meter dik, met kleidek, met lage nutriëntenconcentraties in het infiltrerende water en met een neutrale onderrand (kwel/wegzijging is gering in deze pilot).

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.

Tabel 2.11

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- 25	570	0,019	3,6	0,040	0,00190	77	458	1,0	5,9
2	25- 40	380	0,024	3,2	0,032	0,00070	7	293	3,0	6,0
3	40- 65	213	0,020	3,0	0,028	0,00052	4	229	5,2	5,7
4	65- 80	131	0,025	2,8	0,024	0,00034	1	164	7,4	4,4
5	80-375	127	0,026	2,4	0,023	0,00045	2	114	6,5	4,3

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- 35	486	-	-	0,042	0,00284	22	471	0,7	5,7
2	35- 45	185	0,036	2,7	0,030	0,00052	5	368	4,0	5,5
3	45- 70	176	0,024	3,3	0,031	0,00031	2	214	9,3	5,2
4	70-420	144	0,017	2,5	0,027	0,00023	2	98	8,0	4,9

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

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 2.11.

Vervolgens is ANIMO basaal gekalibreerd op de uit metingen afgeleide gemiddelde uitspoelingsconcentraties van stikstof, fosfor en sulfaat (Tabel 4.9 en 5.9, hoofdstukken 4 en 5). 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 nutriëntenthema'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.

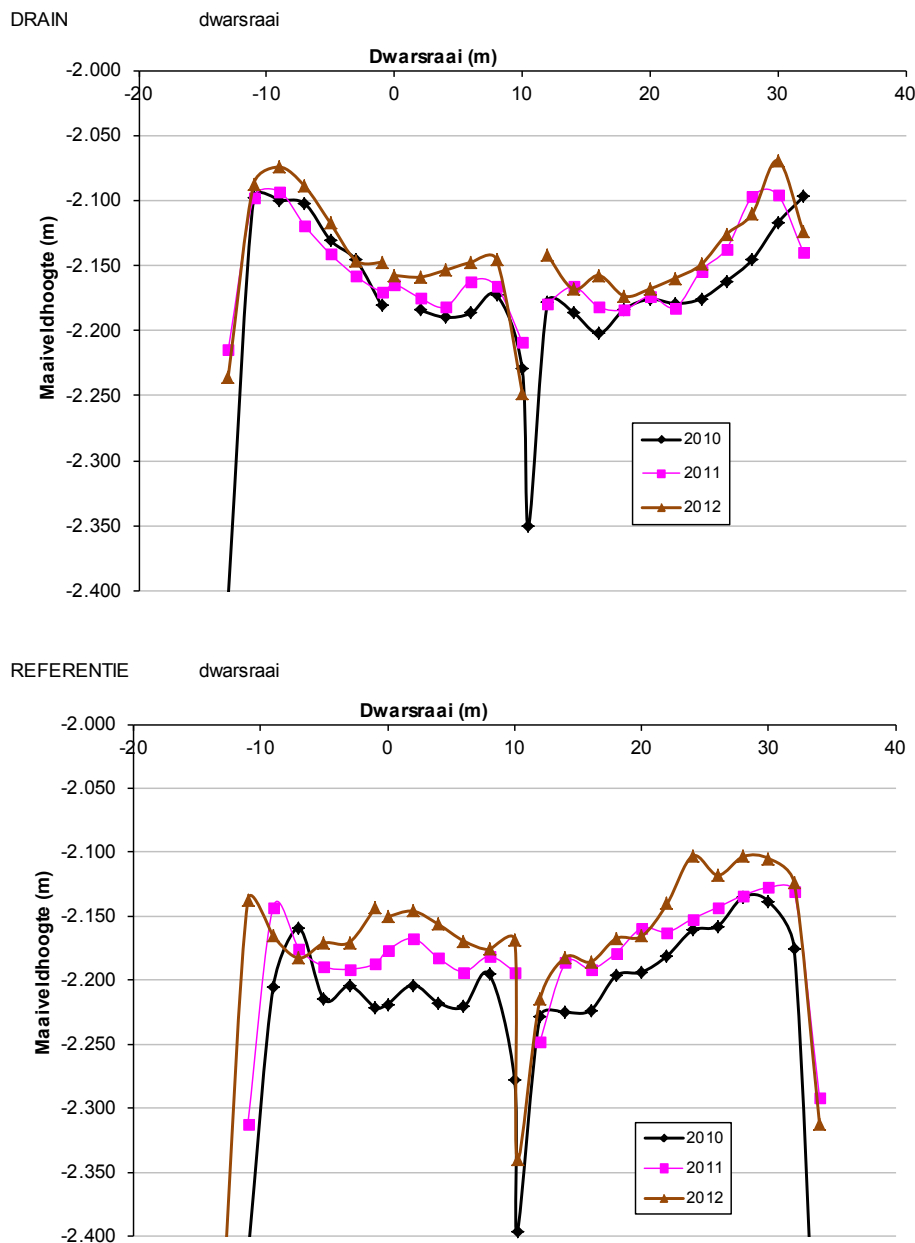
Deze belasting is op dezelfde manier berekend als door Hendriks en Van den Akker (2012). Voor beide thema's gaat het om de netto belasting: de nutriëntenvracht vanuit de veenbodem naar de sloot verminderd met de vracht vanuit de sloot de veenbodem in. Voor de effecten van drains is deze correctie cruciaal, omdat daarbij (meer) pendelen van water tussen veenbodem en slootwater optreedt. Zonder correctie van de hoeveelheid nutriënten in infiltratie leidt dit tot dubbel telling 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 uitspoelingseizoen (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 tabellen 4.12 en 5.12 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

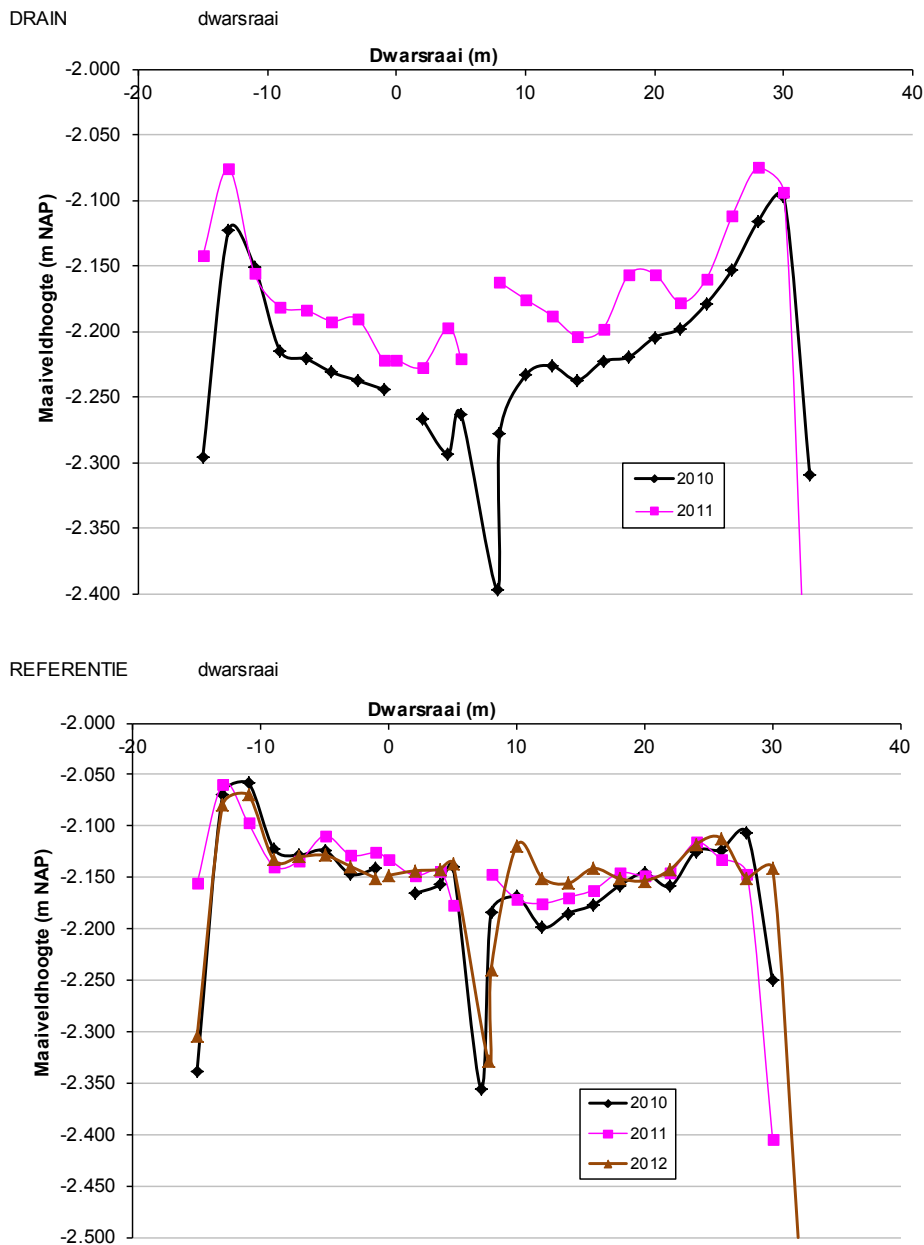
3.1 Pilot Demmeriksekade

3.1.1 Maaiveldhoogte 2010, 2011 en 2012 Demmeriksekade

In de figuren 3.1 en 3.2 zijn de maaiveldhoogten die zijn gemeten in het voorjaar van 2010 (27 april), 2011 (3 maart) en 2012 (24 februari) gepresenteerd.



Figuur 3.1 Maaiveldhoogtemetingen noordelijke proefvelden (op perceel 2 in Figuur 2.1) op 27 april 2010, 3 maart 2011 en 24 februari 2012. Gemiddelde van drie dwarsraaien. De raaien lopen van zuid naar noord.



Figuur 3.2 Maaiveldhoogtemetingen zuidelijke proefvelden (op perceel 1 in Figuur 1) op 27 april 2010, 3 maart 2011 en 24 februari 2012. Gemiddelde van drie dwarsraaien. De raaien lopen van zuid naar noord.

In 2012 konden er bij het zuidelijke perceel geen hoogten worden opgemeten door een recente ophoging van het maaiveld. Ook bij de andere percelen blijken ophogingen een versturende rol te spelen. Hoogtemetingen aan het maaiveld worden in het algemeen vroeg in het voorjaar gedaan om te voorkomen dat door gewasverdamping het maaiveld door krimp door uitdroging al meetbaar is gedaald. Door variaties in krimp en zwel kunnen desondanks van jaar tot jaar variaties in de maaiveldhoogten optreden die groter zijn dan de langjarig gemiddelde maaiveldddaling per jaar. Dit is naast de ophogingen nog een verklaring voor het feit dat het maaiveld in 2011 en 2012 in een aantal gevallen hoger ligt dan in 2010. In het algemeen zijn minstens zes jaar hoogtemetingen nodig om de maaiveldddaling en verschillen daarin te kunnen bepalen. Bij deze locaties begon deze minimale meetperiode pas na de ophogingen, waarbij verdere ophogingen uiteraard moeten worden vermeden om een bruikbare meetreeks op te bouwen. In Tabel 3.1 zijn de gemiddelde hoogten gegeven van het maaiveld in voorjaar 2010, waarbij bij het bepalen van de gemiddelde maaiveldhoogte greppels en randen van sloten zijn weggelaten.

Tabel 3.1

Gemiddelde maaiveldhoogteproefvelden zoals o.a. gebruikt voor de bepaling van de drooglegging en in de modellering met SWAP.

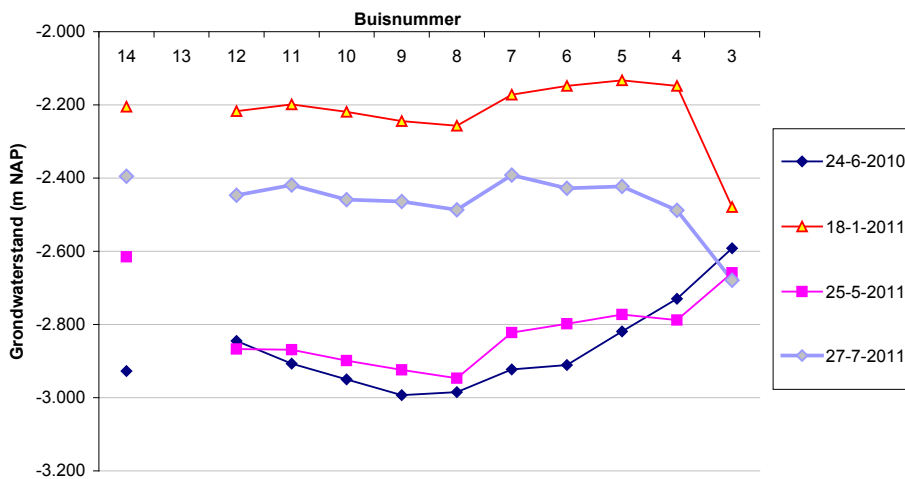
Proefveld	Gemiddelde maaiveldhoogte (m + NAP)	Gebruikt in SWAP (m + NAP)
Referentie: Noord-Oost (Rechtsvoor)	-2.176	-2,211
Drains: Noord-West (Rechtsachter)	-2.159	-2.143
Drains: Zuid-West (Linksachter)	-2.175	
Referentie: Zuid-Oost	-2.143	

3.1.2 Grondwaterstanden Demmeriksekade

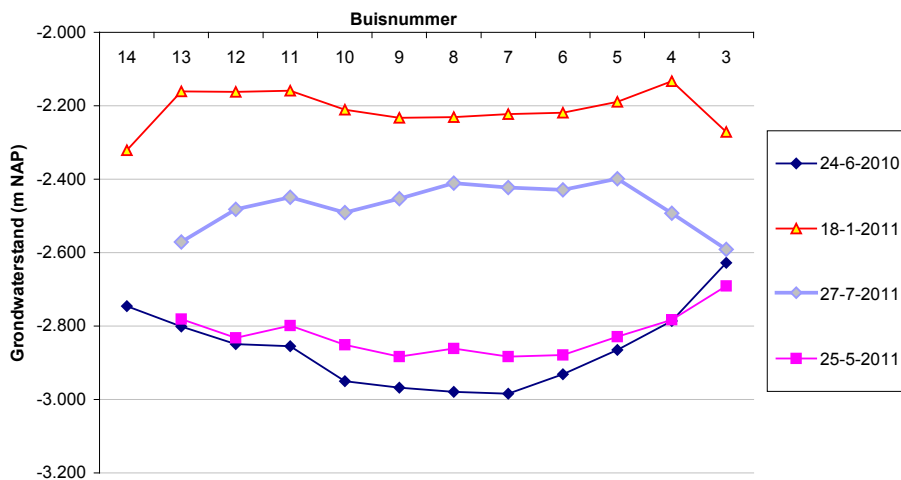
In de figuren 3.3 en 3.4 zijn de grondwaterstanden in de dwarsraaien over de proefvelden gepresenteerd. In het hoofdstuk 4 'Demmeriksekade: verwerking en evaluatie resultaten met modelonderzoek' wordt dieper ingegaan op het verloop van de grondwaterstanden in de tijd, waarbij gemeten waarden worden vergeleken met berekende waarden.

Gegeven zijn de metingen in de droogste periode in 2010 t/m 2012 (24 juni 2010 en 25 mei 2011), de natste meting (18 januari 2011) en een natte periode waarbij het zeker is dat er recent daarvoor geen water in de grondwaterstandbuizen is gelopen (27 juli 2011).

Referentie Noord



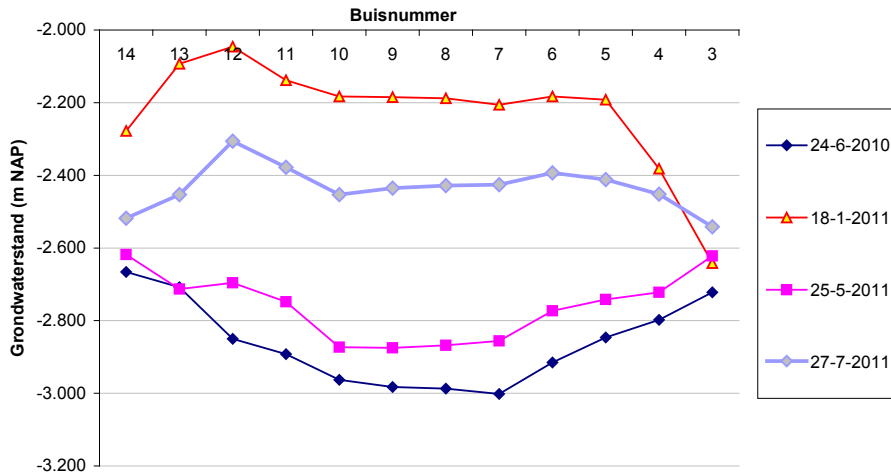
Drains Noord



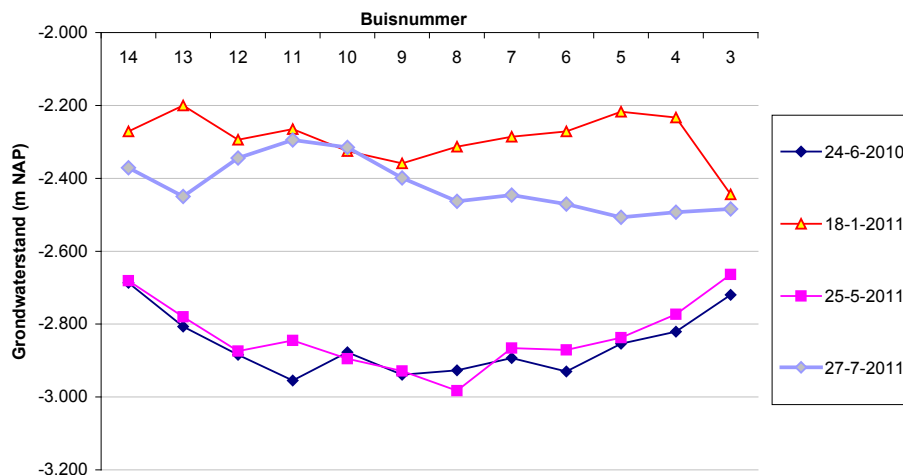
Figuur 3.3 Grondwaterstanden noordelijke proefvelden (op perceel 2 in Figuur 2.1) ten tijde van de natste en droogste perioden. Buis 14 ligt op de zuidelijke helft van het perceel. De meetsloot ligt aan de zuidelijke rand van het perceel (links in de figuur).

In de figuren lopen van links naar rechts de raaien van zuid naar noord, met buis nummer 14 als meest zuidelijke grondwaterstandbuis en buis nummer 3 als meest noordelijke grondwaterstandbuis. Bij de beschouwing van de grondwaterstanden moet worden bedacht dat het slootpeil in de meet-sloten het hele jaar rond op -2,60 m + NAP staat ingesteld met een marge van 2 cm (NB in de praktijk bleek de marge soms aanzienlijk groter te zijn). Het winterpeil van de niet-afgedamde sloten is -2,60 m + NAP en het zomerpeil -2,40 m + NAP. Uit de metingen blijkt echter dat het gerealiseerde zomerpeil in de sloten eerder -2,50 m + NAP is.

Referentie Zuid



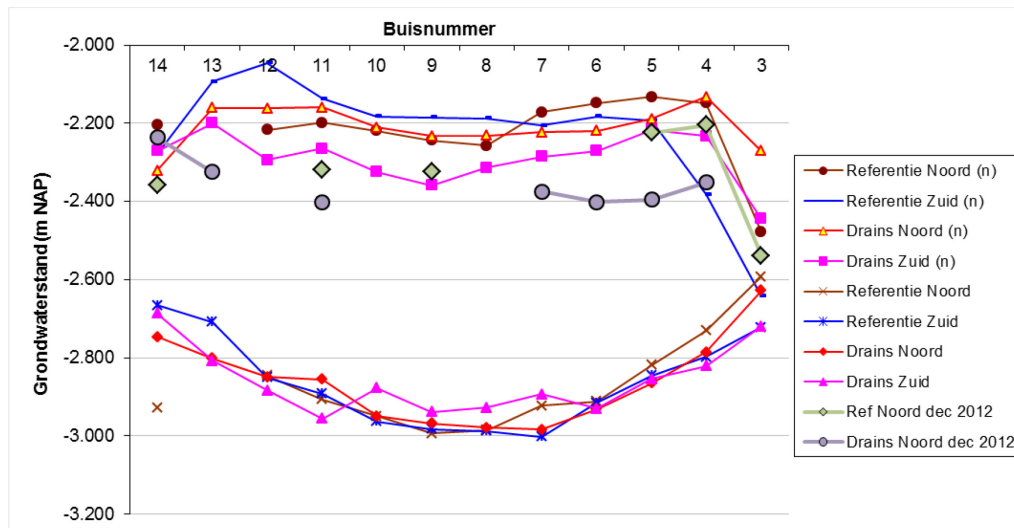
Drains Zuid



Figuur 3.4 Grondwaterstanden zuidelijke proefvelden (op perceel 1 in Figuur 2.1) ten tijde van de natste en droogste perioden. Buis 14 ligt op de zuidelijke helft van het perceel. Bij de referentie ligt de meetsloot aan de noordelijke rand van het perceel (rechts in de figuur). Bij het proefperceel met drains ligt een meetsloot aan beide randen van het perceel.

In Figuur 3.5. zijn voor de natte periode rond 18 januari 2011 de grondwaterstanden van alle dwars-raaien vergeleken. Ditzelfde is gebeurd voor de droge periode rond 24 juni 2010. Dit laat zien dat de drains in het zuidelijke proefveld de grondwaterstand verlagen in natte perioden. Deze drains lijken ook in de zomer goed te functioneren en verhogen de grondwaterstand door infiltratie via de drains bij deze grondwaterstanden tot 70-75 cm -mv met ca. 6 cm. De drains in het noordelijke proefveld lijken minder goed te functioneren. Ze verhogen noch verlagen de grondwaterstand significant ten opzichte van de referentie. Bij controle bleek dat één van de drains naast de grondwaterstandbuis slecht functioneerde. Deze is vervolgens voorzichtig doorgespoten. Dit is succesvol verlopen, zoals blijkt uit een meting in december 2012, die laat zien dat de drains nu wel zorgen voor een lagere grondwaterstand in een natte periode. Het niet functioneren van een enkele drain en het daaruit volgende be-

perkte effect op de gemeten grondwaterstand wil niet direct zeggen dat daar de onderwaterdrains niet werkzaam zijn om de maaiveldaling te beperken. Het kan goed zijn dat de nog wel functionerende drains de onverzadigde laag boven de grondwaterstand natter en zuurstofarmer houden dan bij de referentie. Bovendien zijn de zomers van 2010, 2011 en 2012 zeker geen droge zomers, terwijl uit langjarige monitoring van maaiveldaling van veenweidepercelen (Van den Akker *et al.*, 2007a) bekend is dat de maaiveldaling het sterkst afhangt van de diepste grondwaterstanden die optreden in (zeer) droge zomers. Hoe dieper de grondwaterstand onder het slootpeil komt, des te effectiever worden onderwaterdrains om de grondwaterstand te verhogen ook als een enkele drain is uitgevallen.



Figuur 3.5 Vergelijking van de grondwaterstanden in de dwarsraaien in een natte periode in 2011 (18 januari), een natte periode in 2012 (6 december) en een droge periode (24 juni 2010). Het slootpeil is ca. -2,60 m NAP.

3.1.3 Hoeveelheden in- en uitgepompt water Demmeriksekade

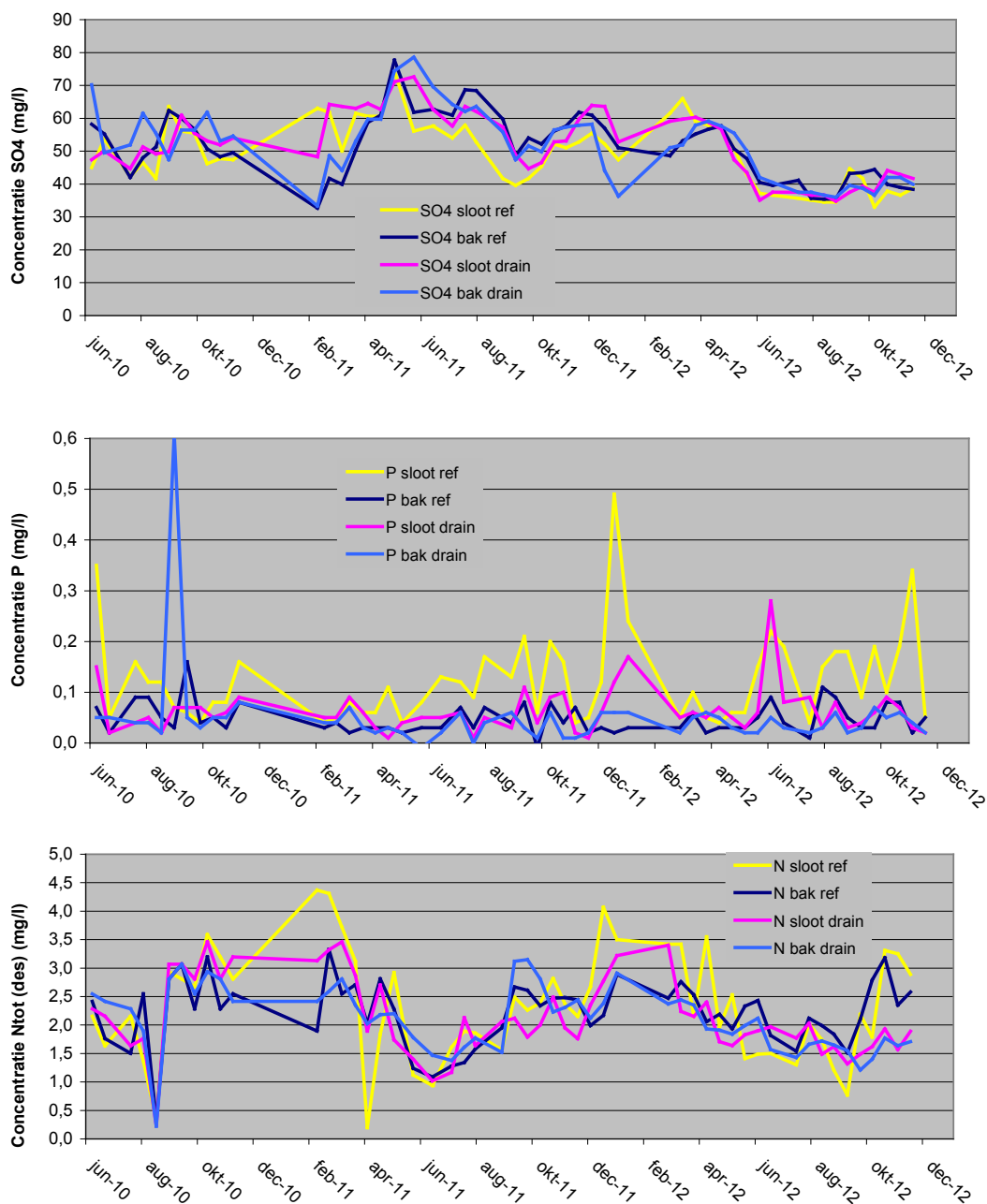
In hoofdstuk 4 'Verwerking en evaluatie resultaten met modelonderzoek' wordt ingegaan op de gemeten debieten, waarbij deze worden vergeleken met berekende waarden.

3.1.4 Waterkwaliteit Demmeriksekade

In Figuur 3.6 zijn de resultaten van de waterkwaliteitsmetingen voor sulfaat (SO_4) en de nutriënten stikstof (N) en fosfor (P) gepresenteerd. Om een duidelijk onderscheid te maken tussen de meetsloten en de aanvoersloten, worden de meetsloten 'bakken' genoemd. Het in- en uitgepompte water van de meetsloot (bak) waarop drains van het zuidelijke drainageperceel uitkomen en van de meetsloot (bak) tussen de twee referentiepercelen (zie Figuur 2.1), is automatisch debietproportioneel bemonsterd (zie verder 2.1.2). In deze paragraaf wordt een globaal inzicht gegeven in de waterkwaliteit in de pilot. In hoofdstuk 4 'Demmeriksekade: verwerking en evaluatie resultaten met modelonderzoek' wordt dieper ingegaan op waterkwaliteit en het effect van onderwaterdrains daarop.

Sulfaat

Het verloop van de sulfaatconcentraties in de loop van 2010, 2011 en 2012 is aangegeven in de bovenste grafiek in Figuur 3.6. 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.



Figuur 3.6 Gemeten concentraties van SO₄, P en Ntot (na destructie) in de twee bakken (meetsloten) en in de aangrenzende sloten.

In de waterkwaliteitsmonsters is de zwavelconcentratie (S) bepaald. De zwavelconcentratie is een directe maat voor de sulfaatconcentratie in het water. Vermenigvuldiging van de zwavelconcentratie met een factor drie geeft de sulfaatconcentratie. In 2010 ligt de sulfaatconcentratie op 45 tot 60 mg L⁻¹. Boven een concentratie van 50 mg L⁻¹ wordt sulfaat schadelijk voor de ecologie. In het algemeen wordt gesteld dat de sulfaatconcentratie onder de 100 mg L⁻¹ moet blijven (Van Puijenbroek *et al.*, 2010). In het voorjaar van 2011 stijgt de sulfaatconcentratie tot rond de 60 tot 75 mg L⁻¹. Er lijken geen sterke verschillen in concentraties op te treden tussen de aanvoersloten en de meetsloten.

Tegen juni 2011 ligt de sulfaatconcentratie rond 70 tot bijna 80 mg L⁻¹. Dit ligt duidelijk boven een sulfaatconcentratie van 50 mg L⁻¹ en is ecologisch schadelijk. De bovengrens van 100 mg L⁻¹ wordt in de hele meetperiode niet overschreden. In de loop van 2011 neemt de sulfaatconcentratie met ongeveer een kwart af, maar stijgt in de winter en het voorjaar van 2012 naar ca. 60 mg L⁻¹ in april. Daarna neemt de sulfaatconcentratie geleidelijk af naar ca. 40 mg L⁻¹. In de meetperiode is de algehele trend dat de sulfaatconcentratie afneemt. De verschillen in sulfaatconcentratie zijn klein en

worden eind 2012 nagenoeg gelijk. Vergeleken met de pilots in De Keulevaart en de Krimpenerwaard blijken de sulfaatconcentraties bij de pilot De Keulevaart maximaal tot drie keer hoger te zijn, namelijk 180 tot 210 mg L⁻¹. De pilot Krimpenerwaard laat hetzelfde beeld zien als de pilot Demmeriksekade, maar in de Krimpenerwaard zijn de hoogste sulfaatconcentraties wat hoger.

Fosfor

In de middelste grafiek van Figuur 3.6 is het verloop van de fosforconcentratie gegeven. De waarden zijn fosforconcentraties in het water van gefiltreerde monsters. De ongefiltreerde monsters, die na destructie zijn gemeten, blijken iets meer fosfor te bevatten. Dit blijkt uit een vergelijking tussen P en Pdes bepaald op dezelfde monsters in Figuur 3.7 links. In de figuur zijn alle Pdes- en P- concentraties van de waterkwaliteitsmonsters van de pilot Demmeriksekade tegen elkaar uitgezet. Het blijkt dat er een redelijk goede lineaire relatie bestaat tussen de totale P-concentratie in gefiltreerde monsters en de Pdes-concentratie in ongefiltreerde monsters na destructie. Een lineaire regressie levert de volgende vergelijking op:

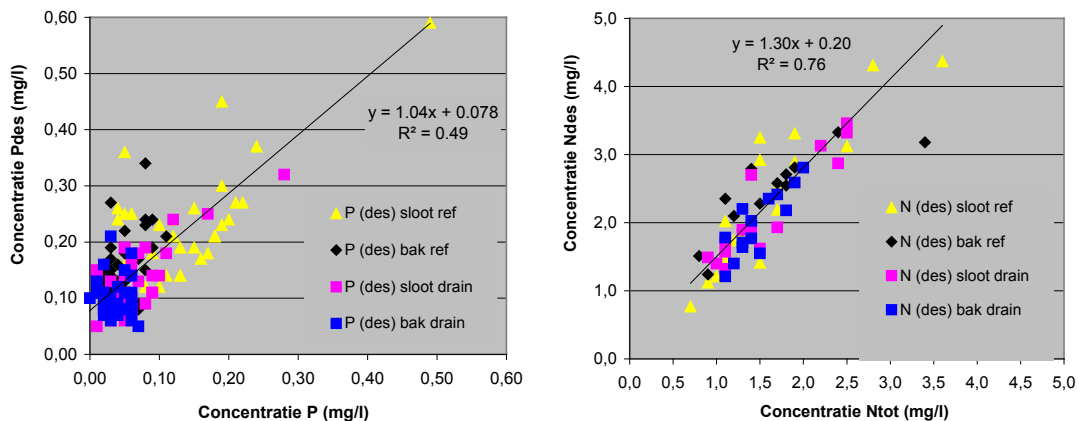
$$P_{des} = 1,04 P + 0,078 \quad (R^2 = 0,49) \quad (2)$$

Deze relatie is ook bij de pilots De Keulevaart en Krimpenerwaard bepaald en blijkt daar veel hogere correlatiecoëfficiënten (grotere R²) te hebben. Dit komt omdat bij deze twee pilots de fosforconcentraties veel hoger zijn. In Figuur 3.6 is P uitgezet in plaats van Pdes, omdat in 2010 fosfor alleen aan gefiltreerde monsters is gemeten.

Bij een zomerhalfjaargemiddelde P-concentratie van 0,22-0,44 mg L⁻¹ wordt de waterkwaliteit als 'matig' beoordeeld (Van Puijenbroek *et al.*, 2010). In zowel sloten als bakken blijven de P-concentraties onder de grens van 0,22 mg L⁻¹. Uitzonderingen zijn enkele pieken in de sloten en een enkele piek in de bak met de drains. In de bakken blijven de P-concentraties bij zowel de referentie als bij de drains zelfs altijd onder de 0,1 mg L⁻¹, op de piek bij de drains in augustus 2010 na. De verschillen tussen de P-concentraties in de bakken zijn klein. De P-concentraties liggen in de toevoersloten bijna altijd wat hoger dan in de bakken, vooral in de toevoersloot naar de referentie toe. Deze sloten die een open verbinding hebben met het oppervlaktewatersysteem van de polder worden blijkbaar sterk beïnvloed door het polderwater. De P-concentraties liggen bij de pilot Krimpenerwaard en pilot De Keulevaart in dezelfde range en zijn ongeveer het vijfvoudige van de P-concentraties bij de Demmeriksekade.

Stikstof

In de onderste grafiek van Figuur 3.6 is het verloop van het stikstofconcentraties gegeven. Bij een zomerhalfjaargemiddelde N-concentratie van 2,4-4,8 mg L⁻¹ wordt de waterkwaliteit als 'matig' beoordeeld (Van Puijenbroek *et al.*, 2010). Deze waarden zijn stikstofconcentraties na destructie. In Figuur 3.7 rechts zijn alle Ndes- en Ntot-concentraties van de waterkwaliteitsmonsters van de pilot Demmeriksekade tegen elkaar uitgezet.



Figuur 3.7 In de figuur links zijn de meetresultaten aan gefiltreerde (P) en ongefiltreerde monsters (Pdes) met elkaar vergeleken. In de figuur rechts idem, maar dan voor Ntot en Ndes.

Het blijkt dat er een redelijk sterke lineaire relatie bestaat tussen de totale stikstofconcentratie (N_{tot}) in gefiltreerde monsters en het stikstofconcentratie (N_{des}) van ongefiltreerde monsters na destructie. Een lineaire regressie levert de volgende vergelijking op:

$$N_{des} = 1,30 N_{tot} + 0,20 \quad (R^2 = 0,76) \quad (3)$$

In 2010 zijn geen N_{des}-concentraties aan ongefiltreerde monsters bepaald. Vergelijking (3) is gebruikt om de N_{tot}-concentraties in gefiltreerde monsters om te zetten in N_{des}-concentraties. Deze waarden zijn gebruikt in de onderste grafiek in Figuur 3.6.

In de zomerperiode zijn de stikstofconcentraties in het algemeen lager dan 2,4 mg L⁻¹ en kan het water als 'goed' worden geclassificeerd. Grote verschillen tussen de bakken onderling en met de aanvoersloten zijn er niet. Net als de P-concentraties zijn de N_{tot}-concentraties bij de Demmeriksekade duidelijk lager dan die bij de pilots De Keulevaart en Krimpenerwaard. Het verschil is met een factor 1,5 tot 2 wel aanmerkelijk kleiner dan de factor vijf verschil bij de P-concentraties.

3.1.5 Grasopbrengsten in 2011 en 2012 en bedrijfskundige verschillen tussen de percelen met en zonder drains in Demmeriksekade

Oorspronkelijk was het de bedoeling om de grasopbrengsten te schatten. In 2010 bleek echter dat dit te onnauwkeurig was en geen uitspraken opleverde over de vraag of toepassing van onderwaterdrains nu meer of minder opbrengst had gegeven. Daarom is besloten om in 2011 en in 2012 de opbrengsten te bepalen door het proefbedrijf Zegveld stroken te laten maaien, deze te wegen en te laten analyseren. De opbrengstbepaling gebeurde op het zuidelijke perceel op het gedeelte zonder en met drains. De gewasanalyse gebeurde achteraf op de gedurende het groeiseizoen verzamelde en gedroogde grasmonsters. De resultaten van de bepalingen zijn gegeven in Tabel 3.2.

Het blijkt dat in 2011 de totale grasopbrengst per hectare uitgedrukt in drogestof bij de drains 528 kg ha⁻¹ lager was dan bij de referentie. In 2012 was de situatie hetzelfde en was de grasopbrengst uitgedrukt in drogestof bij de drains 532 kg ha⁻¹ lager dan bij de referentie. Ook bij de pilot in De Keulevaart, bij Van Diemen, was de grasopbrengst in 2011 bij de drains ca. 410 kg ha⁻¹ drogestof lager, maar in 2012 juist 1205 kg ha⁻¹ hoger dan bij de referentie. Bij de pilot in de Krimpenerwaard, bij De Vries, was de drogestofopbrengst bij de drains in 2011 239 kg ha⁻¹ hoger, maar in 2012 juist 932 kg ha⁻¹ drogestof lager dan bij de referentie.

De grasopbrengsten geven aan dat toepassing van onderwaterdrains niet zonder meer resulteert in een verhoging van de grasopbrengsten. Dit kan er op duiden dat bij de perceelsdelen met onderwaterdrains minder veen mineraliseert, zodat er minder stikstof beschikbaar is voor grasgroei. Voor het behoud van het veen is dit goed nieuws, maar voor de grasopbrengst is dit minder gunstig. Hoving *et al.* (2008 en 2011) hebben deze lagere stikstofmineralisatie ook geconstateerd, maar vonden geen lagere waarden voor de grasopbrengsten. Dit schrijven zij toe 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 uitgemaaide 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.

De heer Van Eck is ook naar zijn ervaringen met onderwaterdrains gevraagd. Tot nu toe zijn de verschillen niet goed te zien. De draagkracht in natte perioden lijkt bij de drains wat beter. De drains lijken in droge perioden niet echt de verdrogingssschade te beperken. De drains zijn om proeftechnische redenen in de breedte van het perceel gelegd en zijn bij berijden nog steeds goed voelbaar. De verwachting is dat met de jaren de effecten van onderwaterdrains zullen toenemen door onder andere het ontstaan van doorlopende poriën richting drains en een betere graszode. Naast de proefpercelen is ook op een laag perceel ('natuurweide') deels gedraineerd. De indruk was dat eind juni de grasbenutting op het gedraineerde deel daarvan beter was. De heer Van Eck zou niet direct zelf meer

Tabel 3.2

Grasopbrengsten Demmeriksekade (drogestof in kg/ha) en opbrengsten in N en P (in kg/ha).

Perc	Dat_opbr	Sned	Object	DsOpbr	Fosfor	N-totaal	KgP/ha	KgN/ha	Opbr_Cum
van Eck	21-apr-11	1	Contr	2433,2	5,3	41,1	12,9	100,0	2433,2
van Eck	15-mei-11	2	Contr	1831,4	3,3	30,5	6,0	55,9	4264,6
van Eck	15-jun-11	3	Contr	1353,2	2,8	27,3	3,8	36,9	5617,8
van Eck	30-jun-11	4	Contr	1500,5	4,0	30,0	6,0	45,0	7118,3
van Eck	19-jul-11	5	Contr	1143,0	4,5	36,0	5,1	41,1	8261,3
van Eck	10-aug-11	6	Contr	1144,8	4,6	42,9	5,3	49,1	9406,1
van Eck	05-sep-11	7	Contr	1000,0	4,4	40,0	4,4	40,0	10406,1
van Eck	22-sep-11	8	Contr	559,3	4,3	40,5	2,4	22,7	10965,4
	2011	totaal	Contr	10965			45,9	390,7	
Perc	Dat_opbr	Sned	Object	DsOpbr	Fosfor	N-totaal	KgP/ha	KgN/ha	Opbr_Cum
van Eck	21-apr-11	1	Drain	2168,4	5,4	44,8	11,7	97,1	2168,4
van Eck	15-mei-11	2	Drain	1803,1	3,6	30,2	6,5	54,5	3971,6
van Eck	15-jun-11	3	Drain	1286,0	3,3	27,9	4,2	35,9	5257,5
van Eck	30-jun-11	4	Drain	1500,5	4,0	30,0	6,0	45,0	6758,0
van Eck	19-jul-11	5	Drain	992,9	4,2	34,6	4,2	34,4	7750,9
van Eck	10-aug-11	6	Drain	1099,1	4,5	41,0	4,9	45,1	8850,0
van Eck	05-sep-11	7	Drain	1000,0	4,4	40,0	4,4	40,0	9850,0
van Eck	22-sep-11	8	Drain	587,3	4,4	40,5	2,6	23,8	10437,4
	2011	totaal	Drain	10437			44,5	375,7	
Perc	Dat_opbr	Sned	Object	DsOpbr	Fosfor	N-totaal	KgP/ha	KgN/ha	Opbr_Cum
van Eck	15-mei-12	1	Contr	4217,70	4,50	28,20	18,98	118,94	4217,70
van Eck	21-jun-12	2	Contr	1663,68	4,00	37,60	6,65	62,55	5881,38
van Eck	01-aug-12	3	Contr	3046,72	3,90	23,10	11,88	70,38	8928,09
van Eck	04-sep-12	4	Contr	1587,04	4,20	38,80	6,67	61,58	10515,14
van Eck	15-okt-12	5	Contr	1629,11	4,00	32,50	6,52	52,95	12144,25
	2012	totaal	Contr	12144			50,7	366,4	
Perc	Dat_opbr	Sned	Object	DsOpbr	Fosfor	N-totaal	KgP/ha	KgN/ha	Opbr_Cum
van Eck	15-mei-12	1	Drain	3835,0	3,9	31,8	15,0	122,0	3835,0
van Eck	21-jun-12	2	Drain	1583,2	4,2	37,9	6,6	60,0	5418,1
van Eck	01-aug-12	3	Drain	3038,5	3,7	23,8	11,2	72,3	8456,7
van Eck	04-sep-12	4	Drain	1555,1	4,2	36,4	6,5	56,6	10011,8
van Eck	15-okt-12	5	Drain	1600,5	4,5	29,1	7,2	46,6	11612,4
	2012	totaal	Drain	11612			46,6	357,5	

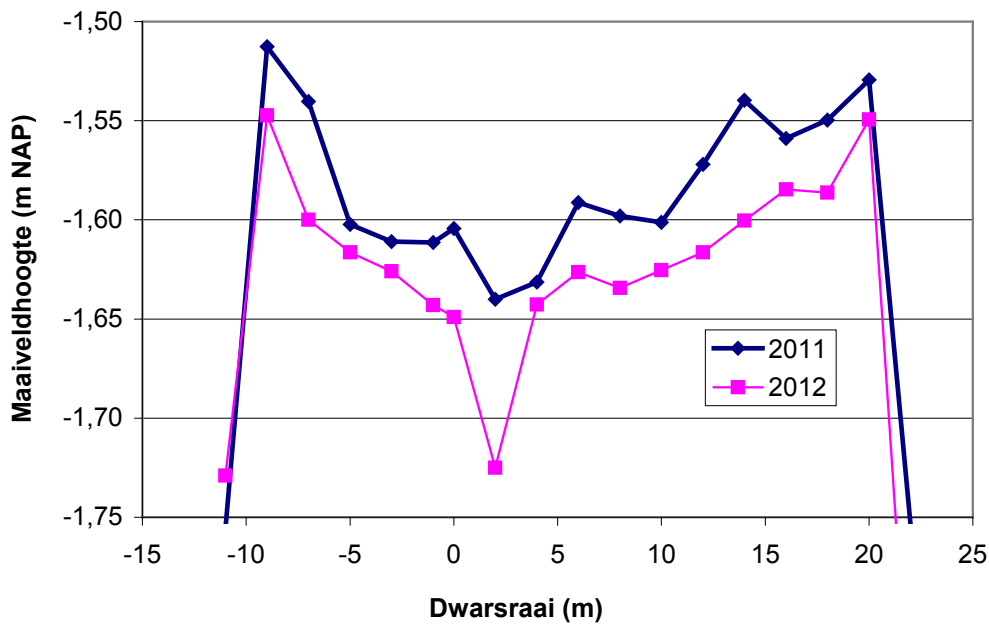
percelen gaan draineren. Daarvoor zijn de voordelen nog niet duidelijk genoeg. Een investering van € 500 per hectare zou nu wel verantwoord zijn. Dit houdt in dat ca. € 1000 subsidie per hectare noodzakelijk is. Bij aanleg van onderwaterdrains zouden brede holle percelen als eerste in aanmerking komen. Deze zouden zoveel mogelijk in de lengte van het perceel moeten worden gelegd. De drooglegging in deze situatie met deze grond zou voor zowel met als zonder toepassing van onderwaterdrains 45-50 cm in de zomer en 60 cm in de winter moeten zijn. Hierbij moet worden opgemerkt dat dit gebied een behoorlijke wegzijging heeft, waardoor de grondwaterstand dieper wegzakt dan in gebieden zonder of met weinig wegzijging, wat de draagkracht ten goede komt. Hierdoor zijn de positieve effecten van onderwaterdrains op de draagkracht relatief gezien kleiner.

3.2 Pilot De Keulevaart

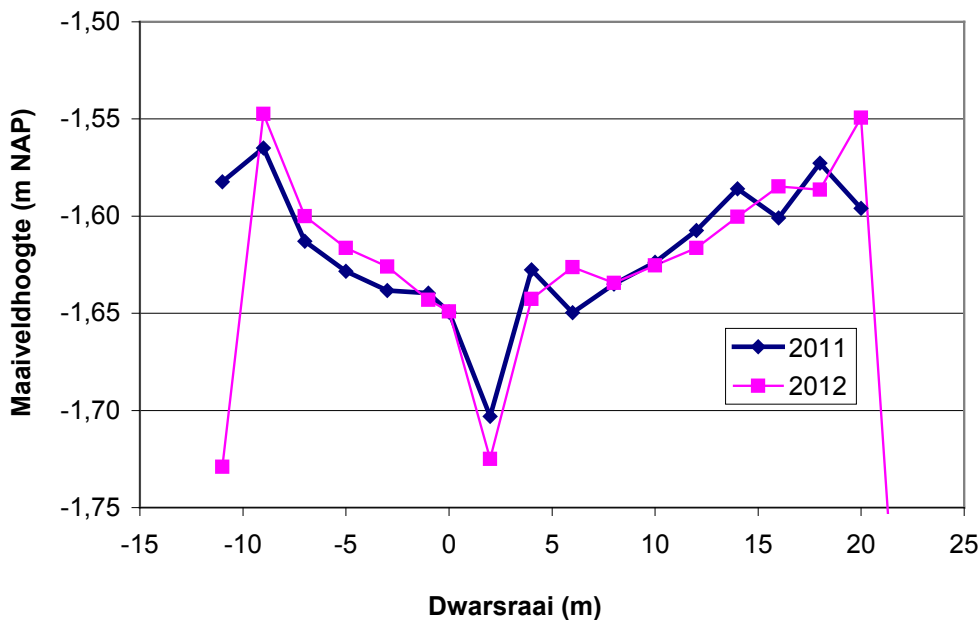
3.2.1 Maaiveldhoogte 2011 De Keulevaart

In de figuren 3.8 en 3.9 zijn de maaiveldhoogten gemeten in het voorjaar van 2011 (3 maart) en 2012 (23 februari) gepresenteerd.

Referentie Noord



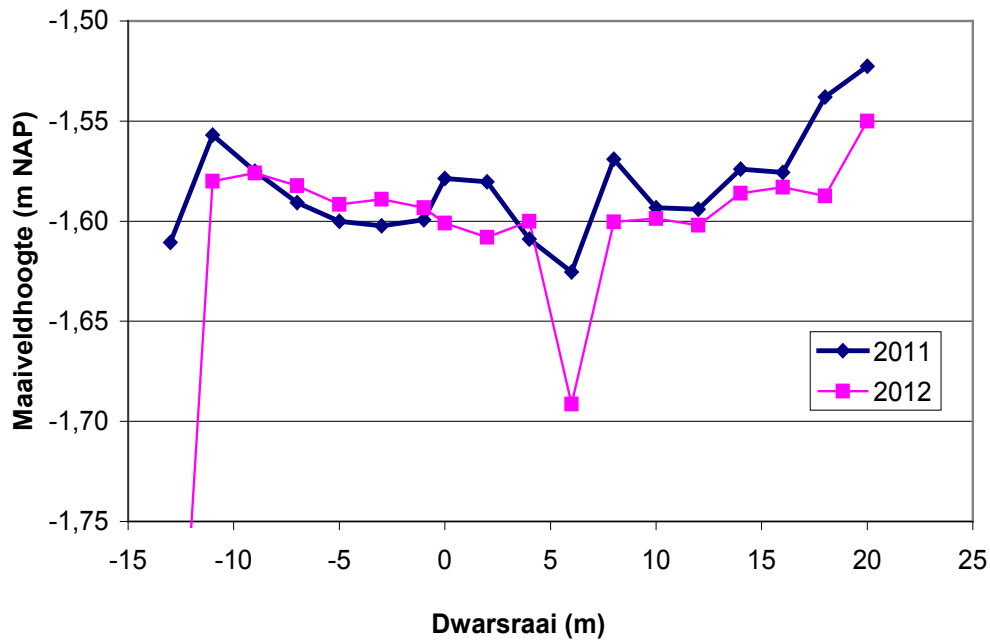
Drains Noord



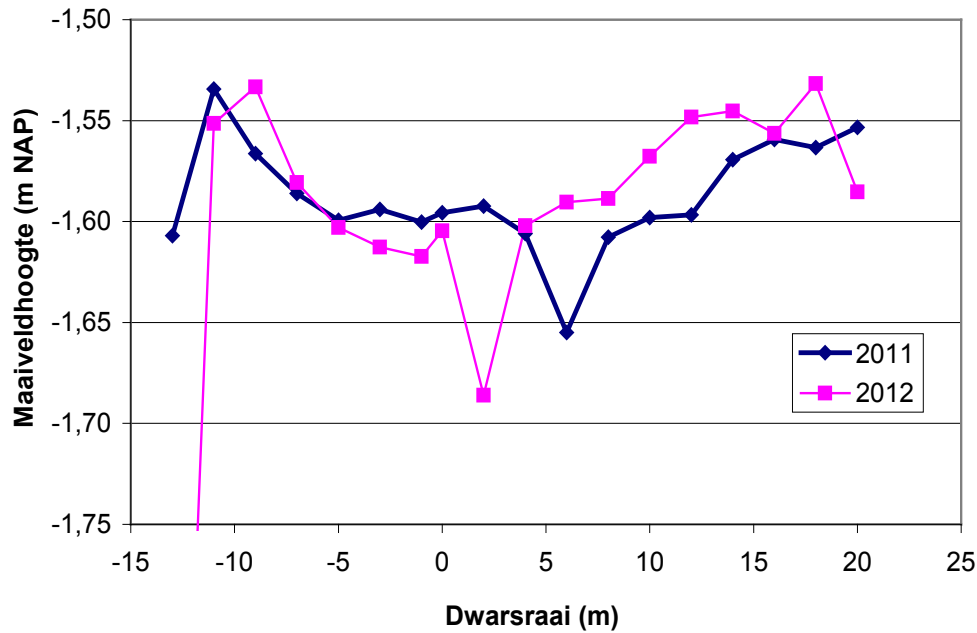
Figuur 3.8 Maaiveldhoogtemetingen noordelijke proefvelden op 3 maart 2011 en 23 februari. Gemiddelde van drie dwarsraaien. De raaien lopen van zuid naar noord.

De hoogtemetingen aan het maaiveld zijn vroeg in het voorjaar gedaan om te voorkomen dat door gewasverdamping het maaiveld door krimp door uitdroging al meetbaar was gedaald. In Tabel 3.3 zijn de gemiddelde hoogten gegeven van het maaiveld in voorjaar 2011 en 2012, waarbij bij het bepalen van de gemiddelde maaiveldhoogte greppels en randen van sloten zijn weggelaten. De hoogtemeting in 2011 is de eerste meting om de maaiveldhoogte en de maaivelddaling in de tijd te volgen. Door krimp en zwel zijn van jaar tot jaar vrij grote verschillen in maaiveldhoogten mogelijk die niet zijn veroorzaakt door veenafbraak. Het is uit ervaring bekend dat om een trend in maaivelddaling te meten zes tot tien jaar moet worden gemeten. De maaiveld dalingen die in Tabel 3.3 uit het verschil in gemiddelde maaiveldhoogten van 2011 en 2012 zijn berekend, hebben daarom maar een beperkte waarde. Wel is de berekende maaivelddaling van Referentie Noord zo groot, dat dit kan wijzen op een meetfout. Metingen in latere jaren moeten dit uitwijzen. Voorlopig valt nog niets te zeggen over de maaiveld daling en of onderwaterdrains bij deze proef de maaiveld daling beperken.

Referentie Zuid



Drains Zuid



Figuur 3.9 Maaiveldhoogtemetingen zuidelijke proefvelden op 4 maart 2011 en 23 februari. Gemiddelde van drie dwarsraaien. De raaien lopen van zuid naar noord.

Tabel 3.3

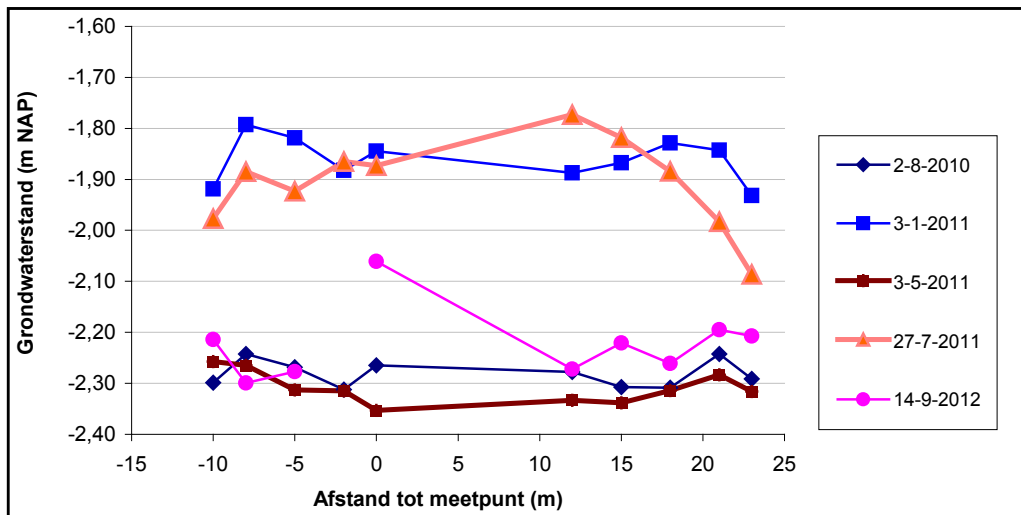
Gemiddelde maaiveldhoogteproefvelden zoals o.a. gebruikt voor de bepaling van de drooglegging (hoogten 2011) en voor de bepaling van maaivelddaling.

Proefveld	Gemiddelde maaiveldhoogte (m + NAP)			Maaivelddaling (mm)
	2011	2012	gebruikt in SWAP	2012 - 2011
Referentie Noord	-1,577	-1,610	-1,580	33
Drains Noord	-1,617	-1,613	-1,615	-4
Referentie Zuid	-1,582	-1,592		10
Drains Zuid	-1,585	-1,576		-9

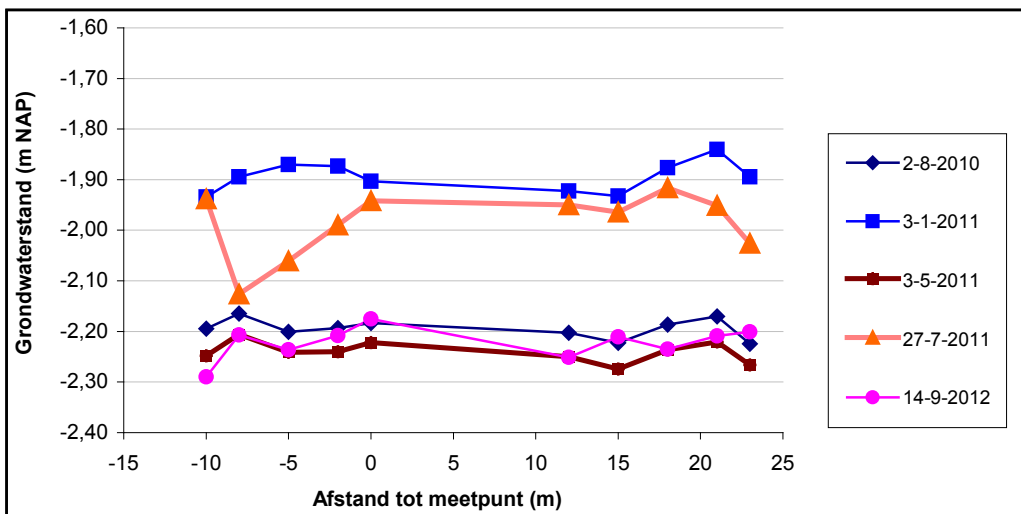
3.2.2 Grondwaterstanden De Keulevaart

In de figuren 3.10 en 3.11 zijn de grondwaterstanden in dwarsraaien over de proefvelden gepresenteerd. In hoofdstuk 5 'De Keulevaart: Verwerking en evaluatie resultaten met modelonderzoek' wordt dieper ingegaan op het verloop van de grondwaterstanden in de tijd, waarbij gemeten waarden worden vergeleken met berekende waarden. Gepresenteerd zijn de metingen in de droogste periode in 2010, 2011 en 2012 (2 augustus 2010, 3 mei 2011 en 14 september 2012), de natste meting (3 januari 2011) en een natte meting in de zomer (27 juli 2011), waarbij blijkt dat de grondwaterstanden in de bijzonder natte zomer van 2011 ongeveer even hoog staan als in januari 2011.

Referentie Noord



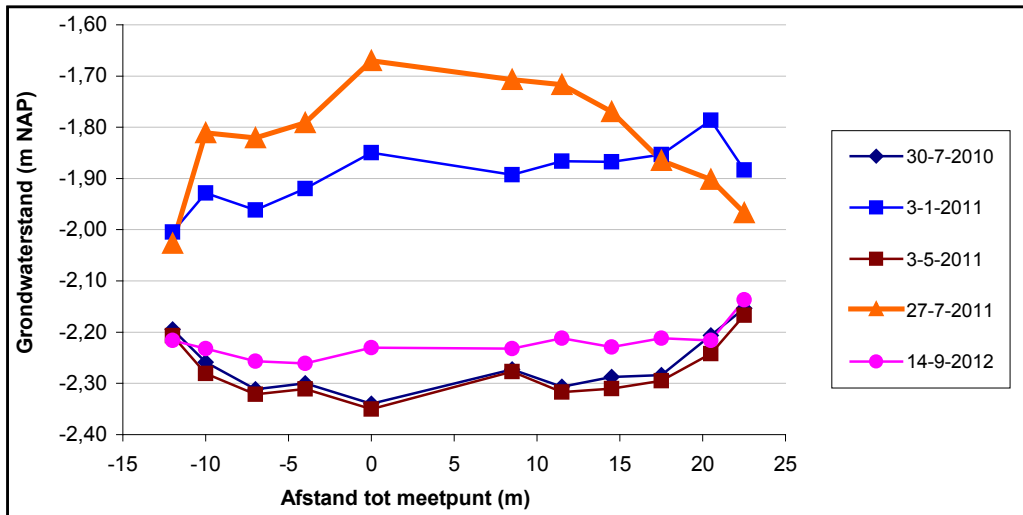
Drains Noord



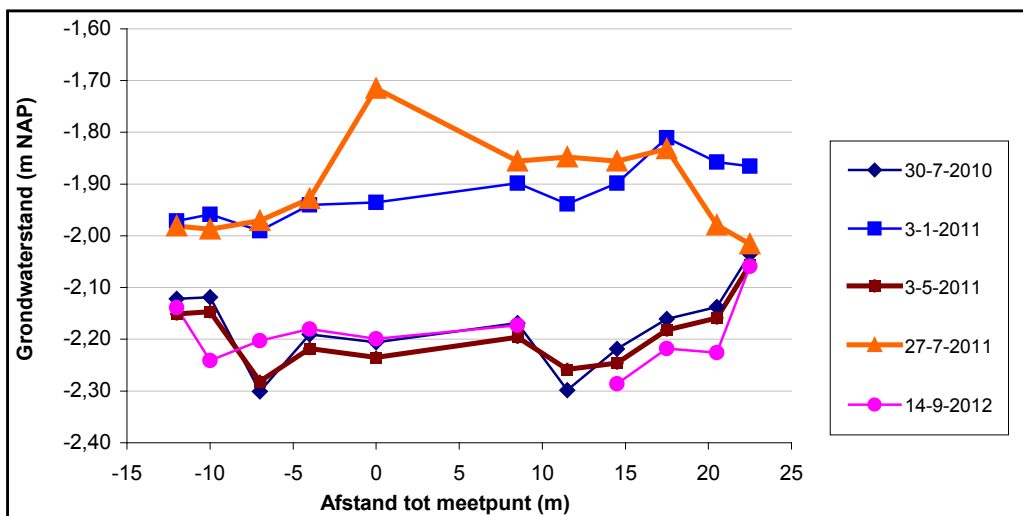
Figuur 3.10 Grondwaterstanden noordelijke proefvelden ten tijde van de natste en droogste perioden. De richting van de afstand tot het meetpunt loopt van zuid naar noord. De meetsloot ligt aan de zuidelijke rand van het perceel (in de figuur links).

In de figuren lopen van links naar rechts de raaien van zuid naar noord. Bij de beschouwing van de grondwaterstanden moet worden bedacht dat het slootpeil in de meetsloten in de zomer zijn ingesteld op een drooglegging van 55 cm met een marge van 2 cm (in de praktijk bleek de marge soms aanzienlijk groter te zijn). Omdat de gemiddelde maaiveldhoogte van de referentie 4 cm hoger ligt dan de gemiddelde maaiveldhoogte van het perceelsdeel met drains, is er ook een verschil van 4 cm tussen het slootpeil van de referentie (streefpeil -2,13 NAP) en dat van het perceelsdeel met drains (streefpeil -2,17 m + NAP) aangehouden. Het zomer- en winterpeil van dit deel van De Keulevaart is respectievelijk -2,15 m + NAP en -2,25 m + NAP.

Referentie Zuid

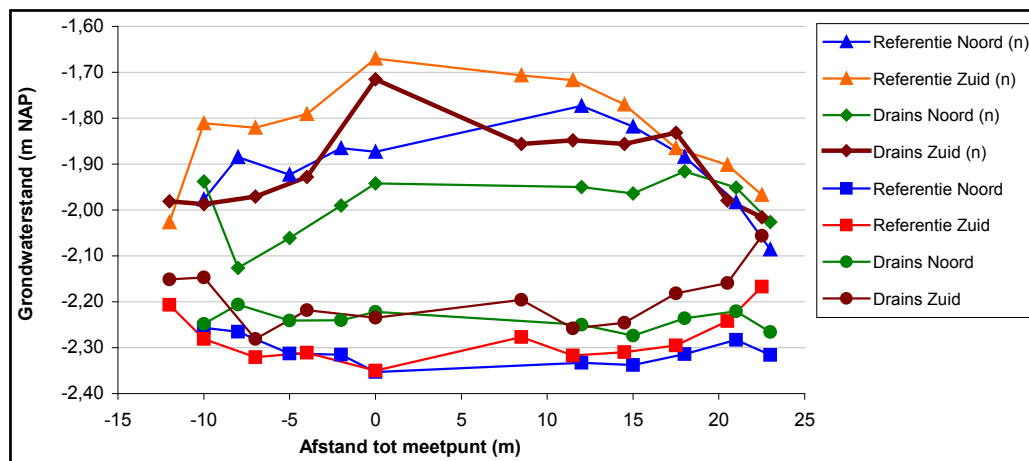


Drains Zuid



Figuur 3.11 Grondwaterstanden zuidelijke proefvelden ten tijde van de natste en droogste perioden. De richting van de afstand tot het meetpunt loopt van zuid naar noord. De meetsloot ligt aan de noordelijke rand van het perceel (in de figuur rechts).

In Figuur 3.12 zijn voor de natte periode rond 27 juli 2011 de grondwaterstanden van alle dwarsraaien vergeleken. Hetzelfde is gebeurd voor de droge periode rond 3 mei 2011. Dit laat zien dat de drains in zowel het noordelijke als het zuidelijke proefveld de grondwaterstand met 10 tot 15 cm verlagen in natte perioden. De drains lijken ook in de droge periode in de zomer goed te functioneren en verhogen de grondwaterstand door infiltratie via de drains bij deze grondwaterstanden tot 70-75 cm -mv met 5 tot 10 cm.



Figuur 3.12 Vergelijking van de grondwaterstanden in de dwarsraaien in een natte periode (27 juli 2011) en een droge periode (3 mei 2011). Het slootpeil is ca. -2,15 m + NAP.

3.2.3 Hoeveelheden in- en uitgepompt water De Keulevaart

In hoofdstuk 5 'De Keulevaart: Verwerking en evaluatie resultaten met modelonderzoek' wordt ingegaan op de gemeten debieten, waarbij deze worden vergeleken met de berekende waarden.

3.2.4 Waterkwaliteit De Keulevaart

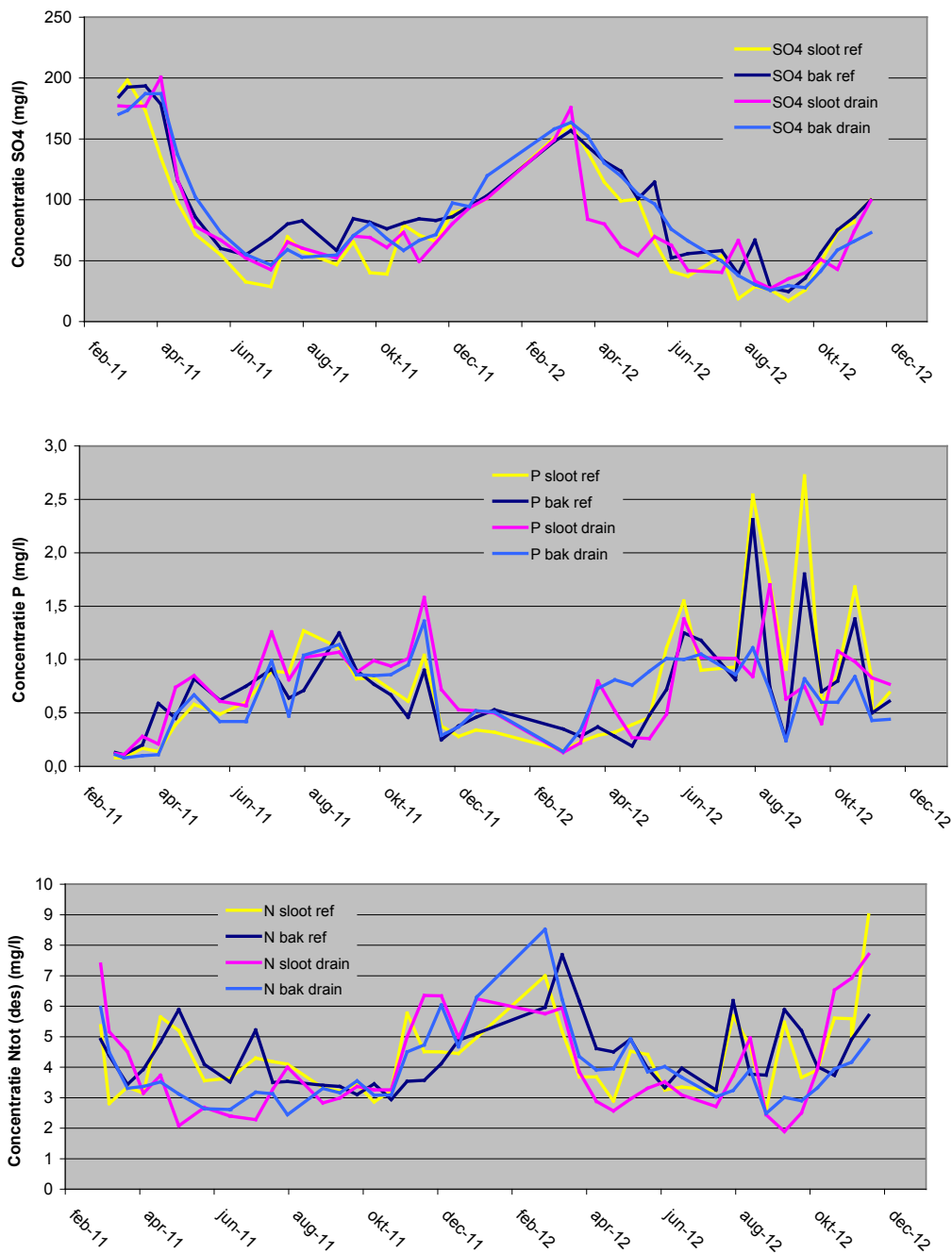
In Figuur 3.13 zijn de resultaten van de waterkwaliteitsmetingen van sulfaat (SO_4) en de nutriënten stikstof (N) en fosfor (P) gepresenteerd. Om een duidelijk onderscheid te maken tussen de meetsloten en de aanvoersloten, worden de meetsloten 'bakken' genoemd. Het in- en uitgepompte water bij de meetsloot (bak) waarop drains van het noordelijke drainageperceel uitkomen en van de meetsloot (bak) tussen de twee referentiepercelen (zie Figuur 2.2), is automatisch debietproportioneel bemonsterd (zie verder 2.2.2). In deze paragraaf wordt een globaal inzicht gegeven in de waterkwaliteit in de pilot. In hoofdstuk 5 'De Keulevaart: verwerking en evaluatie resultaten met modelonderzoek' wordt dieper ingegaan op waterkwaliteit en het effect van onderwaterdrains daarop.

Sulfaat

Het verloop van de sulfaatconcentraties in de loop van 2011 en 2012 is aangegeven in de bovenste grafiek in Figuur 3.13. 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 zijn de zwavelconcentraties (S) bepaald. De zwavelconcentratie is een directe maat voor de sulfaatconcentratie in het water. Door de S-concentratie met 3 te vermenigvuldigen wordt de sulfaatconcentratie gevonden. Boven een concentratie van 50 mg L^{-1} wordt sulfaat schadelijk voor de ecologie. In het algemeen wordt gesteld dat de sulfaatconcentratie onder de 100 mg L^{-1} moet blijven (Van Puijenbroek *et al.*, 2010). In het voorjaar van 2011 is de sulfaatconcentratie op haar hoogste waarde van de hele meetperiode en is dan rond de 160 tot 175 mg L^{-1} . In de hele meetperiode treden geen sterke verschillen in concentraties op tussen de aanvoersloten en de bakken.

In de winterperioden neemt de sulfaatconcentratie toe, waarna zij vanaf maart-april afneemt en gedurende de zomerperiode op haar laagst is met rond de 60 mg L^{-1} in 2011 en 40 mg L^{-1} in 2012. De hoge waarden in de winter worden veroorzaakt door uitspoeling uit de veenbodem van sulfaat dat in de zomerperioden is gevormd door pyrietoxidatie. De verlagingen in het voorjaar zijn het gevolg van biochemische reductie van sulfaat in de anaerobe waterbodem (o.a. Hendriks en Van Gerven, 2011; Hendriks *et al.*, 2013). Hierbij wordt fosfor dat opgeslagen is in de waterbodem in de winter gemobiliseerd uit de waterbodem naar het slootwater.



Figuur 3.13 Gemeten concentraties van SO₄, P en Ntot (na destructie) in de twee bakken (meetsloten) en in de aangrenzende sloten in de pilot De Keulevaart.

De sulfaatconcentraties in de pilot De Keulevaart zijn ongeveer drie keer zo hoog als die in de pilot Demmeriksekade. De pilot Krimpenerwaard laat ongeveer hetzelfde beeld zien als de pilot De Keulevaart, maar in de Krimpenerwaard zijn de hoogste sulfaatconcentraties ongeveer de helft van de waarden in De Keulevaart.

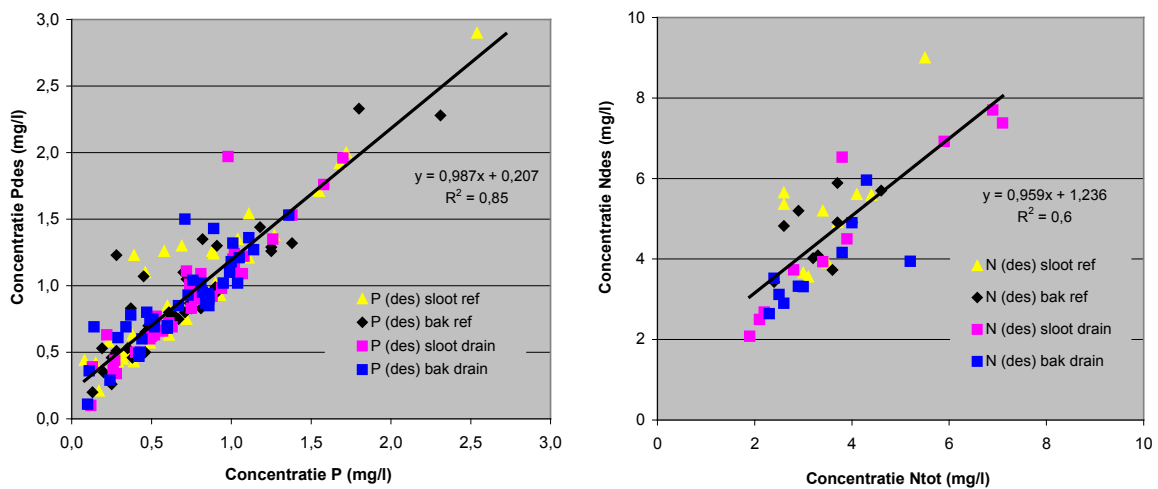
Fosfor

In de middelste figuur van Figuur 3.13 is het verloop van de fosforconcentraties (P) gegeven. De waarden zijn fosforconcentraties in het water van gefiltreerde monsters. De ongefiltreerde monsters, die na destructie zijn gemeten, blijken iets meer fosfor te bevatten. Dit blijkt uit een vergelijking tussen P en Pdes bepaald in dezelfde monsters in Figuur 3.14 links. In de figuur zijn alle Pdes- en P-concentraties van de waterkwaliteitsmonsters van de pilot De Keulevaart tegen elkaar uitgezet. Het blijkt dat er een goede relatie bestaat tussen de totale P-concentratie in gefiltreerde monsters en de

Pdes-concentratie in ongefiltreerde monsters na destructie. Een lineaire regressie levert de volgende vergelijking op:

$$P_{des} = 0,987 P + 0,207 \quad (R^2 = 0,85) \quad (4)$$

Bij een zomerhalfjaargemiddelde P-concentratie van 0,44-1,1 mg L⁻¹ wordt de waterkwaliteit als 'ontoereikend' beoordeeld (Van Puijenbroek *et al.*, 2010). Dat geldt voor de vier meetobjecten. Hoge concentraties in de zomer hangen samen met mobilisatie van P uit de waterbodem onder invloed van biochemische reductie van SO₄. Er lijken geen systematische verschillen in P-concentraties tussen de sloten en bakken te zijn. Alleen op het einde van 2012 zijn er grote verschillen tussen de referentie en de drains doordat enkele forse pieken voorkomen in zowel de aanvoersloot ('sloot') en de meetsloot ('bak') van de referentie. De P-concentraties liggen bij De Keulevaart in dezelfde range als bij pilot Krimpenerwaard en. Bij de Demmeriksekade zijn de P-concentraties een factor vijf lager dan bij de Keulvaart.



Figuur 3.14 In de figuur links zijn de meetresultaten aan gefiltreerde (P) en ongefiltreerde monsters (Pdes) met elkaar vergeleken. In de figuur rechts idem, maar dan voor Ntot en Ndes.

Stikstof

In de onderste grafiek van Figuur 3.13 is het verloop van het stikstofconcentraties gegeven. Bij een zomerhalfjaargemiddelde N-concentratie van 2,4-4,8 mg L⁻¹ wordt de waterkwaliteit als 'matig' beoordeeld (Van Puijenbroek *et al.*, 2010). De waarden zijn N-concentraties na destructie. In Figuur 3.14 rechts zijn alle Ndes- en Ntot-concentraties van de waterkwaliteitsmonsters van de pilot De Keulevaart tegen elkaar uitgezet. Het blijkt dat er een redelijk sterke relatie bestaat tussen de totaal-N-concentraties (Ntot) in gefiltreerde monsters en de Ndes-concentraties van ongefiltreerde monsters na destructie. Een lineaire regressie levert de volgende vergelijking op:

$$N_{des} = 0.959 N_{tot} + 1,236 \quad (R^2 = 0,6) \quad (5)$$

In de zomerperiode liggen de N-concentraties ongeveer in de range van 2,4 mg L⁻¹ en 4,8 mg L⁻¹ kan het water als 'matig' worden geclassificeerd (Van Puijenbroek *et al.*, 2010). Grote verschillen tussen de bakken onderling en met de aanvoersloten zijn er niet. Net als met de P-concentraties zijn de Ntot-concentraties bij De Keulevaart aan de hoge kant en hoger dan bij de pilot Krimpenerwaard en veel hoger dan bij de pilot Demmeriksekade.

3.2.5 Grasopbrengsten in 2011 en 2012 en bedrijfskundige verschillen tussen de percelen met en zonder drains pilot De Keulevaart

Oorspronkelijk was het de bedoeling om de grasopbrengsten te schatten. In 2010 bleek echter dat dit te onnauwkeurig was en geen uitspraken opleverde over de vraag of toepassing van onderwaterdrains nu meer of minder opbrengst had gegeven. Daarom zijn in 2011 en in 2012 de opbrengsten bepaald door het proefbedrijf Zegveld door stroken te maaien, deze te wegen en daarna te laten analyseren.

De resultaten van de bepalingen zijn gegeven in Tabel 3.4.

Tabel 3.4.

Grasopbrengsten De Keulevaart (drogestof in kg/ha) en opbrengsten in N en P (in kg/ha).

Perc	Dat_opbr	Snede	Object	DsOpbr	Fosfor	N-totaal	KgP/ha	KgN/ha	Opbr_Cum
van Diemen	25-apr-11	1	Contr	2187,5	5,4	47,2	11,8	103,3	2187,5
van Diemen	03-jun-11	2	Contr	3317,2	3,1	31,4	10,3	104,2	5504,8
van Diemen	06-jul-11	3	Contr	2009,3	3,9	29,3	7,8	58,9	7514,1
van Diemen	21-jul-11	4	Contr	674,5	3,6	31,5	2,4	21,2	8188,6
van Diemen	15-aug-11	5	Contr	1563,1	4,7	30,2	7,3	47,2	9751,8
van Diemen	25-sep-11	6	Contr	2699,9	4,7	30,3	12,7	81,8	12451,6
	2011	totaal	Contr	12452			52,4	416,5	
Perc	Dat_opbr	Snede	Object	DsOpbr	Fosfor	N-totaal	KgP/ha	KgN/ha	Opbr_Cum
van Diemen	25-apr-11	1	Drain	2187,0	5,4	44,8	11,8	98,0	2187,0
van Diemen	03-jun-11	2	Drain	3039,5	3,1	28,8	9,4	87,5	5226,5
van Diemen	06-jul-11	3	Drain	1857,4	4,1	28,8	7,6	53,5	7083,9
van Diemen	21-jul-11	4	Drain	721,4	3,9	30,0	2,8	21,6	7805,3
van Diemen	15-aug-11	5	Drain	1480,1	4,6	33,3	6,8	49,3	9285,4
van Diemen	25-sep-11	6	Drain	2757,2	4,6	28,6	12,7	78,9	12042,6
	2011	totaal	Drain	12043			51,2	388,8	
Perc	Dat_opbr	Snede	Object	DsOpbr	Fosfor	N-totaal	KgP/ha	KgN/ha	Opbr_Cum
van Diemen	14-mei-12	1	Contr	4702,4	4,3	24,7	20,2	116,1	4702,4
van Diemen	21-jun-12	2	Contr	2055,5	4,2	27,0	8,6	55,5	6757,9
van Diemen	01-aug-12	3	Contr	2518,7	4,2	26,1	10,6	65,7	9276,6
van Diemen	04-sep-12	4	Contr	1157,9	4,6	31,5	5,3	36,5	10434,5
van Diemen	15-okt-12	5	Contr	808,6	4,3	34,3	3,5	27,7	11243,1
	2012	totaal	Contr	11243			48,2	301,6	
Perc	Dat_opbr	Snede	Object	DsOpbr	Fosfor	N-totaal	KgP/ha	KgN/ha	Opbr_Cum
van Diemen	14-mei-12	1	Drain	5152,8	4,4	25,6	22,7	131,9	5152,8
van Diemen	21-jun-12	2	Drain	2258,6	4,1	27,7	9,3	62,6	7411,4
van Diemen	01-aug-12	3	Drain	2573,0	4,2	29,7	10,8	76,4	9984,4
van Diemen	04-sep-12	4	Drain	1486,4	4,4	32,8	6,5	48,8	11470,8
van Diemen	15-okt-12	5	Drain	977,5	4,2	37,0	4,1	36,2	12448,3
	2012	totaal	Drain	12448			53,4	355,8	

Het blijkt dat in 2011 de totale grasopbrengst per hectare uitgedrukt in drogestof bij de drains 409 kg ha⁻¹ lager was dan bij de referentie. In 2012 was de situatie het omgekeerde en was de grasopbrengst uitgedrukt in drogestof bij de drains 1205 kg ha⁻¹ hoger dan bij de referentie. Dit is een grote toename van de grasopbrengst met ca. 10%. Bij de Demmeriksekade was in beide jaren de grasopbrengst bij de drains met ca 530 kg ha⁻¹ minder droge stof duidelijk lager dan bij de referentie. Bij de pilot in de Krimpenerwaard was de drogestofopbrengst bij de drains in 2011 239 kg ha⁻¹ hoger, maar in 2012 juist 932 kg drogestof ha⁻¹ lager dan bij de referentie.

Voor de pilot De Keulevaart lijkt de toepassing van onderwaterdrains gunstig uit te pakken. In het algemeen kan echter worden gesteld dat toepassing van onderwaterdrains niet zonder meer resulteert in een verhoging van de grasopbrengsten. Dit kan er op duiden dat bij de perceelsdelen met onderwaterdrains minder veen mineraliseert, zodat er minder stikstof beschikbaar is voor grasgroei.

Voor het behoud van het veen is dit goed nieuws, maar voor de grasopbrengst is dit minder gunstig. Hoving *et al.* (2008 en 2011) hebben deze lagere stikstofmineralisatie ook geconstateerd, maar vonden geen lagere waarden voor de grasopbrengsten. Dit schrijven zij toe 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.

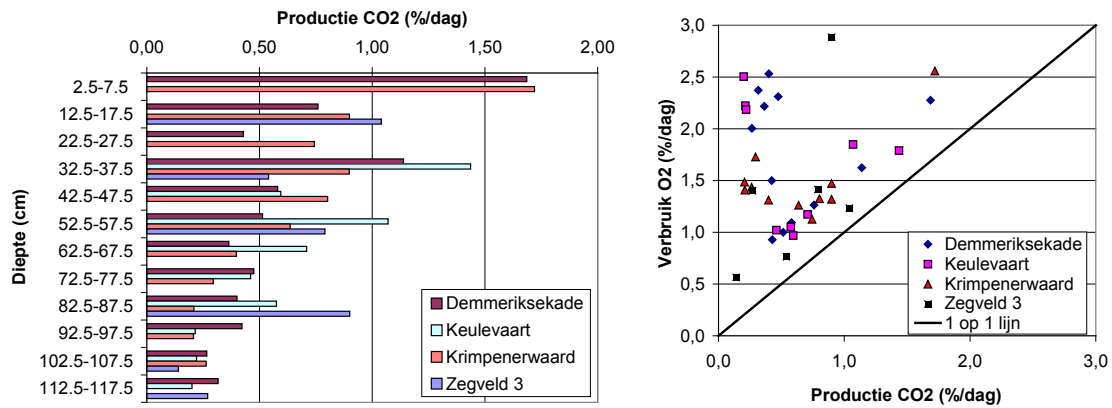
Aan de heer van Diemen is ook naar zijn ervaringen met onderwaterdrains gevraagd. De draagkracht in natte perioden blijkt bij de drains beter te zijn. Na forse regenbuien zijn de perceelsdelen met drains droger. De drains lijken in droge perioden, zoals het voorjaar van 2011, niet echt de verdrogings schade te beperken. Om schade te voorkomen zijn de drains in 2010 op een vrij droog perceel aangelegd. Bij deze veengrond met een kleilaag van ca. 35 cm was de kleigrond daardoor goed berijdbaar, maar misschien te droog voor de 'grondbewerking', want het is nog steeds zichtbaar waar de drains zijn gelegd. Er zal dus een goed compromis moeten worden gevonden tussen voldoende draagkracht en goede omstandigheden voor grondbewerking. Niet alleen zijn de drains niet alleen nog zichtbaar, maar ook goed voelbaar. Vooral omdat de drains om proeftechnische redenen in de breedte van het perceel zijn gelegd. De heer van Diemen zou wel meer percelen willen draineren. Als belangrijkste voordeel ziet hij drogere percelen met een grotere draagkracht. Als verder voordeel noemt hij het beperken van de veenafbraak en de maaiveld daling. De kosten van aanleg zouden 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, want dat betekent minder eindbuizen, geen verstoring van het profiel in breedte van het perceel en een lagere investering door goedkopere aanleg. De drooglegging in de situatie zonder toepassing van onderwaterdrains zou ca. 60 cm moeten zijn. Bij toepassing van drains zou een drooglegging van 50 cm kunnen. Het gebied heeft een geringe kwel (0,25 mm/dag), waardoor de grondwaterstand wat minder diep wegzakt dan normaal. Percelen zijn hierdoor eerder aan de natte kant.

3.3 Veenafbraak bij de pilots Demmeriksekade, De Keulevaart en Krimpenerwaard

3.3.1 Resultaten afbraakmetingen

De resultaten van de bepalingen van de potentiële afbraaksnelheid van het veen met de ademhalingsmeting zijn voor de drie pilots gepresenteerd in de figuren 3.15 en 3.16. In Figuur 3.15 zijn de CO₂-producties van de monsters van verschillende diepten gegeven. De productie is uitgedrukt in de toename van de CO₂-concentratie in de afgesloten pot in procenten per dag. De op deze manier aangegeven CO₂-productiesnelheid is een maat voor de potentiële afbraaksnelheid van veen bij de heersende temperatuur van 20 °C. Deze maat is direct gerelateerd aan de (potentiële) maaiveld daling door veenafbraak en maakt de pilots op dit punt vergelijkbaar. Naast de resultaten van de drie pilots Demmeriksekade, De Keulevaart en Krimpenerwaard zijn ter vergelijking ook de CO₂-producties van perceel 3 van proefboerderij Zegveld gepresenteerd.

Er is een grote variatie in CO₂-productiesnelheid, tussen de drie pilots en ook met de diepte per pilot. De over de diepte gesommeerde waarden van Demmeriksekade en Krimpenerwaard blijken echter bijna even groot te zijn. De CO₂-productiesnelheid bij De Keulevaart is ongeveer een kwart minder. De reden hiervoor is dat bij De Keulevaart de bovenste 33 cm van het bodemprofiel uit zware klei bestaat. Deze kleilaag doet niet mee aan de maaiveld daling door veenafbraak. De afbraak van de organische stof in deze laag is dan ook niet bepaald.



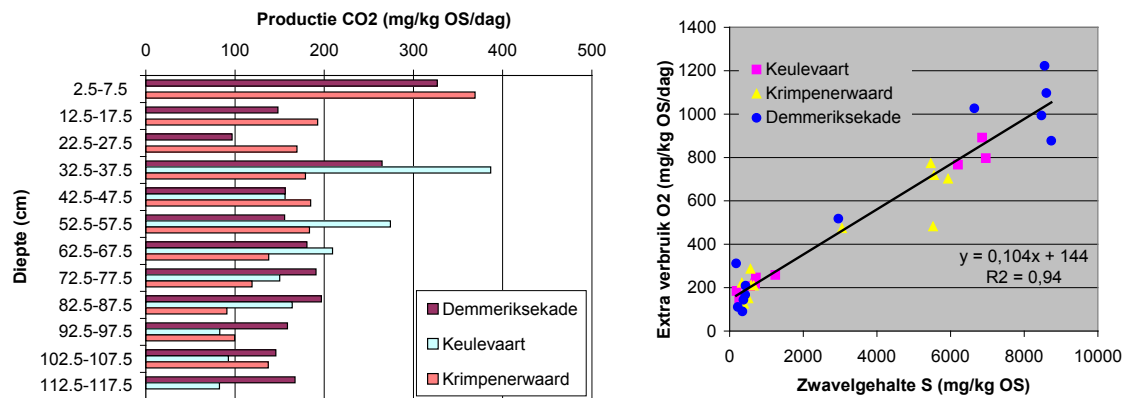
Figuur 3.15 Resultaten van de afbraakproeven bij 20 °C. De CO₂-productie van monsters gestoken op verschillende diepten is uitgedrukt in de toename van de CO₂-concentratie in % per dag in een afgesloten pot. Het verbruik van zuurstof (O₂) is op een zelfde manier uitgedrukt in het rechter figuur waarin het O₂-verbruik is uitgezet tegen de CO₂-productie. Bij De Keulevaart is tot 33 cm diep een kleidek aanwezig waarvoor de afbraakbepaling niet is gedaan.

Om de potentiële afbraaksnelheid van de organische stof van veen tussen de drie pilots te vergelijken, zijn in Figuur 3.16 links per laag de CO₂-productiesnelheden uitgedrukt in mg per kg organische stof per dag. De grote verschillen per laag in Figuur 3.15 links worden in Figuur 3.16 links veel minder groot. Dit komt omdat in Figuur 3.16 de afbraaksnelheid van de organische stof op zich wordt beschouwd; verschillen in dichtheid en organischestofgehalte per bodemlaag spelen hierbij geen rol.

De gemiddelde potentiële afbraaksnelheid blijkt bij de Demmeriksekade en De Keulevaart ongeveer gelijk te zijn. Bij de Krimpenerwaard is de gemiddelde potentiële afbraaksnelheid ca. 10% kleiner dan bij de andere pilots. Dit verschilt echter per laag. In de lagen op diepten van 32,5-37,5 cm en 52,5-67,5 cm zijn de potentiële afbraaksnelheden van De Keulevaart juist (veel) groter dan die van de twee andere pilots. Op een diepte van 32,5-37,5 cm, direct onder de kleilaag, is de afbraaksnelheid van De Keulevaart zelfs de grootste van alle gemeten afbraaksnelheden. Groter zelfs dan de afbraaksnelheden van beide andere pilots op 2,5-7,5 cm diep, waar 'verse' organische stof als resten van organische mest en wortelresten en -uitscheidingsproducten de afbraaksnelheid sterk opdrijven. De verklaring hiervoor is niet direct duidelijk.

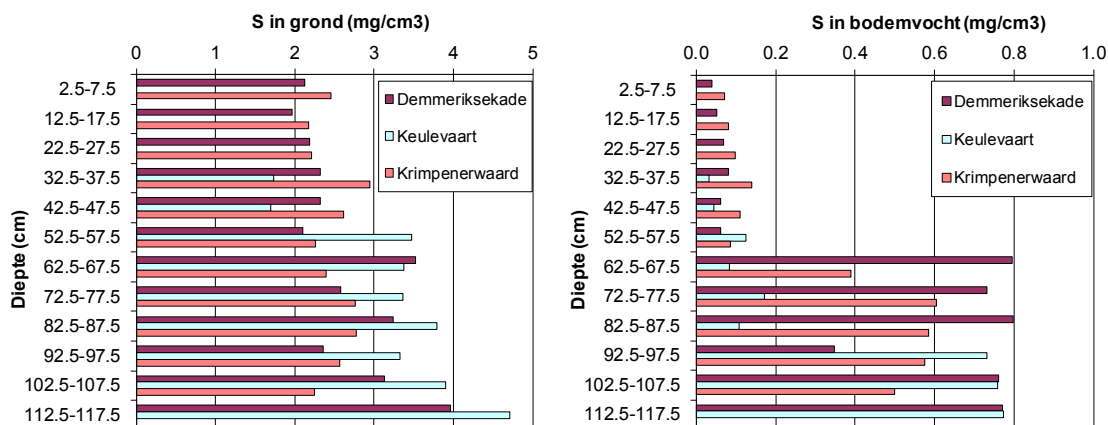
De potentiële afbraaksnelheid vertoont een typisch verloop met de diepte: bovenin is ze het grootst met in de eerste 7,5 cm een waarde die 2-4 keer zo groot als dieper in het profiel, direct daaronder is ze twee keer zo klein, vanaf 32,5 cm diep loopt ze weer geleidelijk op tot een tweede maximum tussen 32,5 en 57,5 cm diep, om daaronder weer geleidelijk af te lopen. Dit beeld komt ruwweg overeen met het beeld dat Hendriks (1991) schetst als typerend voor veenweidegronden: bovenin is de afbraaksnelheid het grootst door de bijmenging van verse organische stof met een grote afbraaksnelheid en daaronder heeft ze een tweede maximum rond of net onder de GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand), die zich meestal tussen 55-70 cm diepte bevindt. Het veen rond de GLG is het jongste veen dat nog niet aan oxidatie, afbraak onder invloed van zuurstof, heeft blootgestaan. Het veen daarboven heeft dat wel; hoe hoger in het profiel des te meer het is geoxideerd en des te resistenter het is geworden door de oxidatie van de gemakkelijk afbreekbare delen. Het veen onder de GLG neemt met de diepte toe in leeftijd, wat impliceert dat hoe dieper, hoe ouder en des te langer het veen heeft blootgestaan aan zeer langzame maar persistente afbraak onder anaerobe (zuurstofloze) omstandigheden. De resistentie neemt daardoor toe en de potentiële afbraaksnelheid af met de diepte.

Het verbruik aan zuurstof (O₂) blijkt groter dan de productie van CO₂ (rechterfiguur in Figuur 3.15). Blijkbaar wordt er niet alleen veen afgebroken en CO₂ geproduceerd, maar ook zuurstof op een andere manier verbruikt. De vorming van sulfaat door oxidatie van pyriet (en in veel geringere mate door zwavelmineralisatie van het veen) is één van die processen en kwantitatief vaak het belangrijkste proces. Er blijkt dan ook een sterke relatie te bestaan tussen de hoeveelheid zwavel in het bodemvocht (bijna volledig als sulfaat) en de hoeveelheid extra zuurstofverbruik (rechterfiguur in Figuur 3.16).



Figuur 3.16 In de figuur links: de productie van CO₂ in mg per kg organische stof per dag bij 20 °C op verschillende diepten. In de figuur rechts: de relatie tussen het extra verbruik aan zuurstof (O₂) bij 20 °C en de hoeveelheid zwavel (S) in de grond uitgedrukt in mg per kg organische stof (OS).

'Extra zuurstofverbruik' is hierbij de totale hoeveelheid verbruikte zuurstof minus de hoeveelheid zuurstof die nodig is voor de vorming van de geproduceerde hoeveelheid CO₂. De hoeveelheid zwavel in het bodemvocht is in de grafiek uitgedrukt in mg per kg organische stof om een goede vergelijking met de CO₂-productie mogelijk te maken die immers ook is uitgedrukt per kg organische stof. Dit betekent echter niet dat het om organischgebonden zwavel gaat! Het overgrote deel van de zwavel is in het water vastgelegd als sulfaat (SO₄) en in de vaste stof in de anorganische verbinding pyriet (FeS₂). In Tabel 2.11 is het verloop van het zwavelgehalte met de diepte gegeven. In Figuur 3.17 is de verdeling van de hoeveelheid zwavel (S) in het bodemvocht en in de grond gegeven in mg S cm⁻³.



Figuur 3.17 In de figuur links: de hoeveelheid zwavel (S) in de grond in mg per cm³ grond op verschillende diepten. In de figuur rechts: de hoeveelheid zwavel in het bodemvocht in mg per cm³ grond op verschillende diepten.

De combinatie van grote gehalten aan mineraal zwavel in de vorm van pyriet en de vorming van veel sulfaat in monsters van Nederlandse veenbodems onder zuurstofrijke omstandigheden in het lab zijn ook gevonden door o.a. Hendriks (1997) en Vermeulen en Hendriks (1996).

De in de ANIMO-modellering gebruikte potentiële afbraaksnelheden als eerste-orde-afbraaksnelheidsconstanten en temperatuurcoëfficiënten (Q₁₀), zoals afgeleid uit de resultaten van de CO₂-productiesnelheden bij 20 °C en bij 10 °C, zijn gegeven in Tabel 2.11.

3.3.2 Conclusies afbraakmetingen

Er zijn gemiddeld over het veenbodemprofiel geen duidelijke grote verschillen tussen de potentiële afbraaksnelheden van het veen van de drie pilots. Grote verschillen in maaiveldddaling door verschillen in de kwaliteit van de organische stof van veen zijn dan ook niet te verwachten.

Er wordt veel extra zuurstof verbruikt naast de zuurstof die wordt gebruikt voor de afbraak van de organische stof van veen. Die extra hoeveelheid verbruikte zuurstof blijkt een sterke relatie te hebben met de hoeveelheid zwavel in het bodemvocht. Deze relatie en het hoge extra O₂-verbruik zijn een sterke aanwijzing voor de vorming van sulfaat door pyrietoxidatie in de veengrond.

4 Demmeriksekade: analyse en evaluatie meetresultaten met modelonderzoek

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het veldonderzoek van Demmeriksekade beschreven zoals dat met modellen is geïnterpreteerd en geanalyseerd. Voor water gaat het expliciet om het model SWAP. Alle resultaten die worden besproken zijn analyses van de veldresultaten met SWAP, of met inbreng van SWAP. Voor nutriënten worden eerst de veldresultaten zonder model geanalyseerd. Daarna is met nutriëntenmodel ANIMO gerekend voor extreem droge en natte jaren. Dit hoofdstuk is op een vergelijkbare manier opgebouwd als hoofdstuk 5 van dit rapport en hoofdstuk 6 van rapport 'Pilot onderwaterdrains Krimpenerwaard' (Van den Akker *et al.*, 2013), waarin de twee andere pilots van dit onderzoek, respectievelijk De Keulevaart en de Krimpenerwaard, worden beschreven.

4.1 Water

In deze paragraaf wordt eerst de situatie van de meetperiode besproken. Daarin wordt het veldonderzoek met SWAP geëvalueerd en geanalyseerd. Vervolgens worden berekeningen gepresenteerd van scenario's van extreme weersituaties als hevige neerslagbuien en zeer droge en natte jaren.

4.1.1 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, gegeven de belangrijkste drijver neerslagoverschot, onrealistische balanstermen kan aantonen. Dit heeft tot correctie van meetresultaten geleid.

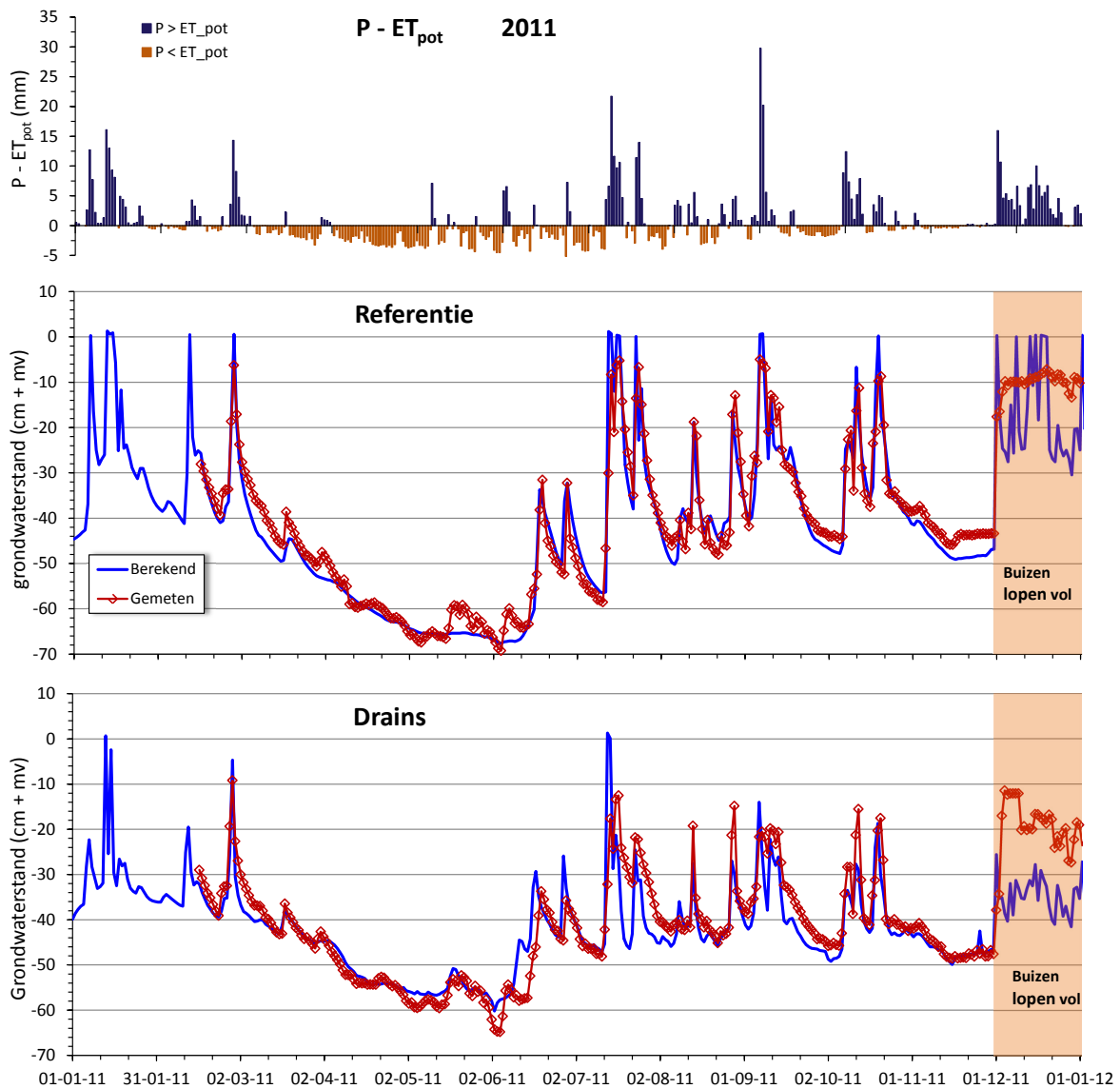
4.1.1.1 Kalibratie SWAP

In figuren 4.1 en 4.2 is de kalibratie van de veldgemiddelde **grondwaterstanden** getoond voor de twee 'behandelingen' Referentie en Drains. 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 2.4.1.3), zijn samengevat in Tabel 4.1. Deze zijn allemaal lager dan 9 cm; dit geeft een goed resultaat aan. Een vuistregel is dat voor perceelonderzoek een waarde kleiner dan 10 cm acceptabel is. Volgens waarnemingen van de veldwerkers heeft de vorstperiode de metingen nadelig beïnvloed zodat onrealistische grondwaterstanden werden gemeten. Dit geldt vooral voor proefveld Drains. De vorstperiode is om die reden niet meegenomen in de berekening van de RMSE's. 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 ter voorkoming van vertrapping door vee zijn ingegraven onder een tegel, lopen bij plasvorming van bovenaf vol. Deze periode is daarom uit de RMSE-berekeningen gelaten.

Tabel 4.1

RMSE (Root Mean Squared Error, in cm) als maat voor de afwijking tussen gemeten en gesimuleerde veldgemiddelde grondwaterstanden voor Demmeriksekade.

Jaar	Referentie	Drains
2011	8,4	8,5
2012	8,2	5,2
Gemiddeld	8,3	7,0



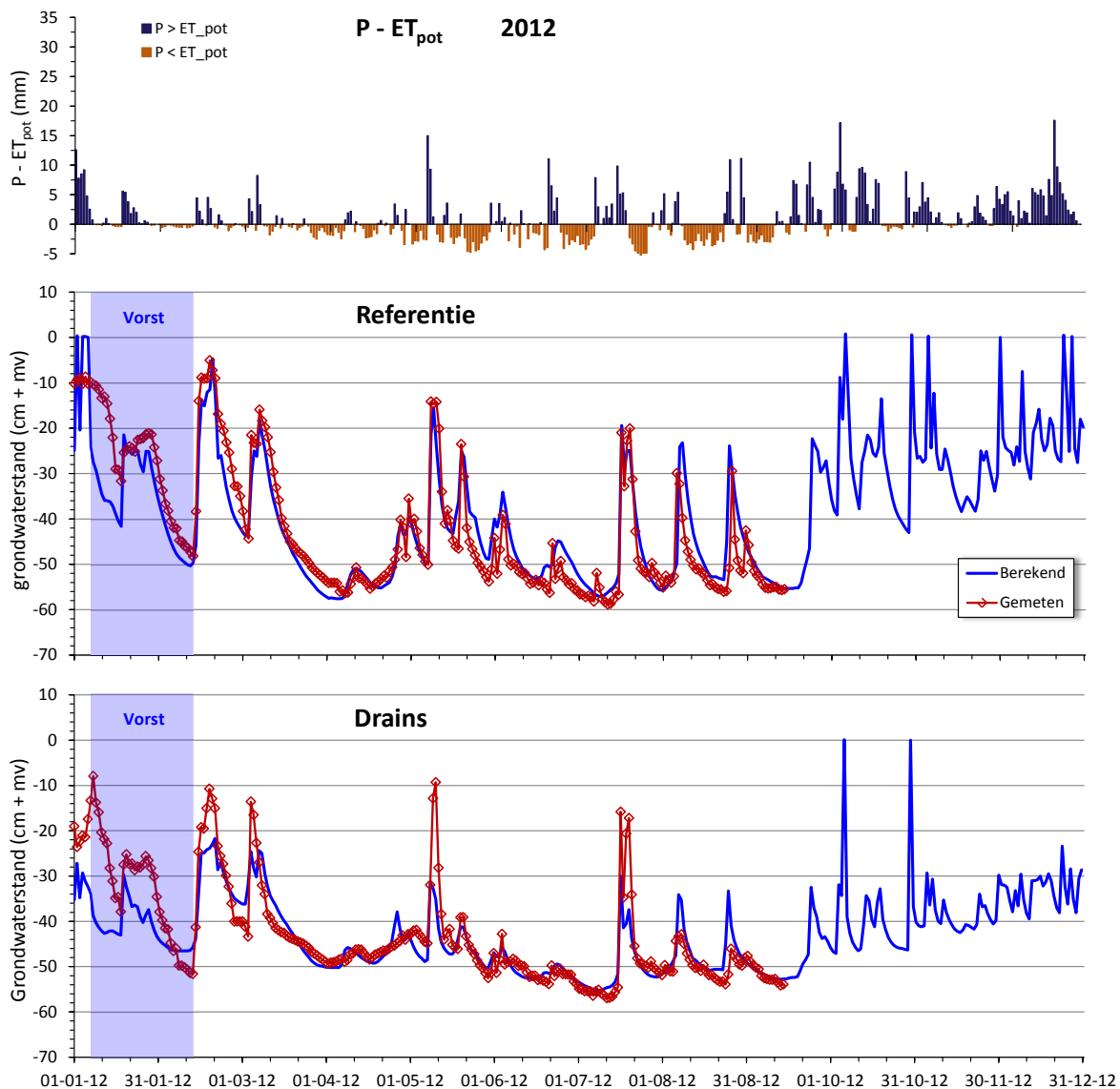
Figuur 4.1 Resultaten van de kalibratie van SWAP als vergelijking van berekende met gemeten, veld-gemiddelde grondwaterstanden voor het jaar 2011, voor Referentie en Drains van Demmeriksekade. De ingekleurde vlakken geven perioden aan waarin de metingen van de grondwaterstanden onbetrouwbare resultaten 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 gegeven in Tabel 4.2. In de proefvelden van Demmeriksekade waren greppels aanwezig die zijn meegenomen in de modellering. Met de combinatie van sloten en greppels voor Referentie was het redelijk goed mogelijk de zeer natte periode te simuleren. Opnemen van *interflow* (snelle ondiepe laterale uitstroming door de top van het profiel), zoals gedaan bij De Keulevaart, gaf een verslechtering van de simulatie van de meetgegevens. *Interflow* is daarom niet meegenomen in de model berekeningen van Demmeriksekade.

Tabel 4.2

Gekalibreerde weerstanden van SWAP voor de vier gebruikte drainagemiddelen en voor de weerstand voor verticale stroming bij kwel/wegzijing van de proefvelden van Demmeriksekade. Alle waarden in dagen. De drempelwaarde voor runoff (oppervlakte-afstroming) tussen haakjes in mm.

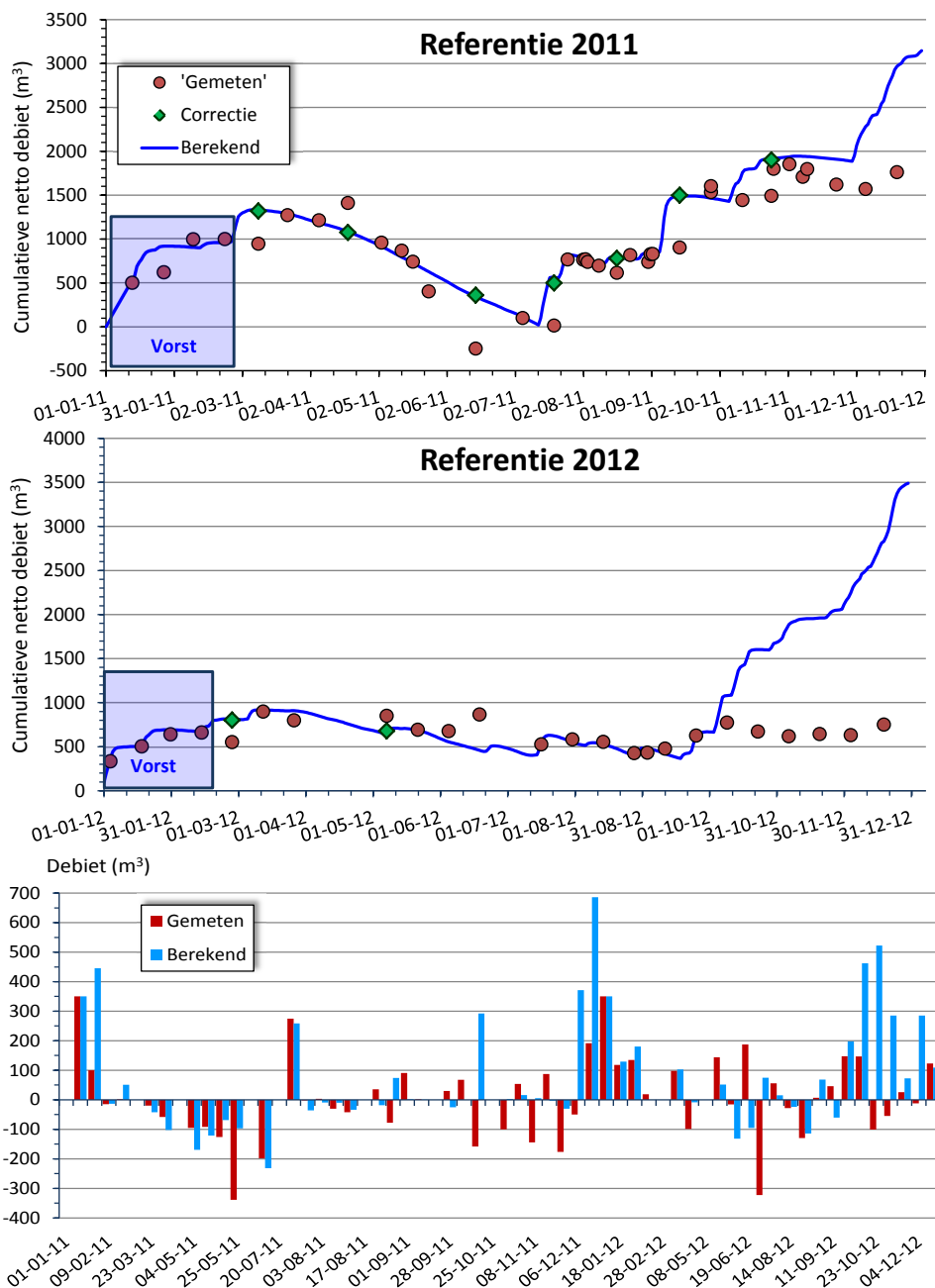
Proces	Sloot	Drains	Greppel	Runoff	Verticale stroming
Drainage	235	51	40	1 (drempel: 5 mm)	-
Infiltratie	250	60	-	-	-
Kwel/wegzijing	-	-	-	-	280



Figuur 4.2 Resultaten van de kalibratie van SWAP als vergelijking van berekende met gemeten, veld-gemiddelde grondwaterstanden voor het jaar 2012, voor Referentie en Drains van Demmeriksekade. 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).

De drainageweerstand van 51 dagen en infiltratieweerstand van 60 dagen voor de drains liggen in dezelfde orde van grootte als die van de Krimpenerwaard; ze zijn een paar dagen groter. Daarmee zijn ze precies twee keer zo groot als de weerstanden op theoretische gronden gekozen in de Onderwaterdrains-waterkwaliteitsstudie (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. De weerstand voor verticale stroming over de onderrand (kwel/wegzijing) komt wat betreft orde van grootte overeen met klassen van diverse bronnen genoemd in Hendriks en Van den Akker (2012), Bijlage E.

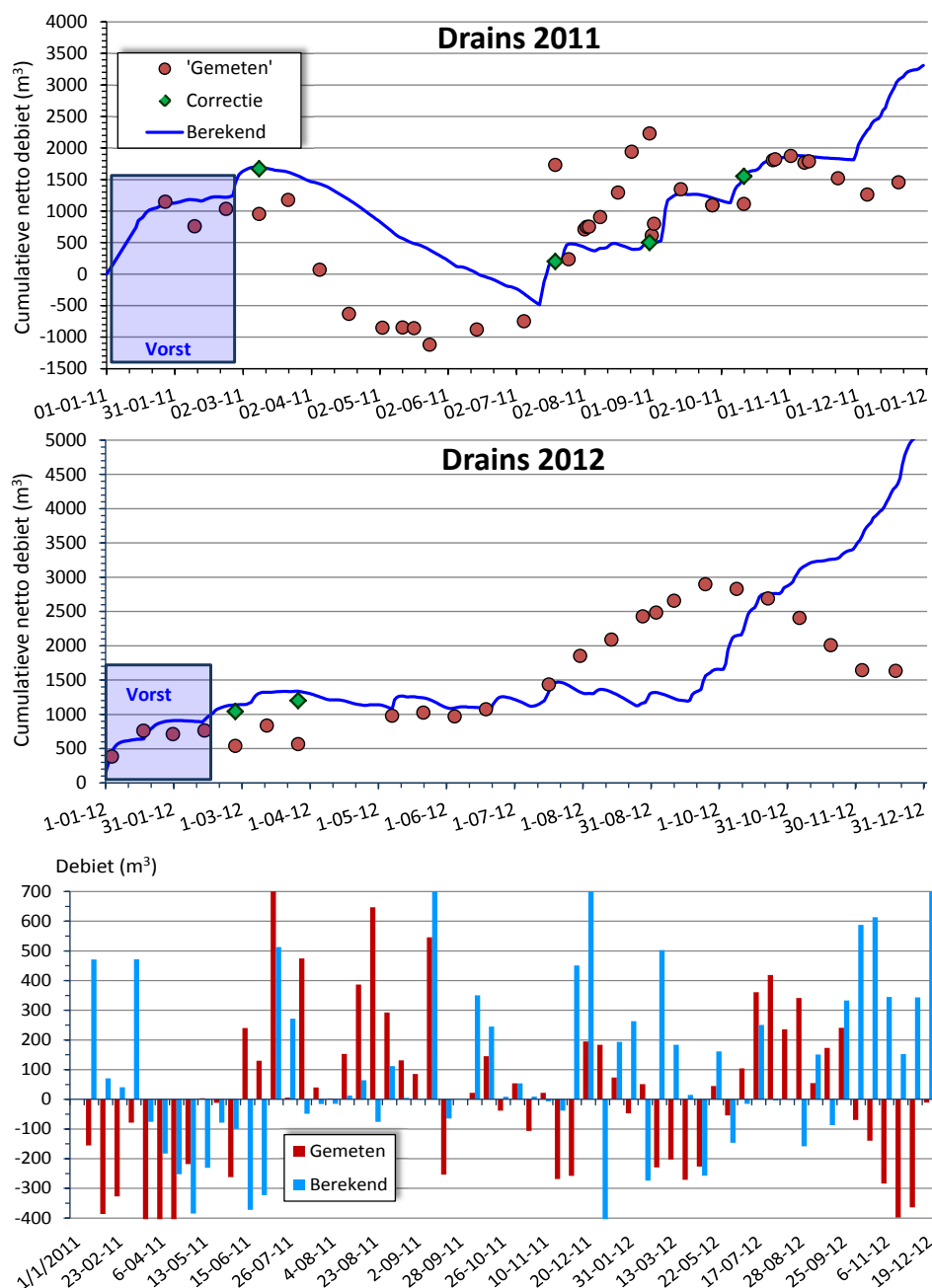
In figuren 4.3 en 4.4 zijn de resultaten van de SWAP-kalibratie tegen de op basis van **debietmetingen** samengestelde netto bodemuitwisselingsdebieten voor Demmeriksekade gegeven. Tabel 4.3 geeft informatie over de RMSE's als maat voor afwijking tussen berekende en uit metingen afgeleide waarden. De andere statistische waarden zijn hierbij berekend voor de berekende waarden.



Figuur 4.3 Kalibratie van SWAP tegen uit metingen afgeleide netto drainage/infiltratie-debieten voor Referentie van Demmeriksekade. 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).

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 de betreffende periode en mag niet doorwerken in de reeks daarna.

De RMSE als maat voor de afwijking tussen 'gemeten' en 'berekend' is bij Drains bijna twee keer zo groot als bij Referentie. Dit geeft aan dat de simulaties van het meer dynamische systeem van Drains minder dicht bij de van metingen afgeleide waarden liggen. Maar bij beide proefvelden zijn de RMSE's hoog, ook zeker ten opzichte van de andere statistische waarden. Deze zijn afgeleid voor de berekeningen en niet voor de 'metingen' zoals bij De Keulevaart.



Figuur 4.4 Kalibratie van SWAP tegen uit metingen afgeleide netto drainage/infiltratie-debieten voor Drains van Demmeriksekade. 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 4.3

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

Proefveld	Totale debiet (m ³)	Gemiddelde debiet (m ³)	Standaard- afwijking (m ³)	RMSE (m ³)	RMSE ten opzichte van:		
					Totale debiet (%)	Gemiddelde (-)	Standaardafw. (-)
Referentie	5820	113	152	177	3,0	1,6	1,2
Drains	7490	188	210	320	4,3	1,7	1,5

Dit is gedaan omdat blijkt dat de van metingen afgeleide waarden geen goed beeld kunnen geven van de drainage uit en infiltratie in de veenbodem. Dit is ook goed te zien in figuren 4.3 en 4.4. Het beeld van de berekeningen lijkt op het beeld van berekeningen en metingen van De Keulevaart (Figuren 5.3 en 5.4) en de Krimpenerwaard. Deze weerspiegelen de toestand van het weer van de betreffende jaren in deze gebieden. De 'metingen' van Demmeriksekade wijken hier voor grote delen van de jaren substantieel van af, bij zowel Referentie als Drains. Terwijl het weer in dezelfde meetjaren bij Demmeriksekade niet zo essentieel afwijkt van het weer bij beide andere pilots. Vooral aan het einde van beide jaren zijn de afwijkingen groot en eenduidig. In deze regenrijke perioden laten 'metingen' netto nauwelijks drainage zien en bij Drains zelfs infiltratie. Dat is zeer onrealistisch.

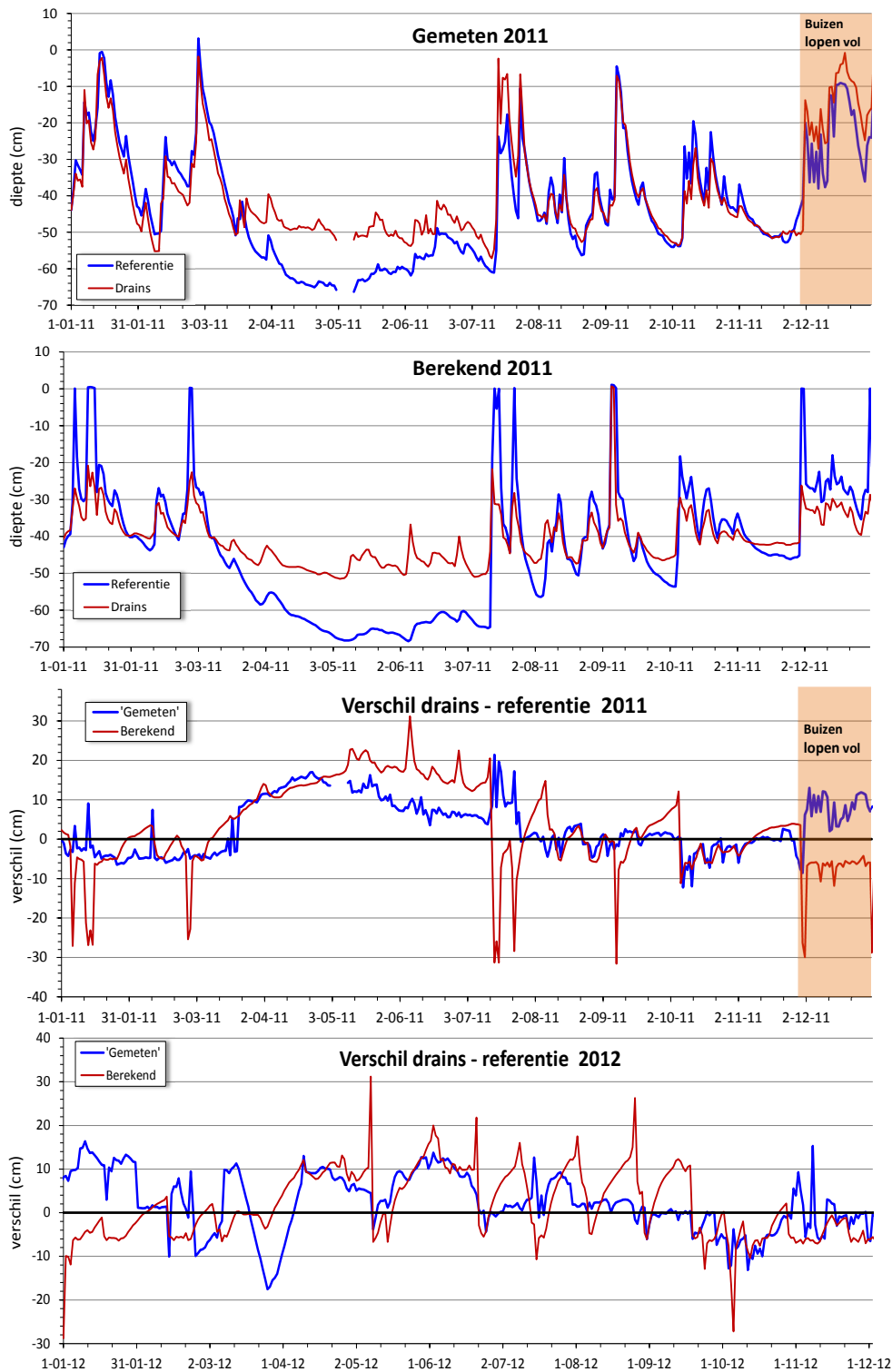
Nadere analyse van de metingen en op grond van de aanwijzingen in het logboek van de veldwerkers wees uit dat er substantiële lekkage langs en door (kieren tussen planken van) de damwanden heeft plaatsgevonden. Redenen zijn de grote breedte van de sloten, de bodem als grondslag voor de verankering van de damwanden (slap en veel puin) en misschien het meest belangrijk, grote drukverschillen tussen beide slootdelen door het aanleggen van verschillende peilen binnen en buiten de meetsloten. In de meetsloten werd getracht het peil op -2,60 m + NAP te houden terwijl in de polder winterpeil werd aangehouden met in natte tijden peilen ruim 10 cm beneden het peil in de meetsloot. In het algemeen geeft het (handmatig) gemeten peilverschil tussen meetsloot en poldersloot de juiste richting aan van uit de balans afgeleide lekken langs en door de damwanden: uit of in de meetsloot. Omdat het handmetingen zijn die niet de volledige situatie per meetperiode geven, is dit beeld niet geheel eenduidig.

Omdat kalibratie op grondwaterstanden goede resultaten heeft opgeleverd en in sommige perioden de debietmetingen wel redelijk goed samenvallen met de simulaties, en omdat de patronen van de berekeningen sterk overeenkomen met die van gemeten en berekende patronen van De Keulevaart en de Krimpenerwaard zijn de berekeningen voor de rest van de analyses als betrouwbare basis aangenomen.

4.1.1.2 Bepalen toestand in de meetperiode

Figuur 4.5 toont het verschil in **grondwaterstand** tussen de situatie met en zonder drains van Demmeriksekade 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 proefvelden. De modelberekeningen waren noodzakelijk voor dit proces, ook voor de vergelijking tussen de metingen. Referentie en Drains zijn twee perceelsdelen die verschillen in verloop van het maaiveld en exacte hoogte ten opzichte van 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 velden goed mogelijk als het gaat om verschillen in grondwaterstand die kleiner of in dezelfde orde van grootte zijn als de verschillen in maaiveldhoogte (10 cm). En dat geldt bij deze twee meetjaren met natte zomers. Ook het verschil in het verloop van het slootpeil in de aparte meetsloten maakt directe vergelijking van de twee proefvelden moeilijk. Aan beide methoden kleven nadelen. Samen geven ze een genuanceerder beeld, maar gemiddeld gezien schat het model de effecten van drains iets gunstiger in.

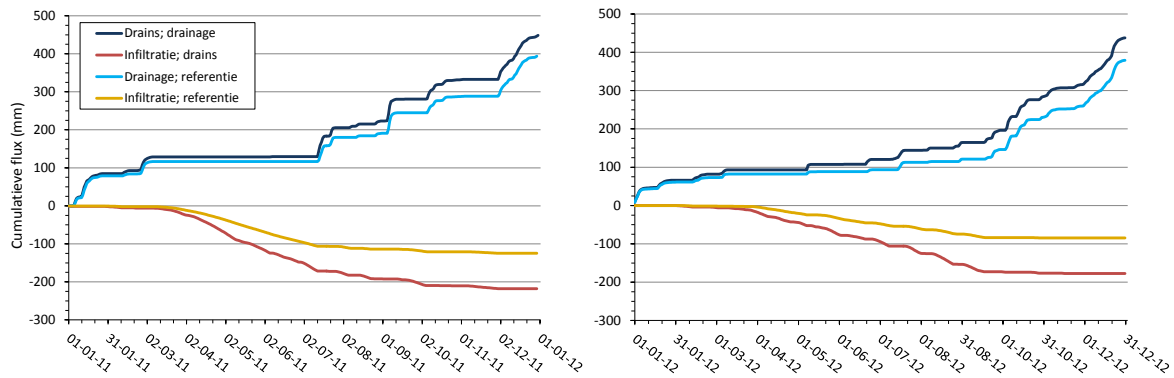
Meest interessant zijn de positieve verschillen wanneer de grondwaterstand bij Drains in de droge periode hoger is dan die bij Referentie. Het grootste verschil in deze zin is volgens de metingen in de droge periode 16,1 cm op 22 april 2011, wat ook het droge voorjaar van 2011 benadrukt. Het model komt wat later, op 11 mei, met een wat hogere waarde van 20,8 cm. De absoluut hoogste waarde geeft het model in 2011 op 7 juni als 28,6 cm verhoging door drains als reactie op een regenbui. Door de nattere omstandigheden in de bodem van Drains reageert het model hierop met een piekje in het grondwaterstand verloop. Bij Referentie niet omdat de bodem daar te droog voor is. In de metingen is zo'n moment te zien op 15 juli met een verhoging van 21,4 cm in de vorm van een hogere piek in de grondwaterstand, tot bijna aan maaiveld, dan de piek van de Referentie. Het is de vraag of dit een goede meting is, want er is geen piek in het slootpeil gemeten rond die tijd. Het is daarom niet duidelijk wat deze grondwaterstandpiek ten opzichte van Referentie veroorzaakt moet hebben. Het zou door vollopen van de (ingegraven) grondwaterstandbuis aan maaiveld geweest kunnen zijn. Op grond van de sterkere drainerende werking van de drains dan die van de sloot is een sterkere aftopping bij Drains eerder te verwachten. Het model laat dit (theoretische) gedrag wel zien.



Figuur 4.5 Verschil in grondwaterstand tussen Referentie en Drains van Demmeriksekade zoals afgeleid uit de metingen op de twee aparte proefvelden en zoals berekend voor gemiddelde omstandigheden met SWAP.

Volgens het model worden in natte perioden de pieken in de grondwaterstand bij hevige neerslag met drains beter 'verwerkt' door de verbeterde drainage. Het model voorspelt een maximum verlaging van ruim 30 cm op verschillende momenten in beide meetjaren. De metingen laten deze verbeterde drainage van pieken bij Drains veel minder zien. Bij De Keulevaart en ook bij de Krimpenerwaard zijn model en metingen het meer met elkaar eens over de drainerende werking van de drains.

Figuur 4.6 laat de berekende cumulatieve **drainage- en infiltratiefluxen** zien en de verschillen hierin tussen Referentie en Drains voor de simulaties met gelijke maaiveldhoogte en slootpeilen.



Figuur 4.6 Berekende cumulatieve drainage en infiltratie (negatief) voor Referentie en Drains van Demmeriksekade bij gelijke maaiveldhoogte en slootpeilen voor beide proefvelden. Links 2011, rechts 2012.

In Tabel 4.4 zijn de jaartotalen samengevat. De verschillen zijn substantieel voor infiltratie, in beide jaren 93 mm. Relatief gezien is de toename met 110% in 2012 het grootst. Ook de toename van de drainage is in absolute zin nagenoeg gelijk in beide jaren. Maar ook in relatieve zin omdat de drainage bij Referentie voor beide jaren weinig verschilt. Het grote effect op de infiltratie is deels het gevolg van de relatief grote wegzijging bij Demmeriksekade. Deze neemt toe door de grotere infiltratie bij onderwaterdrains. In 2011, met het droge voorjaar, kan de toegenomen wegzijging een derde van de toename in infiltratie verklaren. In het natte jaar 2012 is dat slechts 5%. De rest van de infiltratie-toename gaat naar de berging in de bodem (grondwaterstandstijging), maar ook - vooral in 2012 - naar de toename van de drainage.

Tabel 4.4

Berekende totale drainage, infiltratie en wegzijging in 2011 en 2012 vergeleken tussen Referentie en Drains van Demmeriksekade bij gelijke maaiveldhoogte en slootpeilen voor beide proefvelden, in mm per landoppervlakte.

Proefperceel	Drainage (mm)		Infiltratie (mm)		Netto wegzijging (mm)							
	2011	2012	2011	2012	2011	2012						
Referentie	395	379	125	84	65	120						
Drains	448	438	218	177	95	126						
Vershil	53	13%	59	16%	93	74%	93	110%	30	46%	5	4%

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 4.7 zijn de berekende verhogingen van de pieken in de drainage en de infiltratie getoond voor de berekeningen waarbij maaiveldhoogte en slootpeil gelijk zijn genomen voor Referentie en Drain. Hierbij moet met nadruk worden aangegeven dat deze niet een-op-een kunnen worden vertaald naar pieken in de afvoer uit het gebied door uitmalen of -pompen. Tussen deze twee grootheden zit het oppervlaktewaterstelsel, met extra aanvoer van water door neerslag direct op het wateroppervlak, en het peilbeheer. Hierop wordt dieper ingegaan in subparagraaf 4.1.2.

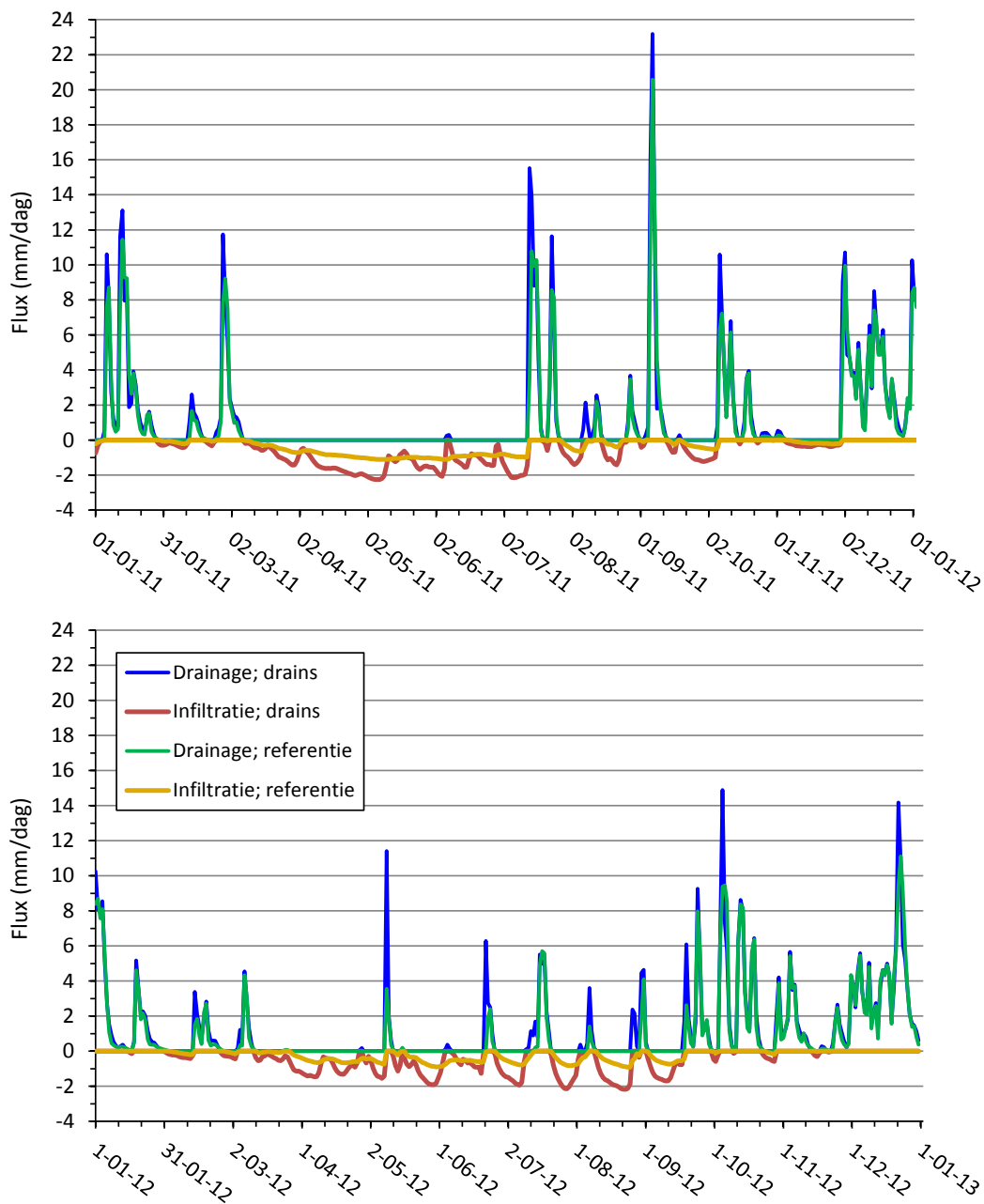
In Tabel 4.5 zijn de hoogste berekende pieken en de verschillen hierin tussen Referentie en Drains samengevat. De toenames in drainagepieken op dagbasis zijn in absolute termen meestal niet heel erg groot. Uitzondering vormt de piek op 14 juli 2011: hierbij neemt de piek toe met 12 mm of 340%. Dit is echter het gevolg van een piek die bij Drains een dag eerder komt dan bij Referentie: op 15 juli is de situatie omgekeerd en is de piek bij Referentie 345% van de piek bij Drains. In 2012 is het grootste verschil in drainagepiek op 9 mei met 7,9 mm en 220%. Het procentuele verschil in piekhoogte van de drainagefluxen voor alle pieken groter dan 10 mm per dag bedraagt gemiddeld 47% en als mediaan 29%. In relatieve termen zijn de drainagepieken ook veel minder groot dan de toenames in infiltratie die tussen 90% en 190% liggen bij alle 'pieken' groter dan 2 mm per dag bij Drains.

Tabel 4.5

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

Proefveld	Hoogste piek in drainage (mm d ⁻¹)		Hoogste piek in infiltratie (mm d ⁻¹)	
	2011	2012	2011	2012
Referentie	20,6	9,4	1,1	0,9
Drains	23,2	14,9	2,3	2,2
Vershil	2,6 12%	5,5 59%	1,2 109%	1,3 144%

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.



Figuur 4.7 Berekende drainagefluxen en infiltratiefluxen (negatief) op dagbasis voor Referentie en Drains van Demmeriksekade bij gelijke maaiveldhoogte en slootpeilen voor beide proefvelden. Boven 2011, onder 2012.

4.1.2 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 een nat jaar, en bij de droge omstandigheden om lange droge zomers (zie subparagraaf 2.4.1.3 *b Scenario's van extreme weerjaren*).

Voor beide soorten berekeningen zijn dezelfde eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem en het waterbeheer van het gebied aangehouden zoals die zijn verkregen van Waternet en van de proefsloten. Van het areaal is 13,3% oppervlaktewater, dat tot stand komt door slootbreedten aan maaiveld van 8 m en perceelbreedten van 52 m. De slootdiepte bedraagt 0,8 m en de helling van het talud 1 : 3,13. Voor het waterbeheer is aangehouden: een streefpeil van -45 cm ten opzichte van maaiveld jaarrond. De drempel voor starten van wateruitslag bedraagt 1 cm boven streefpeil en voor stoppen 4 cm onder streefpeil. De drempel voor starten van waterinlaat is 4 cm onder streefpeil; voor stoppen wordt streefpeil aangehouden. De capaciteit van het gemaal bedraagt 13,8 mm per dag, en voor waterinlaat 4 mm per dag.

4.1.2.1 Extreme neerslagbuien

Er zijn twee extreme buien uit de buienreeks 'r2050-14.rks' van HH Schieland en de Krimpenerwaard doorgerekend (zie subparagraaf 2.4.1.3 *b Scenario's van extreme weerjaren*):

1. Een bui van 48,5 mm binnen één uur op 13 juni 1953 in het 22^{ste} uur;
2. Een bui van 25,3 mm binnen één uur 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.

Met de gekalibreerde SWAP is voor beide buien de gehele periode doorgerekend. Hierbij is uitvoer op uurbasis gegenereerd. In figuren 4.8 en 4.10 zijn voor de bui uit 1953 en in figuren 4.9 en 4.11 voor de buienreeks uit 2002 de berekende oppervlaktewaterpeilen, de drainage/infiltratiefluxen en de uitslagdebieten van water gegeven voor Referentie en voor Drains. Ook zijn de verschillen tussen beide situaties gepresenteerd. De fluxen en debieten zijn hierbij uitgedrukt in mm per totaaloppervlakte (land + water) per dag. In Tabel 4.6 zijn de belangrijke termen van de oppervlaktewaterbalans voor deze analyse samengevat: drainage uit de veenbodem en uitslag uit het gebied. Ook is het aantal draaiuren van het gemaal gegeven.

Tabel 4.6

Berekende drainage (Drain.), uitslag door het gemaal en draaiuren van het gemaal bij de twee perioden met piekbuien voor Referentie en Drains van Demmeriksekade. Hoeveelheden water zijn uitgedrukt in mm per totaaloppervlakte (land + water).

Bui		Referentie			Drains			Drains minus Referentie					
Jaar	Periode	Drain. (mm)	Uitslag (mm)	Draaiuren (uur)	Drain. (mm)	Uitslag (mm)	Draaiuren (mm)	Drainage (mm %)		Uitslag (mm %)		Draaiuren (uur %)	
1953	8/6-18/6	31	35	61	35	38	65	4	14	3	7	4	7
2002	10/6-14/8	108	116	248	118	127	271	10	9	11	9	23	9

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 neemt de drainage wel met 14% toe, maar bedraagt de toename van uitslag en draaiuren met 7% maar de helft hiervan. In de periode met buien uit 2002 nemen alle grootheden met 9% toe. De redenen voor het beperkte effect van de drains op de uitslag zijn:

1. Neerslag direct op het oppervlaktewater is bij beide situaties (met en zonder drains) gelijk en substantieel door het grote aandeel oppervlaktewater van 13,3%. 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;

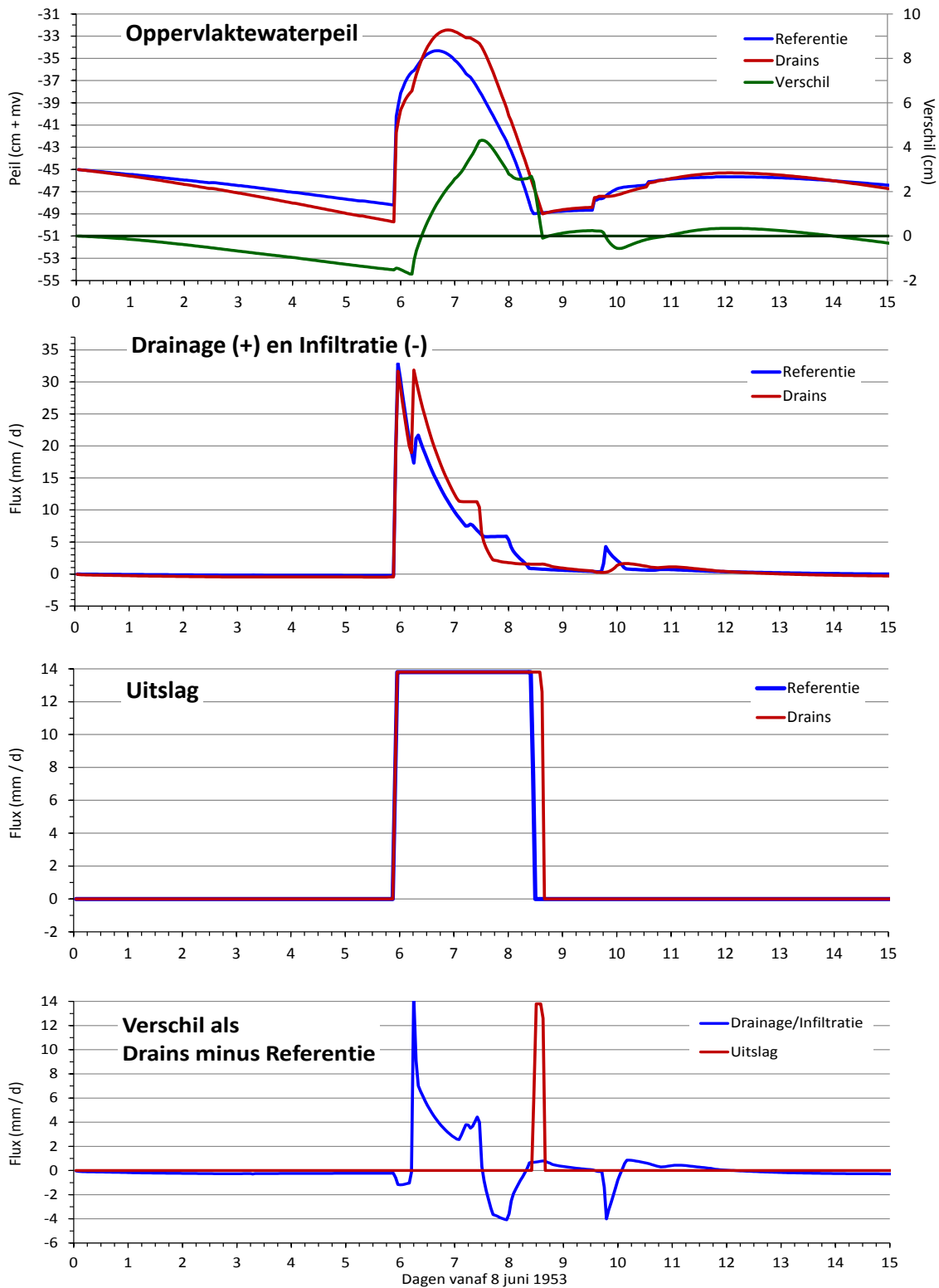
3. De bergingsmogelijkheid in de sloot is vaak groter bij Drains (lager peil) omdat het peil door grotere infiltratie verder uitzakt, waardoor extra berging voor buien wordt gecreëerd. De verhouding land: oppervlaktewater is 6,5. Dat betekent dat elke cm peilverschil in het oppervlaktewater 1,5 mm afvoer 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 lijkt hier toch niet zo'n grote rol te spelen;
4. De grotere stijging van het peil bij Drains dempt de drainage meer: het potentiaalverschil tussen grondwaterstand en peil is dan kleiner, ook door de lagere grondwaterstanden bij Drains;
5. De grotere stijging van het peil bij Drains geeft meer wegzijging of minder kwel direct vanuit of naar de sloot. In dit geval is deze toename vrijwel 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 op het einde na-ijlt op die van Drains.

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 een minimale drooglegging van 34,3 cm in 1953 en van 39,5 cm bij de grootste bui van 2002. Bij onderwaterdrains komt hier maximaal 1,9 cm bovenop tot een minimale drooglegging van 32,4 cm bij de bui van 1953. Dat is een 18% hogere stijging van het waterpeil ten opzichte van streefpeil dan bij Referentie. Bij de buien van 2002 is de minimale drooglegging bij Drains 40 cm, een halve centimeter groter, of een 9% mindere stijging ten opzichte van streefpeil, dan de minimale drooglegging bij Referentie. Het hogere peil bij Drains dan de top van Referentie in 1953 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.

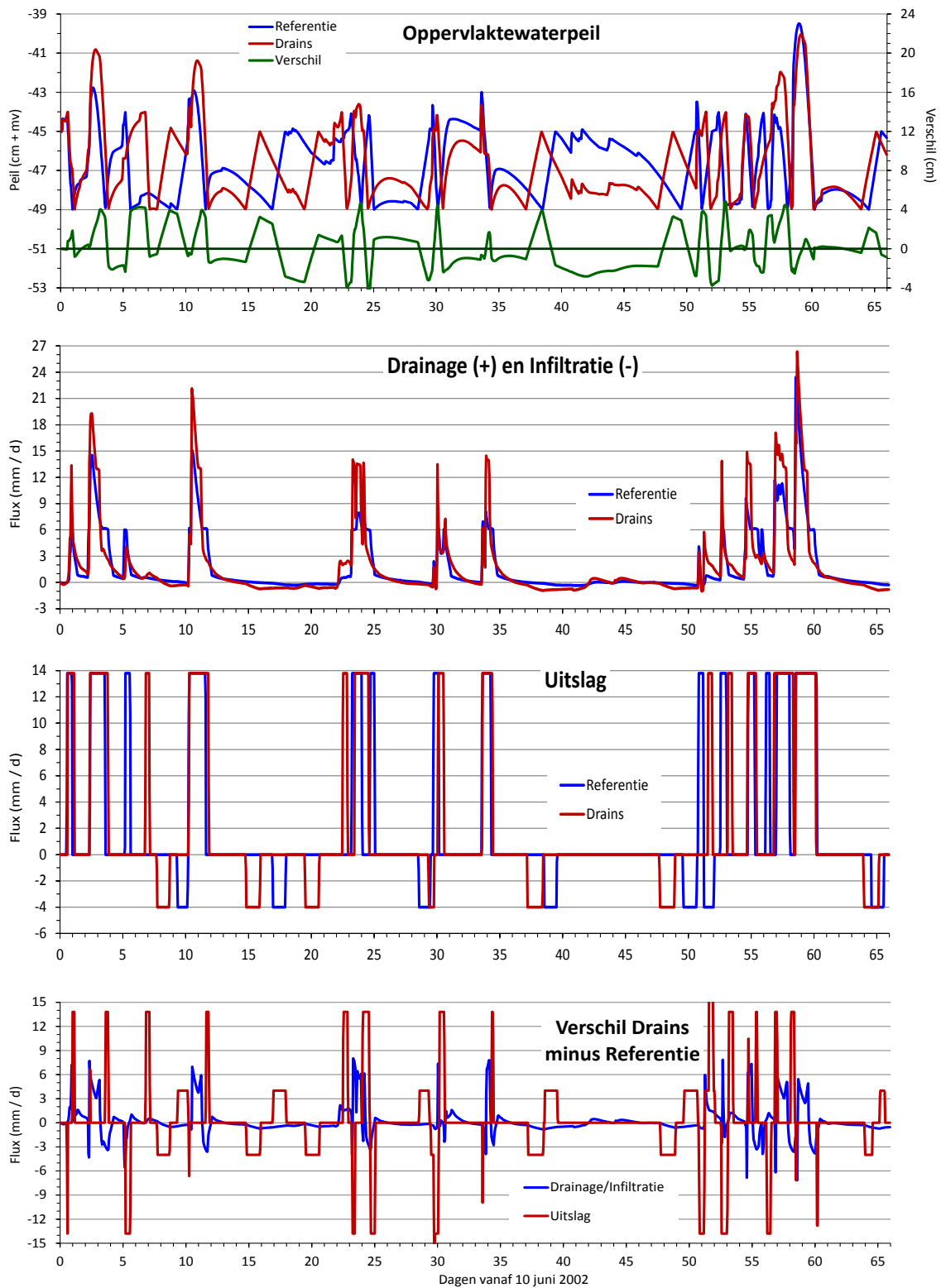
Het antwoord op deze vraag is sterk afhankelijk van de situatie op gebieds(polder)niveau waarin onderlinge verschillen in maaiveldhoogten tussen deelgebieden en percelen, en de dimensie van het afwateringsstelsel bepalend zijn voor de kans dat een deel van het areaal onder water komt te staan. Uiteraard speelt hierin ook sterk mee het aandeel areaal met onderwaterdrains. In de hier beschreven berekeningen is 'totaal geen drains' vergeleken met '100% areaal met drains'. In de werkelijkheid zal dat percentage drains kleiner zijn. Om antwoord op deze vraag te krijgen is het nodig om het gehele peilgebied waarin de pilot ligt (Peilvak 9) met een hydraulisch netwerkmodel door te rekenen waaraan een neerslag-afvoermodule 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. In de modelstudie naar de effecten van onderwaterdrains op maaiveld daling, waterkwantiteit en waterkwaliteit in Peilvak 9 (Hendriks *et al.*, 2013) zijn dergelijke berekeningen gedaan met SWAP.

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.

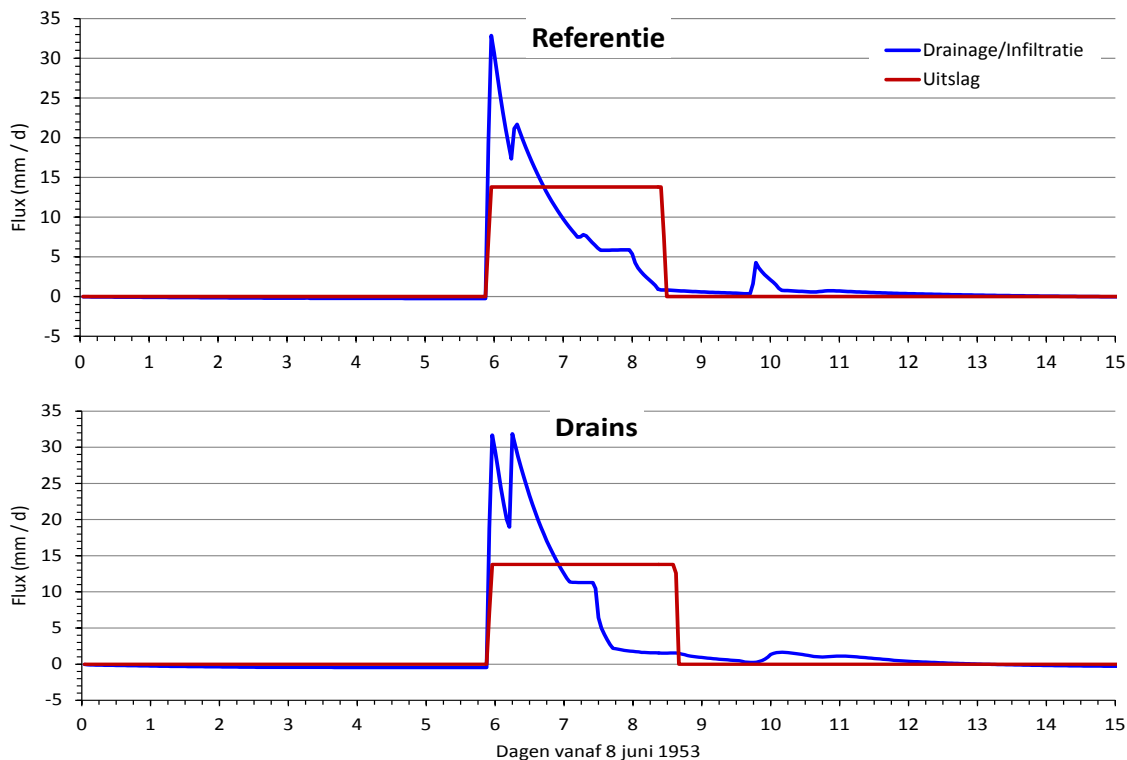
Ook is het zo dat bij Drains deze tijdelijk geringere drooglegging van 2 cm maar een beperkt effect heeft op de ontwateringstoestand van de bodem omdat drains deze ontwatering weer snel bevorderen na de bui. Dit is goed te zien in Figuur 4.14. Bij Referentie blijft het water daardoor langer in de bodem wat bij nieuwe neerslag weer eerder tot snelle afvoer via runoff en greppelafvoer.



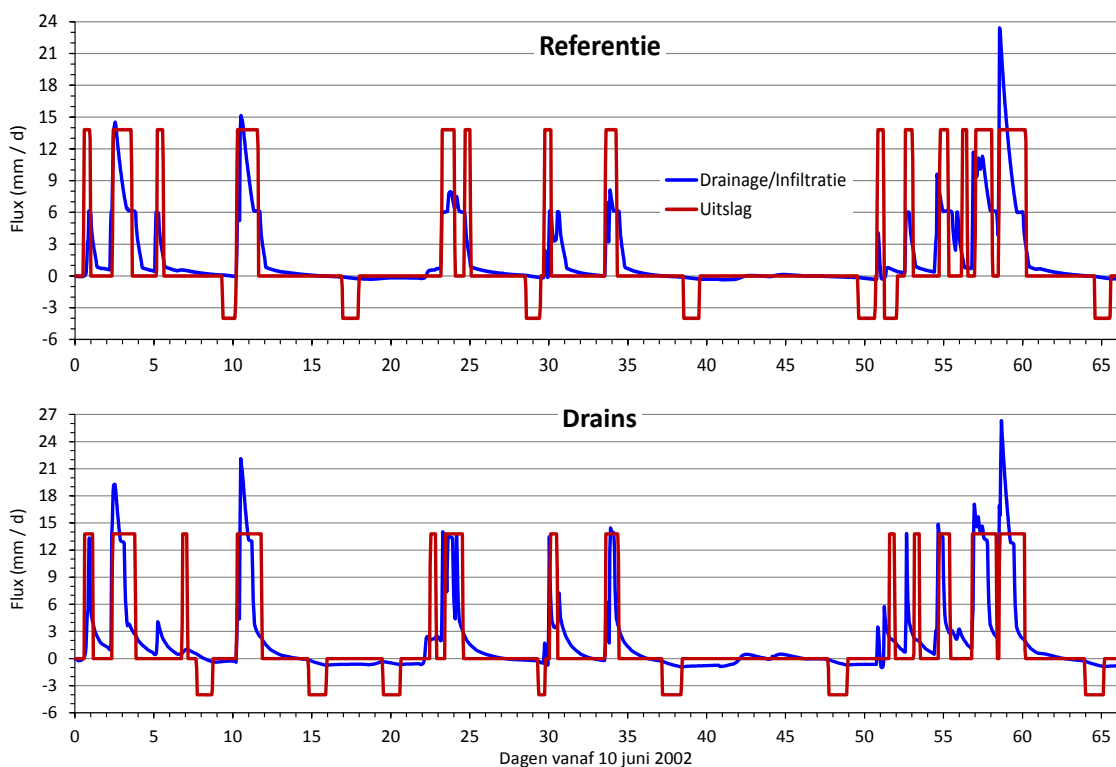
Figuur 4.8 Berekende oppervlaktewaterpeil, drainage/infiltratie en uitslag van water voor Referentie en Drains van Demmeriksekade en de verschillen daartussen, voor bui '13 juni 1953'. Fluxen en debieten zijn uitgedrukt in mm **totaaloppervlakte** (land+water) per dag.



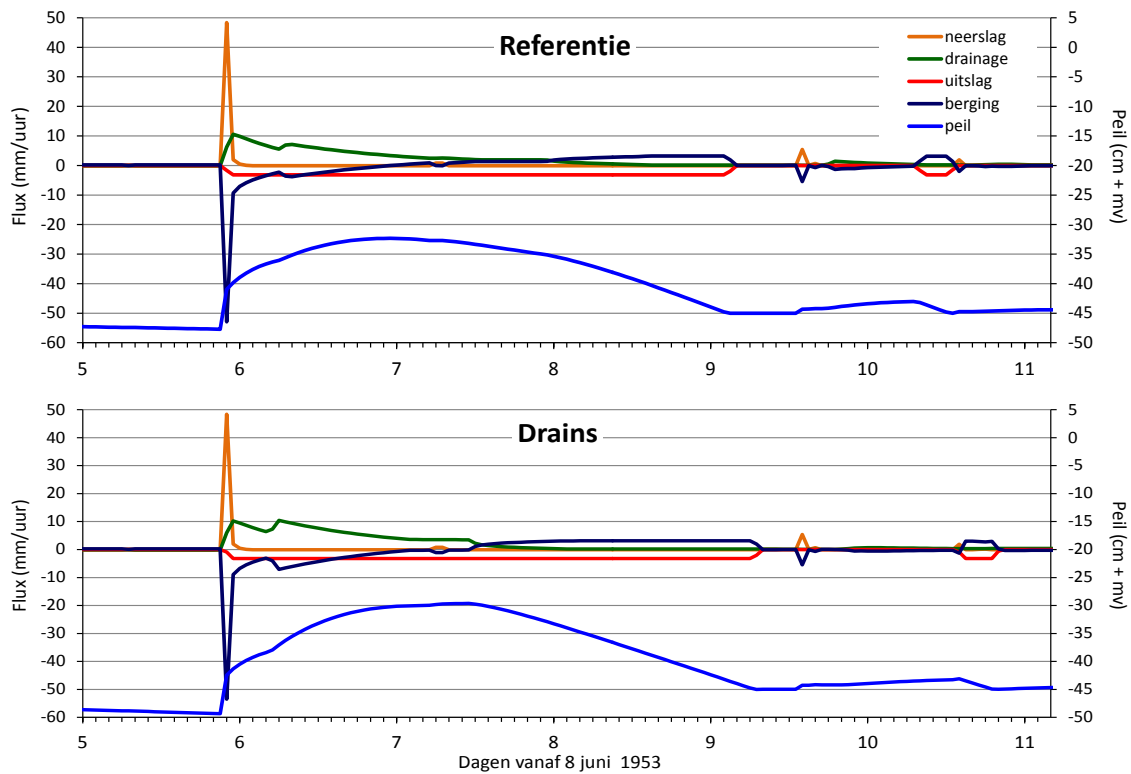
Figuur 4.9 Berekende oppervlaktewaterpeil, drainage/infiltratie en uitslag van water voor Referentie en Drains van Demmeriksekade en de verschillen daartussen, voor de buien van 10 juni t/m 14 augustus 2002. Fluxen en debieten zijn uitgedrukt in mm **totaloppervlakte** (land+water) per dag.



Figuur 4.10 Berekende verloop van drainage/infiltratieflexen en uitslagdebieten onderling vergeleken voor Referentie en Drains van Demmeriksekade, voor bui '13 juni 1953'. Fluxen en debieten zijn uitgedrukt in mm **totaaloppervlakte** (land+water) per dag.



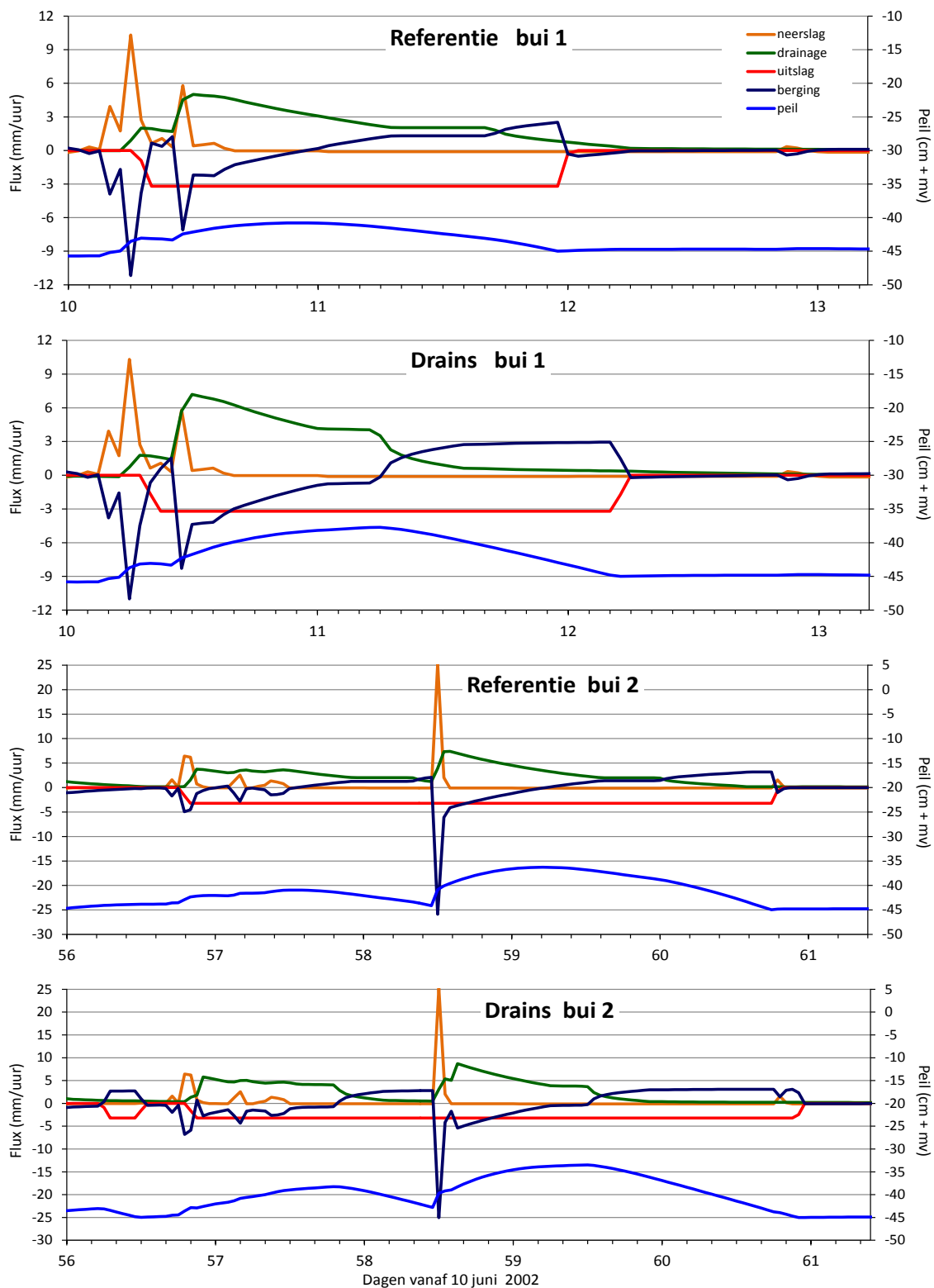
Figuur 4.11 Berekende verloop van drainage/infiltratieflexen en uitslagdebieten onderling vergeleken voor Referentie en Drains van Demmeriksekade, voor de buien van 10 juni t/m 14 augustus 2002. Fluxen en debieten zijn uitgedrukt in mm **totaaloppervlakte** (land+water) per dag.



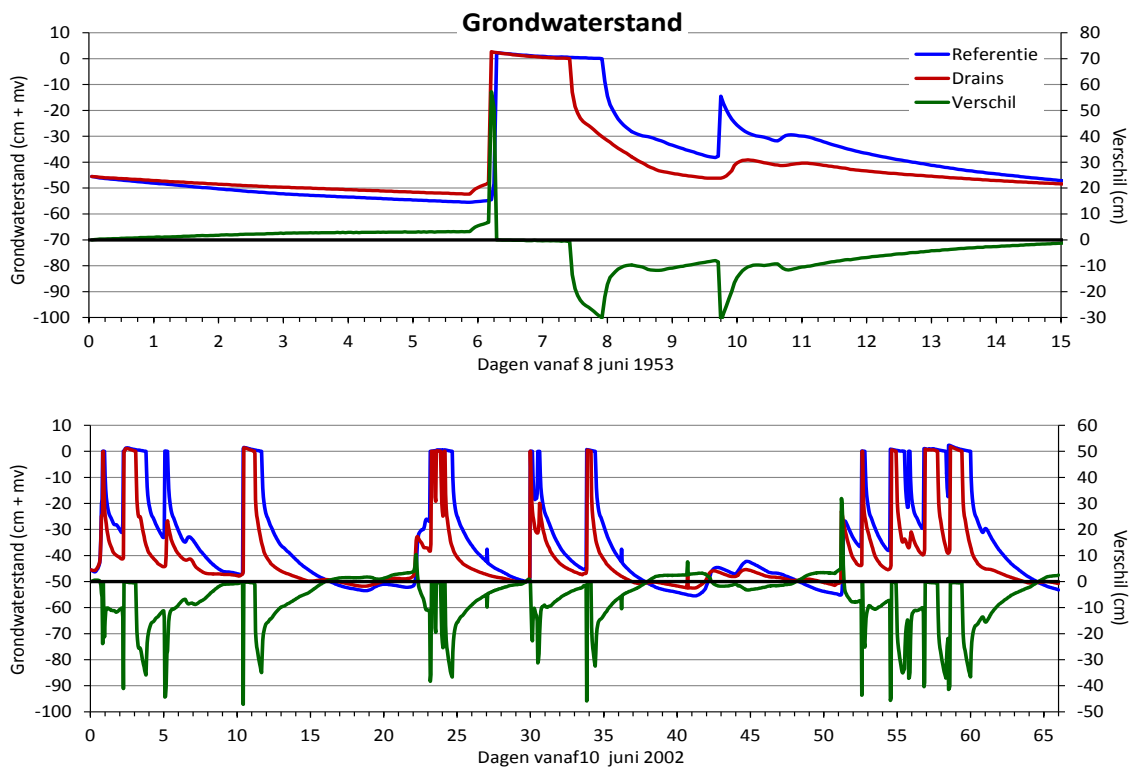
Figuur 4.12 Berekende verloop van de belangrijkste balanstermen van het oppervlaktewater, en het oppervlaktewaterpeil voor Referentie en Drains van Demmeriksekade, voor bui '13 juni 1953'. Fluxen en debieten zijn uitgedrukt in mm **slootoppervlakte** per uur.

Figuren 4.12 en 4.13 tonen de dynamiek van de belangrijke balanstermen van het oppervlaktewater. De resultaten zijn op uurbasis en de fluxen in mm per slootoppervlakte per uur. Interessante bevindingen die uit deze figuren spreken zijn:

- 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;
- De relatie tussen peil en bergingsverandering en de overige in- en uitgaande termen is goed zichtbaar;
- 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 bergingsstoename van het oppervlaktewater.



Figuur 4.13 Berekende verloop van de belangrijkste balanstermen van het oppervlaktewater en het oppervlaktewaterpeil voor Referentie en Drains van Demmeriksekade, voor twee van de buien van 10 juni t/m 14 augustus 2002. Fluxen en debieten zijn uitgedrukt in mm **slootoppervlakte** per uur.

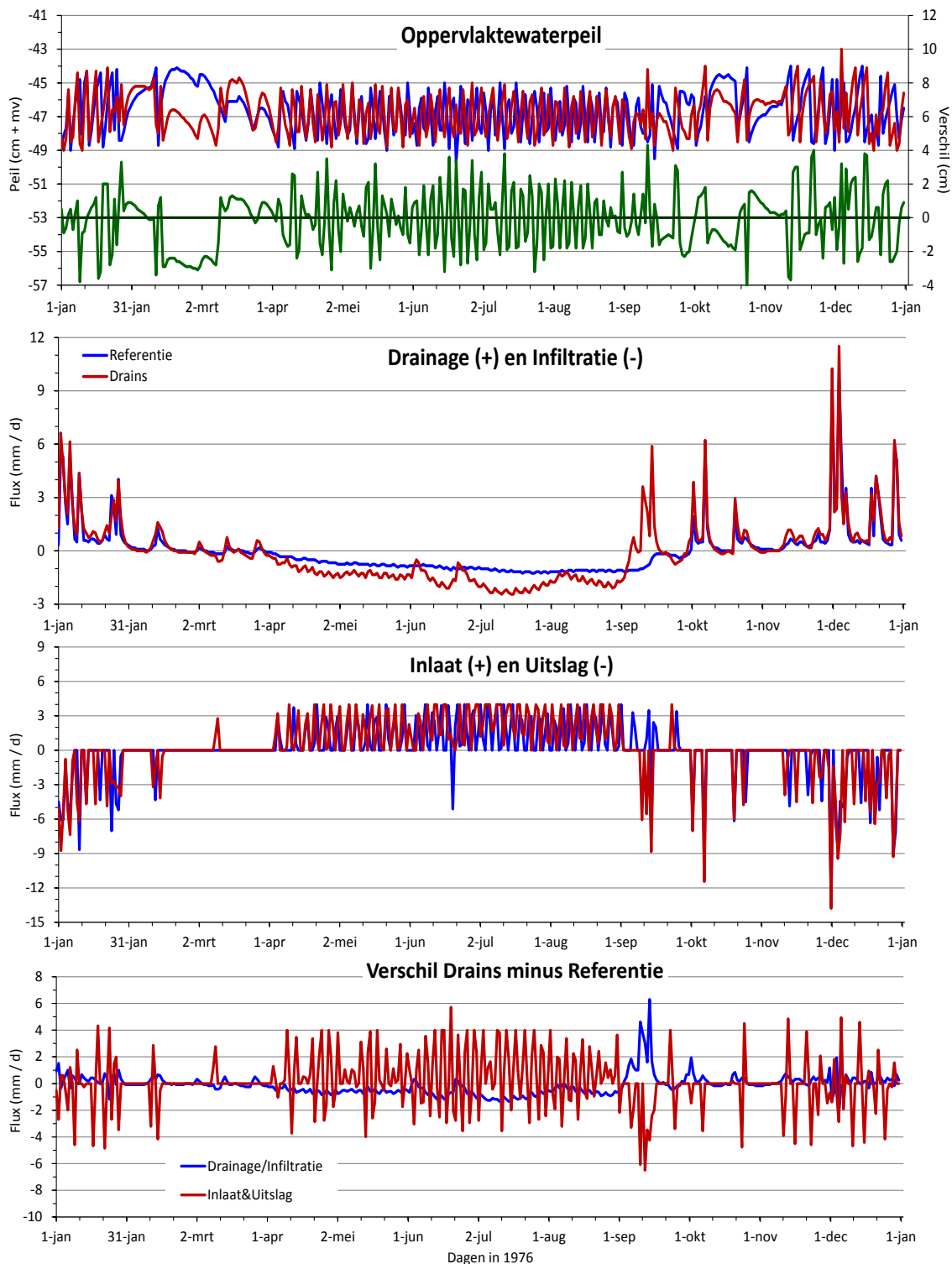


Figuur 4.14 Berekende verloop van de grondwaterstand voor Referentie en Drains van Demmerikse-kade, voor de buien '13 juni 1953' en '10 juni t/m 14 augustus 2002'.

Figuur 4.14 toont 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) grondwaterstandsverlagingen tot gemiddeld ruim 10 cm en maximaal ruim 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 tijdwinst door de grondwaterstand sneller uit en onder maaiveld te trekken. Het grondwaterstandverschil piekt in eerste instantie bij drains omdat er dan infiltratie plaatsvindt door de stijging van het slootpeil. 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 (ruim 13%) 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 2 cm en een toename van het aantal draaiuren van het gemaal met 7-9%. Met drains wordt het streefpeil enkele uren later bereikt dan zonder. Bij hevige buien van een omvang en intensiteit als de doorgerekende treedt direct plasvorming op en schiet de grondwaterstand binnen enkele uren tot in het maaiveld. Een voordeel van drains is dan een circa vijf dagen snellere daling van de grondwaterstand vanuit het maaiveld tot een niveau dat geschikt is voor beweiding en berijden.

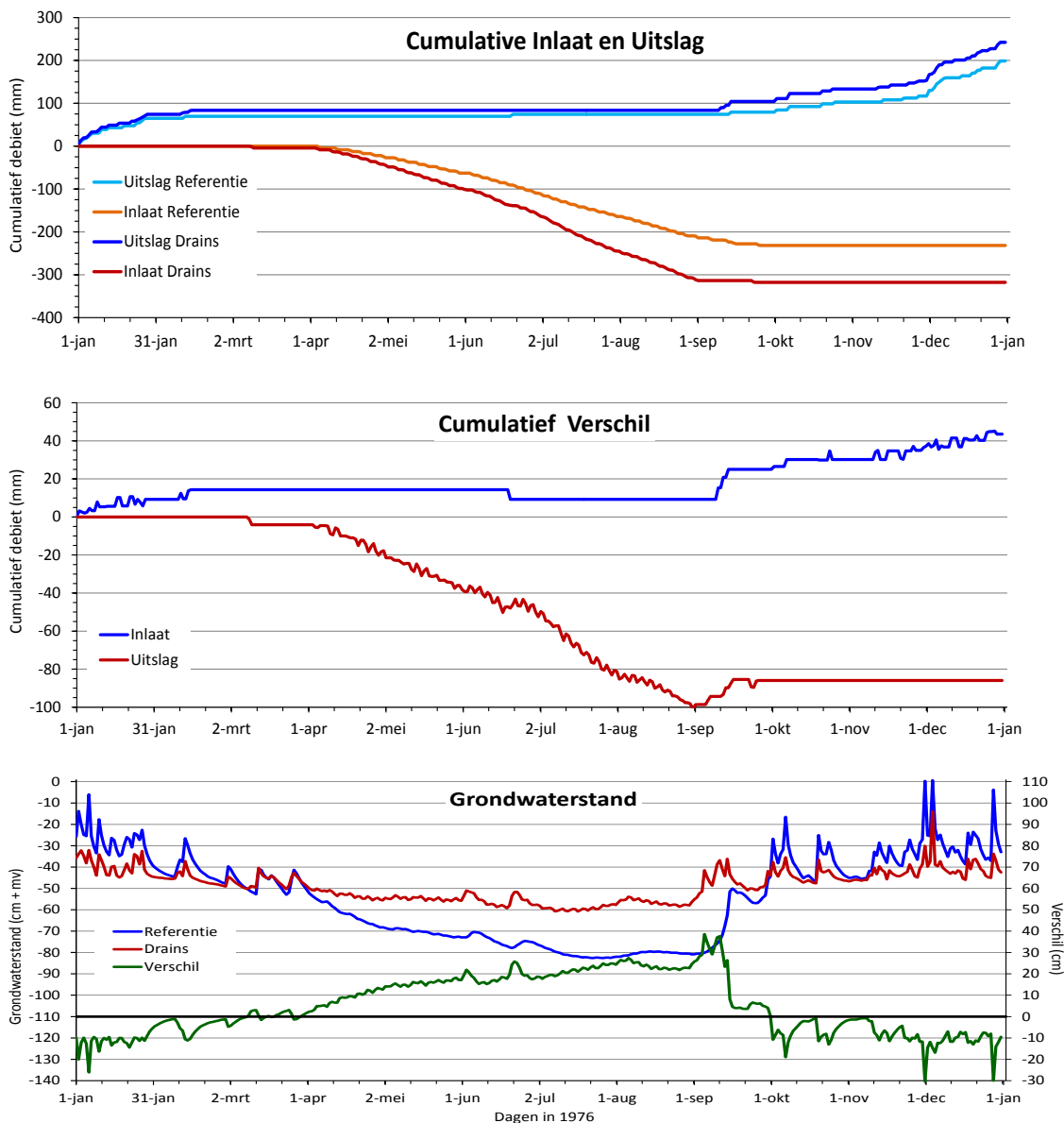


Figuur 4.15 Berekende oppervlaktewaterpeil, drainage/infiltratie en inlaat/uitslag van water voor Referentie en Drains van Demmeriksekade en de verschillen daartussen voor 1976. Fluxen zijn uitgedrukt in mm **totaaloppervlakte** (land+water) per dag. De groene lijn in bovenste figuur is het verschil.

4.1.2.2 Droge en natte jaren

Droge jaren 1976 en 2003

In figuren 4.15 en 4.16 zijn voor het zeer droge jaar 1976 de effecten van drains op oppervlaktewaterpeil, drainage en infiltratie, inlaat en uitslag, en grondwaterstand getoond. Deze resultaten voor 2003 laten hetzelfde beeld zien, alleen is daarin de droge periode in voorjaar en zomer wat korter. In Tabel 4.7 worden de belangrijke resultaten voor beide jaren samengevat.



Figuur 4.16 Berekende cumulatieve hoeveelheid inlaat en uitslag van water en het verloop van de grondwaterstand voor Referentie en Drains van Demmeriksekade, en het verschil daartussen voor 1976. Debieten zijn uitgedrukt in mm **totaaloppervlakte** (land+water) per dag.

Waterinlaat

De drains hebben een groot effect op de infiltratie van slotwater 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 63% en de toename van de inlaat bruto 43%. In absolute cijfers bedraagt de netto toename van beide 97 en 91 mm (per oppervlakte 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 maximale geval 131% bedraagt van de referentiegewasverdamping. Aangezien de grootte van deze verhoogde verdamping gelijk is voor beide situaties, Referentie en Drains, is de toename van de inlaat door vergrote infiltratie relatief kleiner dan de toename van de infiltratie.

Tabel 4.7

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

Balans	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	155	232	1389	249	318	1901	94	60	86	37	512	37
	2003	134	195	1170	225	300	1759	91	67	105	54	628	54
UIT	Jaar	Drainage (mm)	Uitslag (mm)	Draaiuren (uur)	Drainage (mm)	Uitslag (mm)	Draaiuren (uur)	Drainage (mm %)	Uitslag (mm %)	Draaiuren (uur %)			
		1976	156	199	345	206	242	421	50	32	44	22	76
	2003	245	259	451	280	331	577	35	15	72	28	126	28

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 situaties (met en zonder drains) gelijk en substantieel door grote aandeel oppervlaktewater en verkleint daardoor het relatieve effect van extra infiltratie bij drains;
2. Grotere daling peil bij drains dempt infiltratie meer (kleiner potentiaal verschil, ook door hogere grondwaterstanden bij drains);
3. Grotere daling peil bij drains geeft minder wegzijging direct vanuit de sloot (in dit geval zeer gering effect);
4. Berging in het oppervlaktewater buffert extra infiltratie bij drains, dit is substantieel door het grote aandeel oppervlaktewater.

Resultaten voor het gehele jaar

Resultaten zijn op dagbasis met fluxen in mm per totaal (land +water) oppervlakte per dag. Het meest opvallende is dat ook de toename in de uitslag gedurende het gehele jaar relatief groot is, in ieder geval groter dan bij de extreme buien: met 20-23% drie tot vier keer zo groot als bij de extreme buien. Dit is enerzijds het effect van de langere periode ten opzichte van de buien waarbij 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.

Grondwaterstanden

Het effect op de grondwaterstand laat Figuur 4.16 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 in de zomer niet wordt bereikt. De 'winst' door drains bedraagt dan maximaal 20 tot 30 cm. De 30 cm kan plaatsvinden als in de droge periode een neerslagbui valt. De bodem bij Drains is dan natter waardoor de grondwaterstand kortstondig tot 30 cm boven die van Referentie kan stijgen. (De piek eind zomer is het 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 grondwaterstand in natte perioden bedraagt maximaal ruim 30 cm.

Nat jaar 1981

Figuren 4.17 en 4.18 tonen voor het natte jaar 1981 de effecten van onderwaterdrains op oppervlaktewaterpeil, drainage en infiltratie, en inlaat en uitslag. In Tabel 4.8 worden de belangrijke resultaten voor dat jaar samengevat.

Tabel 4.8

Berekende termen van de waterbalans van het oppervlaktewater voor Referentie en Drains van Demmeriksekade en het verschil daartussen, voor de het natte jaar 1981. Termen zijn in mm per oppervlakte 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 %)
	58	116	693	114	161	962	56	96	45	38	268	38
UIT	Drainage (mm)	Uitslag (mm)	Draaiuren (uur)	Drainage (mm)	Uitslag (mm)	Draaiuren (uur)	Drainage (mm %)		Uitslag (mm %)		Draaiuren (uur %)	
	434	485	842	475	544	946	41	10	60	12	103	12

De relatieve toename van de uitslag van water en de draaiuren van het gemaal door drains 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).

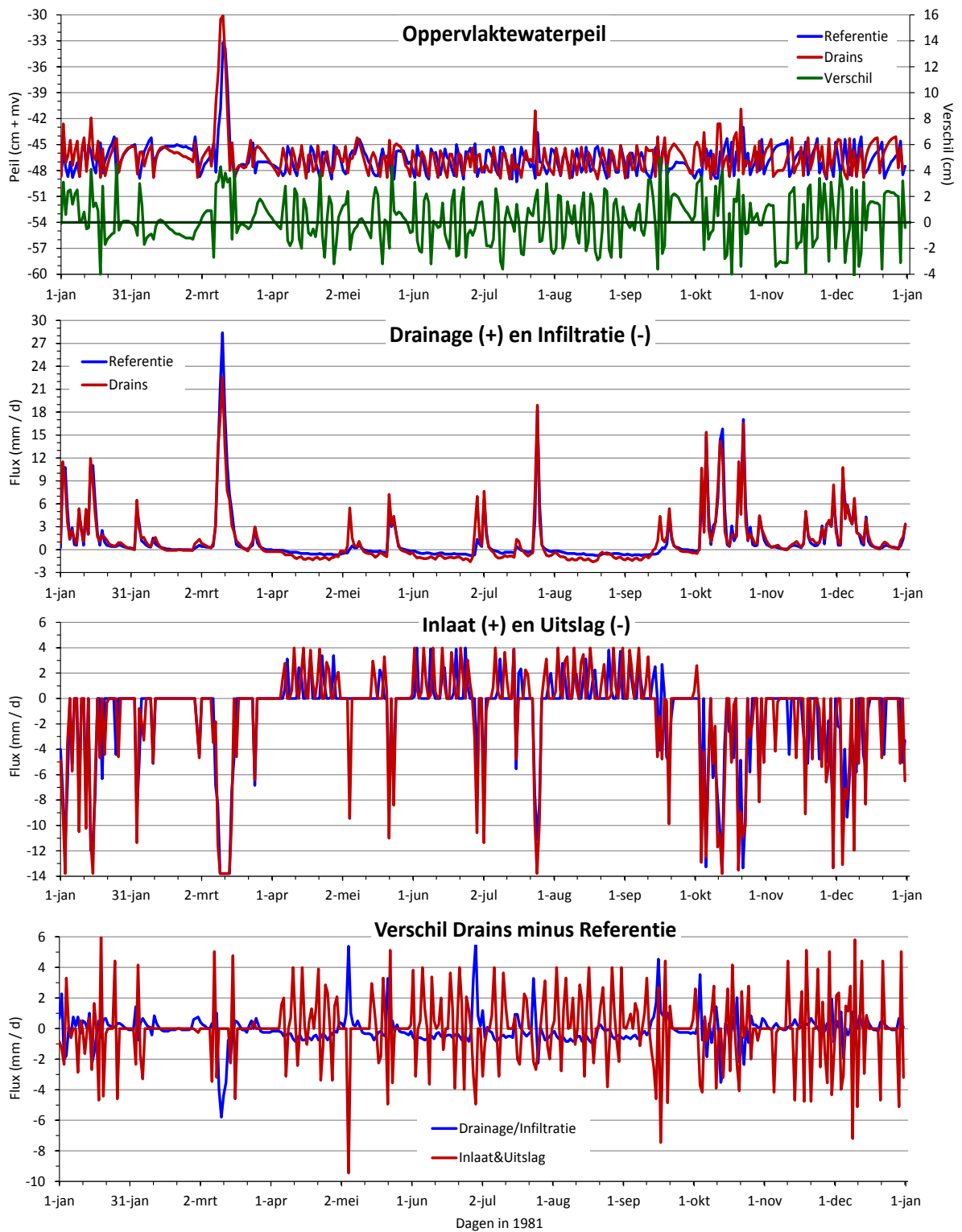
De relatieve toename in uitslag in 1981 is veel kleiner dan bij de droge jaren 1976 en 2003 (16% resp. 12%). In absolute zin is de toename in uitslag wel veel groter dan bij de droge jaren (37% resp. 17%). Reden voor de grotere relatieve toename bij de droge jaren is uiteraard de veel geringere basisuitslag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

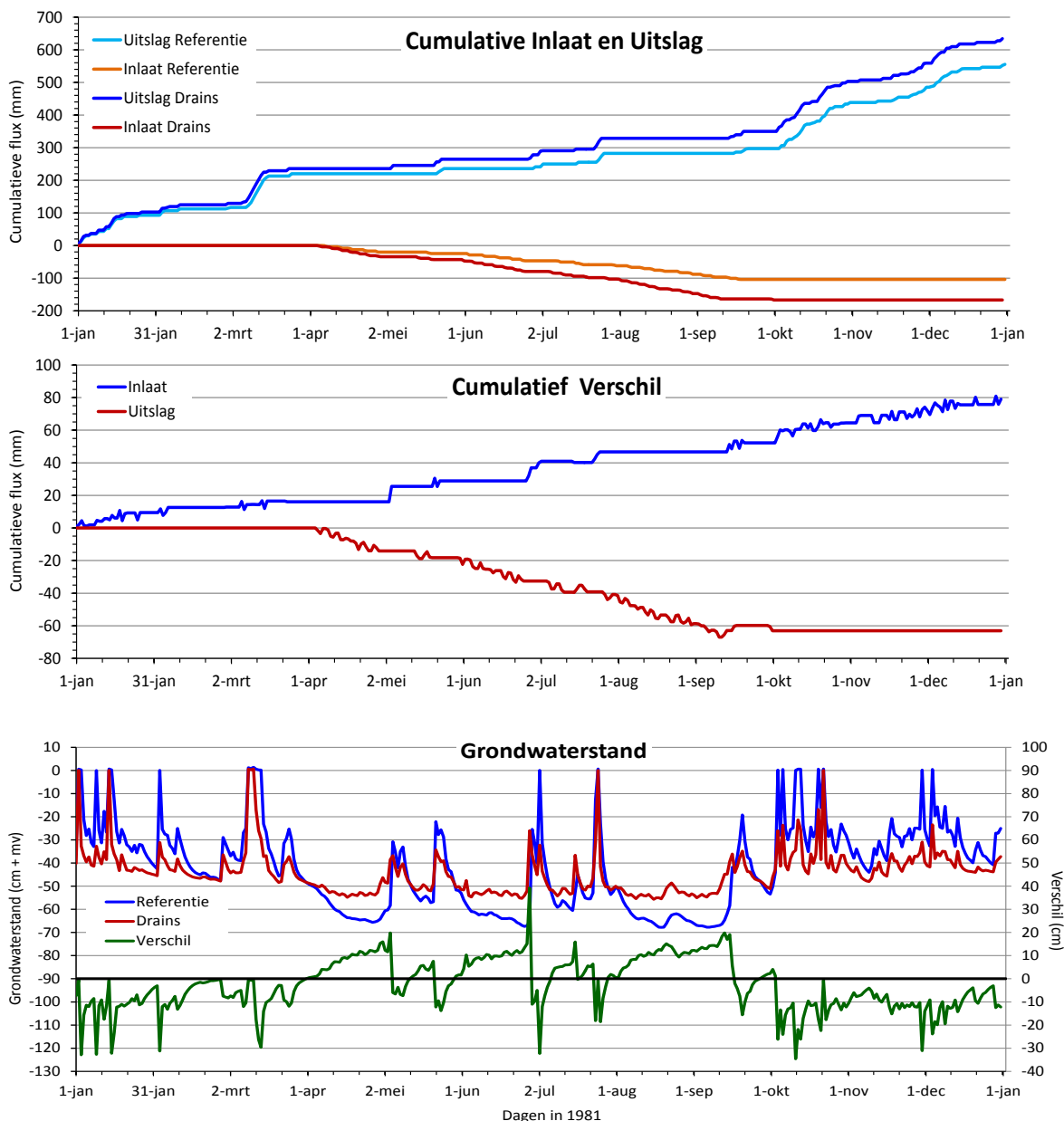
Verder kijken alle doorgerekende scenario's af van de (verwachte) werkelijkheid doordat een situatie met het volledige areaal onder drains is vergeleken met de situatie zonder drains. In werkelijkheid zal dit meestal niet voorkomen en is te verwachten dat slechts een deel van het areaal van een peilgebied 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 geanticipeerd 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 peilvakken in relatie tot maaiveldhoogten en het areaal veenweiden met onderwaterdrains.



Figuur 4.17 Berekende oppervlaktewaterpeil, drainage/infiltratie en inlaat/uitslag van water voor Referentie en Drains van Demmeriksekade en de verschillen daartussen voor 1981. Fluxen zijn uitgedrukt in mm **totaaloppervlakte** (land+water) per dag.

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.



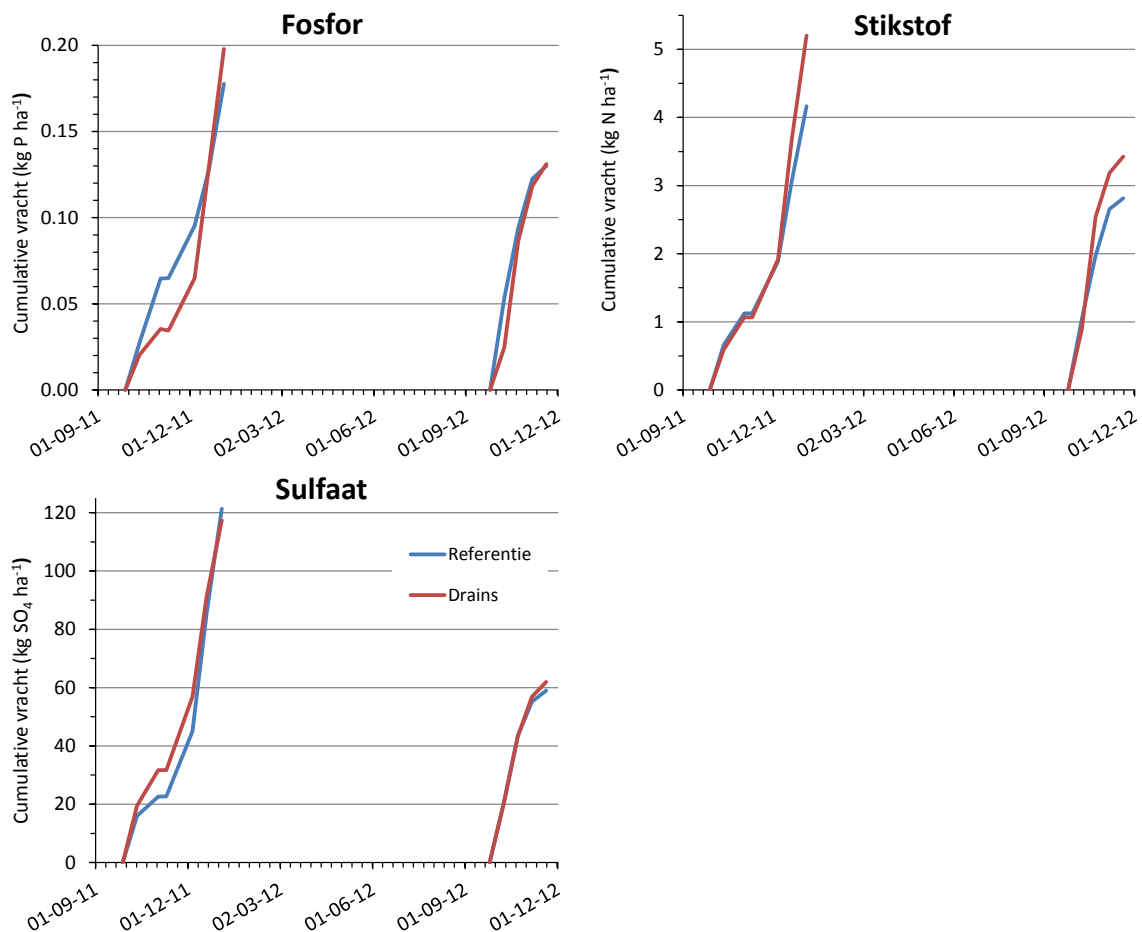
Figuur 4.18 Berekende cumulatieve inlaat en uitslag van water en het verloop van de grondwaterstand voor Referentie en Drains van Demmeriksekade, en het verschil daartussen voor 1981. Fluxen zijn uitgedrukt in mm **totaloppervlakte** (land+water) per dag.

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 35 cm. Net als in 1976 wordt deze maximale verhoging alleen bereikt in geval van hevige buien in de zomer en het najaar.

4.2 Nutriënten

4.2.1 Analyse veldonderzoek

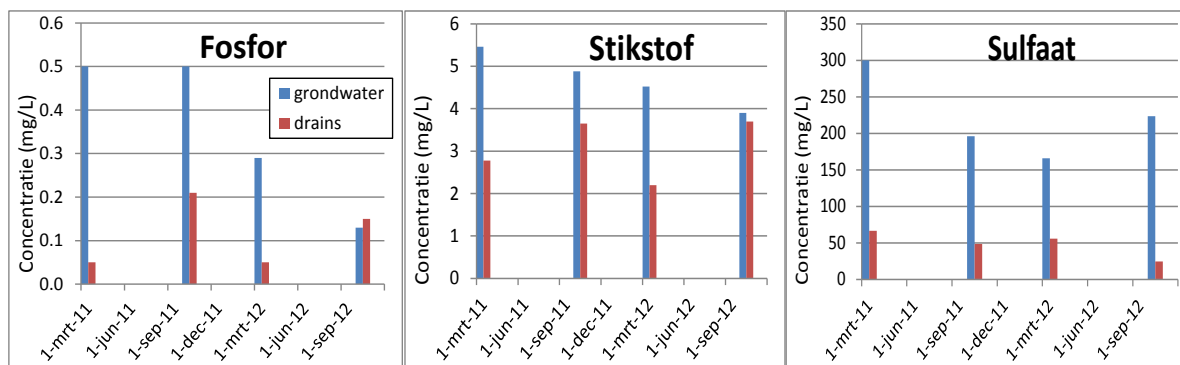
Voor de analyse van de effecten van onderwaterdrains op de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater tijdens de meetperiode is uitgegaan van de twee nutriëntenthema's die bij de modelstudie naar deze effecten die zijn onderscheiden door Hendriks en Van den Akker (2012): afwenteling op gebieden buiten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



Figuur 4.19 Vrachten van fosfor, stikstof en sulfaat in de wintermaanden uitgedrukt uit de meetsloten van Referentie en Drains van Demmeriksekade.

4.2.1.1 Afwenteling

Voor de 'afwenteling' is gebruik gemaakt van de gemeten uitpompdebieten en debietproportionele 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 proefvelden 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 4.3 en 4.4 de betrouwbare gemeten debieten en aanvullend de berekende debieten verrekend met de gemeten debietproportionele concentraties. De concentraties in het winterhalfjaar representeren het best de uitspoelingsconcentraties van wege de relatief snelle, netto afvoer van water en stoffen uit de veenbodem en de geringe rol van omzettingprocessen in slootwater en -bodem door de lage temperaturen in dit halfjaar. Wel moet dan de debietproportionele uitpompconcentratie worden 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 mg L⁻¹; voor fosfor en sulfaat is deze concentratie verwaarloosbaar geacht (Hendriks en Van den Akker, 2012).



Figuur 4.20 Gemeten concentraties van fosfor, stikstof en sulfaat in de drains van Drains en in het bovenste grondwater van Referentie.

De resultaten zijn gegeven in Figuur 4.19 en samengevat in Tabel 4.9. Figuur 4.19 laat zien dat het patroon van de vrachten vooral voor stikstof en sulfaat consistent is tussen 2011 en 2012. Bij fosfor is dat wat minder het geval. De concentraties zijn in vergelijking met de andere pilotgebieden en in het algemeen laag voor uitspoelingsconcentraties in het winterhalfjaar vanuit veenweiden; dat geldt vooral voor fosfor en sulfaat. Dat geldt ook voor de waarden van de concentraties, ze zijn veel lager dan die van De Keulevaart (Tabel 4.9). Dit geldt vooral voor fosfor, waarvan de waarden een factor 7-8 kleiner zijn dan die van De Keulevaart, gevolgd door stikstof met een ruime factor 2 en sulfaat met een kleiner factor 2. Wat hiervan de oorzaak is, is niet duidelijk. Verder is te zien dat de gemiddelde concentratie van stikstof bij Drains ongeveer 9% groter is, terwijl de gemiddelde fosfor- en sulfaatconcentraties bij Drains 5% en 10% lager zijn. De vrachten zijn bij Drains voor stikstof 23% en voor fosfor 6% groter dan en zijn voor sulfaat nagenoeg even groot als bij Referentie. Dit grotere toenemende effect bij vrachten van Drains is vooral een 'watereffect': de uitpompgebieden van Drains zijn 26% groter dan die van Referentie. Hierbij moet worden bedacht dat deze gesommeerd niet de gehele uitspoelingsperiode beslaan en dus niet de totale uitspoelingsvracht geven.

Tabel 4.9

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

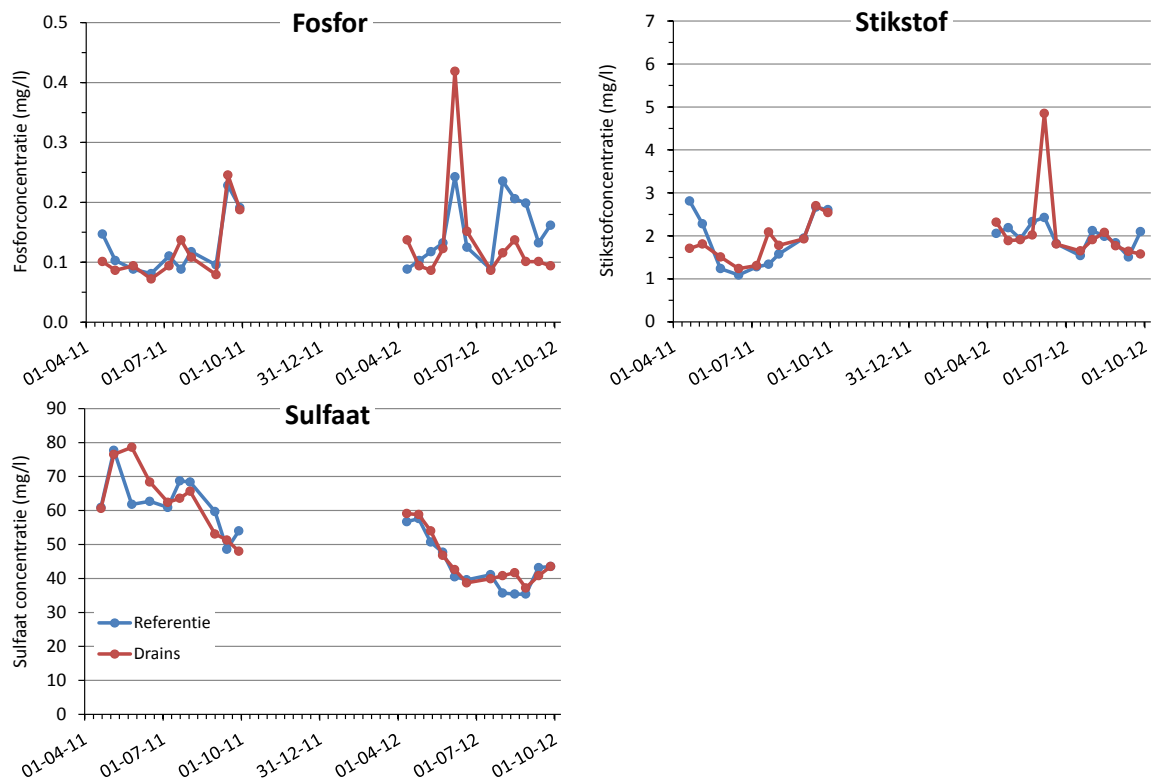
Parameter	Referentie			Drains			Drains minus Referentie					
	fosfor	stikstof	sulfaat	fosfor	stikstof	sulfaat	fosfor	stikstof	sulfaat			
Vracht (kg per ha land)	0,31	7,0	180	0,33	8,6	179	0,02	6%	1,6	23%	-1	-1%
Uitpompconc. (mg L ⁻¹)	0,09	2,1	53	0,08	2,3	48	-0,01	-11%	0,2	10%	-5	-9%
Uitspoelconc. (mg L ⁻¹)	0,11	2,5	65	0,10	2,6	57	-0,01	-9%	0,1	4%	-8	-12%

Om meer inzicht te krijgen in de uitspoeling is Figuur 4.20 opgenomen. Hierin zijn concentraties getoond van incidenteel genomen monsters van het bovenste grondwater uit grondwaterstandsbuizen bij Referentie en van het drainwater bij Drains. In Tabel 4.10 zijn de gemiddelden waarden per nutriënt-proefveld-combinatie gegeven. De concentraties uit de drains zijn consequent lager dan die uit het grondwater: een factor 3 bij fosfor, een kleine factor 2 bij stikstof en een factor 4,5 bij sulfaat.

Tabel 4.10

Gemiddelde gemeten concentraties van fosfor, stikstof en sulfaat (mg L⁻¹) in het bovenste grondwater en in de drains, van Figuur 4.20.

	Fosfor	Stikstof	Sulfaat
Bovenste grondwater	0,36	5,0	221
Drains	0,12	3,1	49



Figuur 4.21 Gemeten concentraties van fosfor, stikstof en sulfaat in het oppervlaktewater van de meetsloten van Referentie en Drains van Demmeriksekade, in de zomermaanden.

Opvallend is dat fosfor en sulfaat samen het laagst zijn in de drains. Mogelijk duidt dit op een relatie tussen beide nutriënten. Als de concentraties van de metingen uit grondwater en drains goede indicatoren zouden zijn voor de uitspoelingsconcentraties uit de veenbodem dan zouden ze overeen moeten komen met de waarden geschat voor uitspoelingsconcentraties geschat uit de debietproportionale monsters van Tabel 4.10. Bij fosfor zou dat ongeveer kloppen voor Drains, maar zijn die van het grondwater erg hoog voor Referentie. Dit geldt ook bij stikstof en sulfaat. Mogelijke oorzaken van de verschillen bij het grondwater zijn het concentratieverloop in de tijd van het uitspoelende water dat sterk verandert, processen die in het oppervlaktewater spelen waardoor de concentraties in de sloot sterk veranderen na uitspoeling en dat het bemonsterde grond- en drainwater niet alleen het uitspoelende water vertegenwoordigt.

4.2.1.2 Zomerwaterkwaliteit

Figuur 4.19 laat de gemeten nutriëntenconcentraties in de twee meetsloten zien gedurende het zomerhalfjaar. In Tabel 4.10 zijn statistische maten gegeven. Hier komt een vergelijkbaar beeld uit als dat bij de afwentelingsvrachten: verschillen zijn meestal klein, vooral bij fosfor en sulfaat. De patronen in de tijd laten geen consistent verloop van de verschillen tussen Referentie en Drains zien: beide lijnen kronkelen om elkaar heen. Opvallend is de piek in de fosfor- en stikstofconcentraties op 6 juni 2012 bij Drains. Deze ontbreekt bij Referentie. Mogelijke oorzaak is (accidentele) directe bemesting van de sloot bij Drains, aangezien kort voor deze datum bemest is.

De statistische maten geven geringe verschillen in concentraties aan tussen Referentie en Drains. Hoewel dit beeld niet volledig eenduidig is. Opvallend is dat sulfaat afneemt met de twee jaren. Dit kan worden verklaard door de uitspoeling in 2011 van door pyrietoxidatie gevormd sulfaat in de veenbodem in de natte tweede helft van 2011, terwijl 2012 nauwelijks een droge periode kent waardoor de sulfaatvorming door de nattere omstandigheden wordt geremd en de uitspoeling ook achterblijft. De afname gedurende het jaar is hoogstwaarschijnlijk het gevolg van sulfaatreductie in de top van de waterbodem. Hiermee hangt samen de toename in het jaar van de fosforconcentraties die door mobilisatie van fosfor uit de waterbodem toenemen.

Tabel 4.11

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

Statistische maat	Referentie			Drains			Drains minus Referentie					
	fosfor	stikstof	sulfaat	fosfor	stikstof	sulfaat	fosfor	stikstof	sulfaat	fosfor	stikstof	sulfaat
Mediaan	0,12	2,0	54	0,10	1,9	53	-0,02	-16%	-0,1	-4%	-1	-2%
Gemiddeld	0,14	1,9	53	0,13	2,0	54	-0,01	-25%	0,1	+7%	1	0%
Standaardafwijking	0,05	0,5	12	0,07	0,7	12	0,32		0,7		5	

4.2.1.3 Scenario's van natte en droge jaren

In Tabel 4.12 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 4.9 (zie 2.4.2). Hierbij zijn de gemeten concentraties gesimuleerd met een afwijking kleiner dan 5%.

Tabel 4.12

Resultaten van de scenarioberekeningen van droog jaar 1976 en nat jaar 1981 voor Demmeriksekade, als uitspoelingsvrachten ($\text{kg per ha land} + \text{water per jaar}$) en gemiddelde uitspoelingsconcentraties (mg L^{-1}) van fosfor, stikstof en sulfaat voor de situatie zonder en met drains en het verschil hiertussen. 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	0.21	0.05	0.04	0.33	0.05	0.10	0.08	0.14	0.09	0.45	0.10	0.22	0.06	0.01	0.01	-0.23
	1981	0.85	0.08	0.12	0.83	0.07	0.16	0.05	0.09	0.15	0.16	0.13	0.14	-0.06	-0.01	-0.02	-0.02
Stikstof	1976	5.3	1.2	0.9	6.5	1.0	2.3	2.4	4.1	2.3	11.4	1.9	5.4	-0.6	-0.5	-0.4	-6.0
	1981	21.3	2.0	3.1	17.3	1.5	3.2	1.3	2.6	3.9	4.0	2.8	2.8	-5.3	-1.7	-1.1	-1.2
Sulfaat	1976	226	62	1	150	31	23	60	103	119	19	58	54	-119	-52	-61	35
	1981	187	17	31	203	18	39	34	64	33	41	33	32	-14	-21	-1	-9

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

De vier rechtse kolommen van de tabel geven de verschillen tussen de situaties 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 2.4.2.3 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).

Tabel 4.12 toont dat de jaarvrachten het grootst zijn 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 drainagefluxen wel consequent groter zijn dan bij zonder drains. Dit komt door het samenspel van waterhoeveelheden en concentraties. De laatste zijn op twee uitzonderingen na allemaal lager bij drains. De uitzonderingen zijn fosfor in de winter en sulfaat in de droge zomer van 1976. De uitspoelingsconcentratie van sulfaat 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 slootwater 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', onder kopje 'net vracht' onder 'Verschilwaarden'. Zoals uitgelegd in 2.4.2.3 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 van zowel afwenteling (jaar) als zomerbelasting in droog jaar 1976. Dan hebben drains een toename van de belasting tot gevolg, die substantieel is voor het jaar maar in absolute termen klein voor de zomer (relatief groot door de lage belasting zonder drains die de referentie vormt). 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. Daarnaast is het vernattende effect van de drains in dit zeer droge jaar van doorslaggevende betekenis. Hierdoor ontstaan er meer natte situaties waarin aan het bodemcomplex van de door bemesting verrijkte wortelzone gebonden fosfor kan uitspoelen.

De meeste donkergroene kleuren komen voor bij stikstof, gevolgd door sulfaat, en dan vooral in het droge jaar 1976. De afname van de stikstofbelasting is overwegend in de orde van 15%-50%, die van sulfaat over het algemeen meer dan 70%. De verklaring hiervoor is dat de vernattende werking van de drains in droge omstandigheden in het zomerhalfjaar van 1976 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 stikstof en sulfaat een (zeer) 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 een toename van de fosforbelasting te verwachten, vooral van thema 'afwenteling'. In het natte jaar is het effect voor fosfor een (lichte) afname van de belasting van beide thema's.

5 De Keulevaart: analyse en evaluatie meetresultaten met modelonderzoek

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het veldonderzoek van De Keulevaart beschreven zoals dat met modellen is geïnterpreteerd en geanalyseerd. Voor water gaat het expliciet om het model SWAP. Alle resultaten die worden besproken zijn analyses van de veldresultaten met SWAP, of met inbreng van SWAP. Voor nutriënten worden eerst de veldresultaten zonder model geanalyseerd. Daarna is met nutriëntenmodel ANIMO gerekend voor extreem droge en natte jaren. Dit hoofdstuk is op een vergelijkbare manier opgebouwd als hoofdstuk 4 van dit rapport en hoofdstuk 6 van rapport 'Pilot onderwaterdrains Krimpenerwaard' (Van den Akker *et al.*, 2013), waarin de twee andere pilots van dit onderzoek, respectievelijk Demmeriksekade en de Krimpenerwaard, worden beschreven.

5.1 Water

In deze paragraaf wordt eerst de situatie van de meetperiode besproken. Daarin wordt het veldonderzoek met SWAP geëvalueerd en geanalyseerd. Vervolgens worden berekeningen gepresenteerd van scenario's van extreme weersituaties als hevige neerslagbuien en zeer droge en natte jaren.

5.1.1 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 geïkt 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, gegeven de belangrijkste drijver neerslagoverschot, onrealistische balanstermen kan aantonen. Dit heeft tot correctie van meetresultaten geleid.

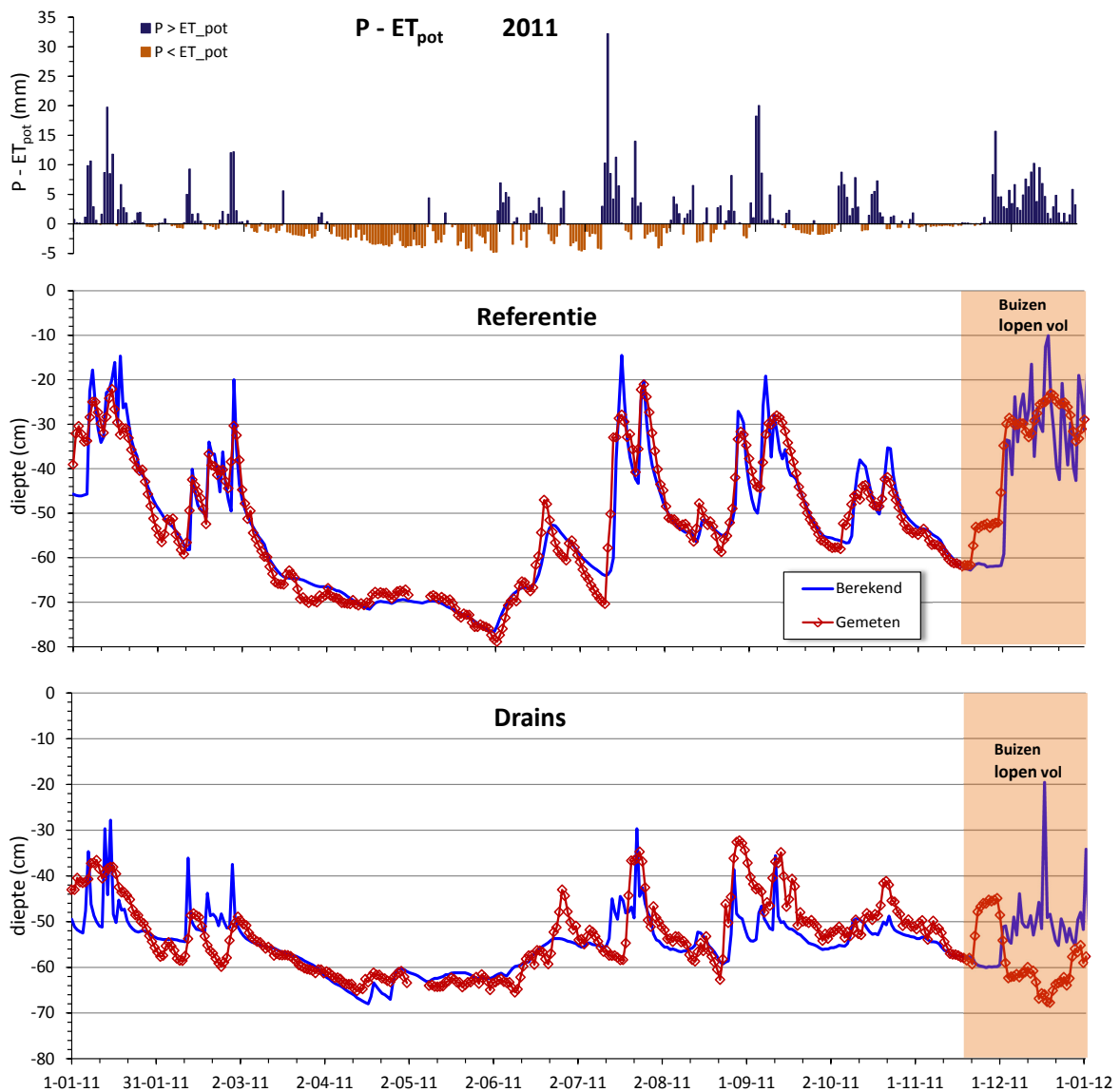
5.1.1.1 Kalibratie SWAP

In figuren 5.1 en 5.2 is de kalibratie van de veldgemiddelde **grondwaterstanden** getoond voor de twee 'behandelingen' Referentie en Drains. De berekende RMSE's (*Root Mean Squared Error*), de statistische maten die de gemiddelde afwijking tussen berekende en gemeten waarden aangeven (zie 2.4.1.3), zijn samengevat in Tabel 5.1. Deze zijn allemaal lager dan 7 cm; dit geeft een goed resultaat aan. Een vuistregel is dat voor perceelonderzoek een waarde kleiner dan 10 cm acceptabel is. Volgens waarnemingen van de veldwerkers heeft de vorstperiode de metingen nadelig beïnvloed in de zin dat onrealistische grondwaterstanden werden gemeten. Dit geldt vooral voor Drains. Deze periode is om die reden niet meegenomen in de berekening van de RMSE's. De zeer natte periode eind 2011 geeft voor een vreemd grondwaterstandenpatroon met standen die lang hoog blijven hangen (Referentie) of juist laag (Drains) 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 5.1

RMSE (*Root Mean Squared Error*, in cm) als maat voor de afwijking tussen gemeten en gesimuleerde veldgemiddelde grondwaterstanden voor De Keulevaart.

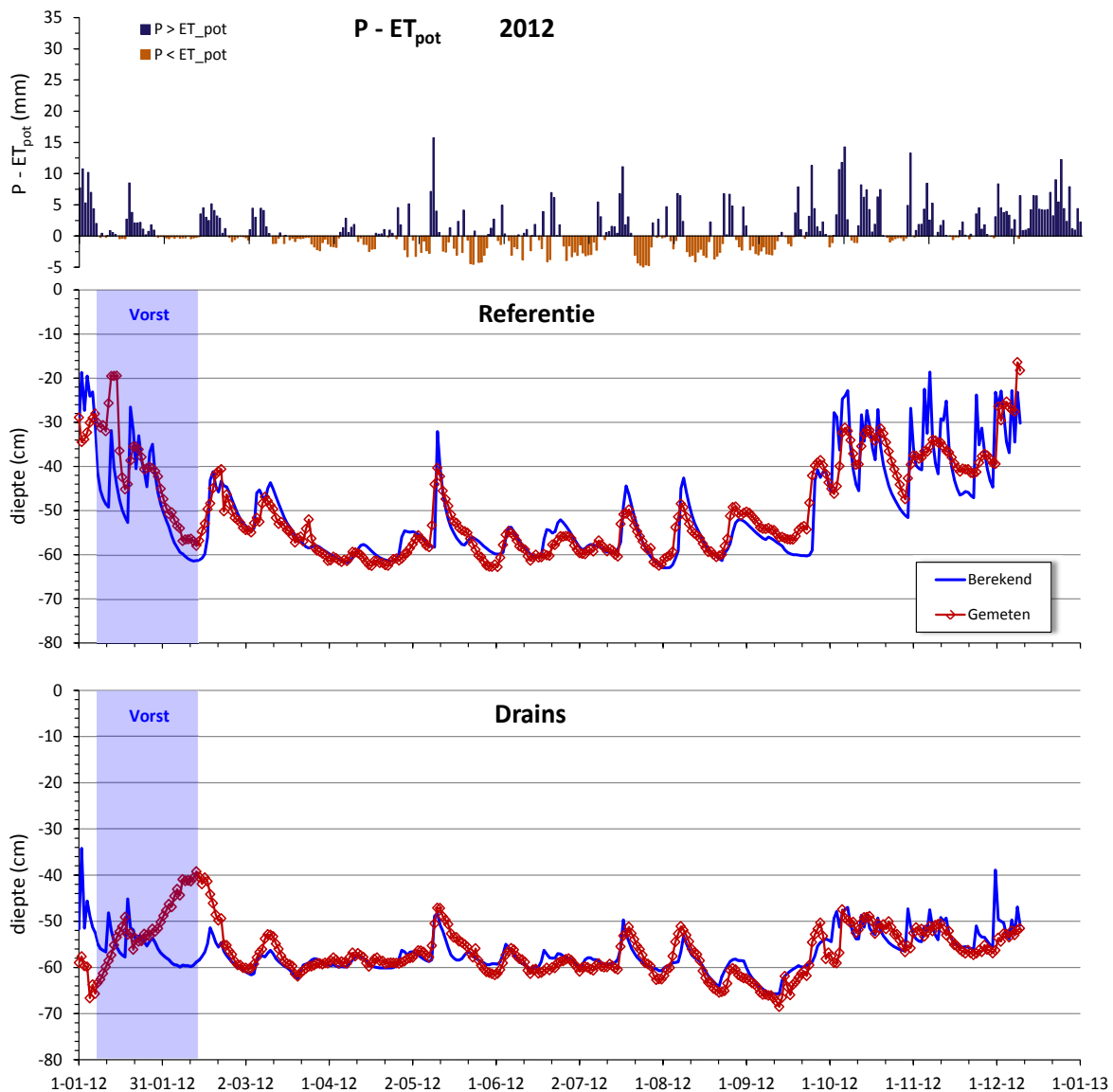
Jaar	Referentie	Drains
2011	5,3	6,8
2012	3,0	3,3
Gemiddeld	4,2	5,2



Figuur 5.1 Resultaten van de kalibratie van SWAP als vergelijking van berekende met gemeten, veldgemiddelde grondwaterstanden voor het jaar 2011, voor Referentie en Drains van De Keulevaart. 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 gegeven in Tabel 5.2. Een van de resultaten van de kalibratie voor De Keulevaart was dat naast een werkende greppel ook *interflow* - de snelle ondiepe laterale uitstroming door de top van het profiel - nodig was om het typische sterk afgetopte verloop van de grondwaterstanden in natte tijden te simuleren. Meestal vormt een greppel een alternatief voor het 'aftoppen' van de grondwaterstandspieken. Bij De Keulevaart was een greppel alleen niet genoeg. Hoogstwaarschijnlijk wordt door de enigszins holle ligging van het maaiveld het interflowwater, net als oppervlakkig afstromend water (*runoff*), voornamelijk naar de greppel afgevoerd. Een verklaring voor het optreden van laterale uitstroming door de toplaag van venige klei kan het bestaan van structureurscheuren zijn, ontstaan door krimp tijdens de rijping van de klei. Deze kan een netwerk van kleine scheurtjes hebben gevormd waardoor snel lateraal watertransport mogelijk is.

De drainageweerstand van 45 dagen en infiltratieweerstand van 50 dagen voor de drains liggen in dezelfde orde van grootte als die van Demmeriksekade en de Krimpenerwaard; ze zijn de laagste van de drie pilots. Daarmee zijn ze anderhalf 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.



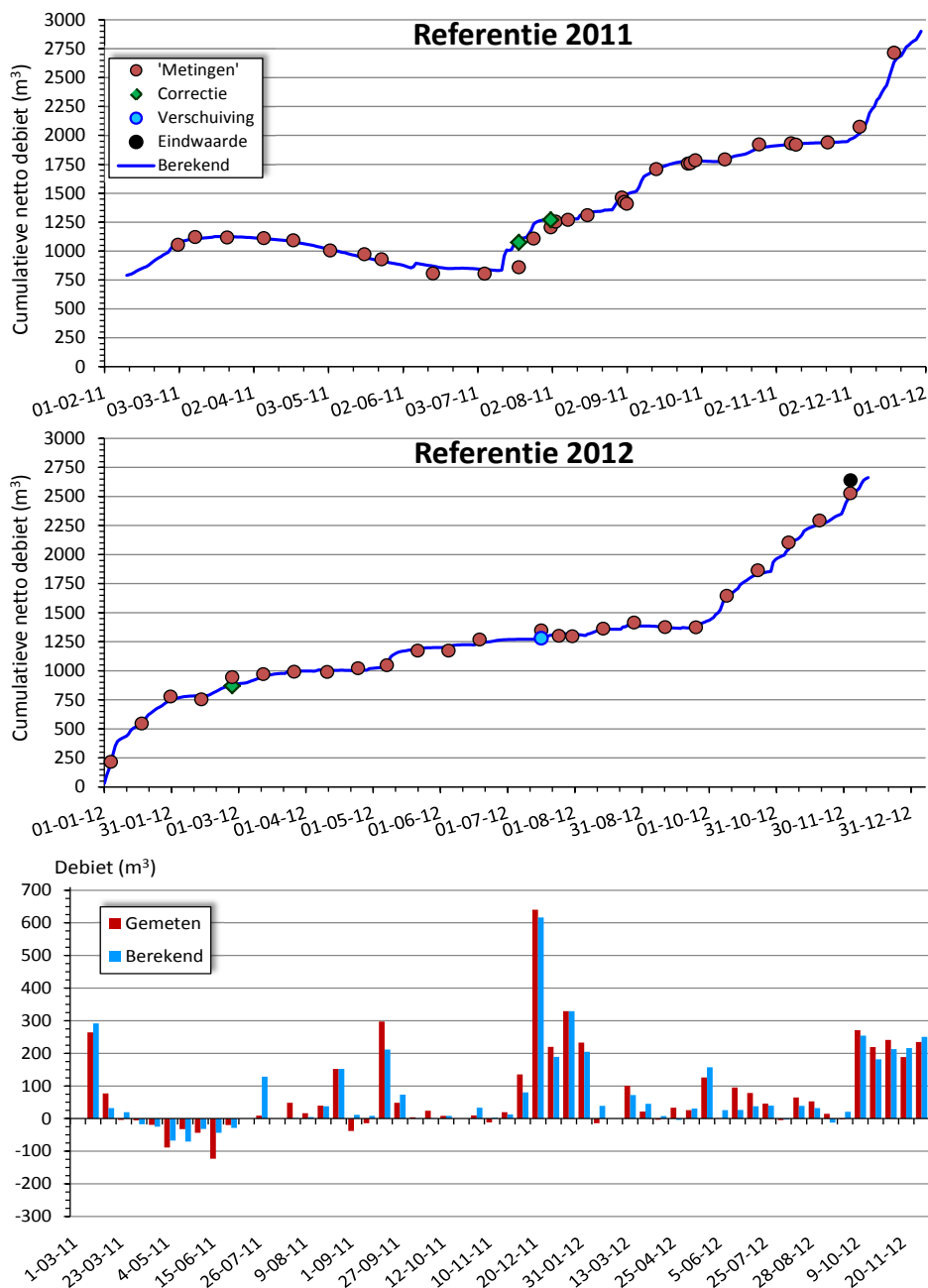
Figuur 5.2 Resultaten van de kalibratie van SWAP als vergelijking van berekende met gemeten, veldgemiddelde grondwaterstanden voor het jaar 2012, voor Referentie en Drains van De Keulevaart. De ingekleurde vlakken geven perioden aan waarin de metingen van de grondwaterstanden onbetrouwbare resultaten gaven door vorst. In de bovenste grafiek is het neerslagoverschot uitgezet als neerslag (P) minus referentiegewasverdamping (ET).

De weerstand voor verticale stroming over de onderrand (kwel/wegzijing) komt wat betreft orde van grootte overeen met klassen van diverse bronnen genoemd in Hendriks en Van den Akker (2012), Bijlage E.

Tabel 5.2

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

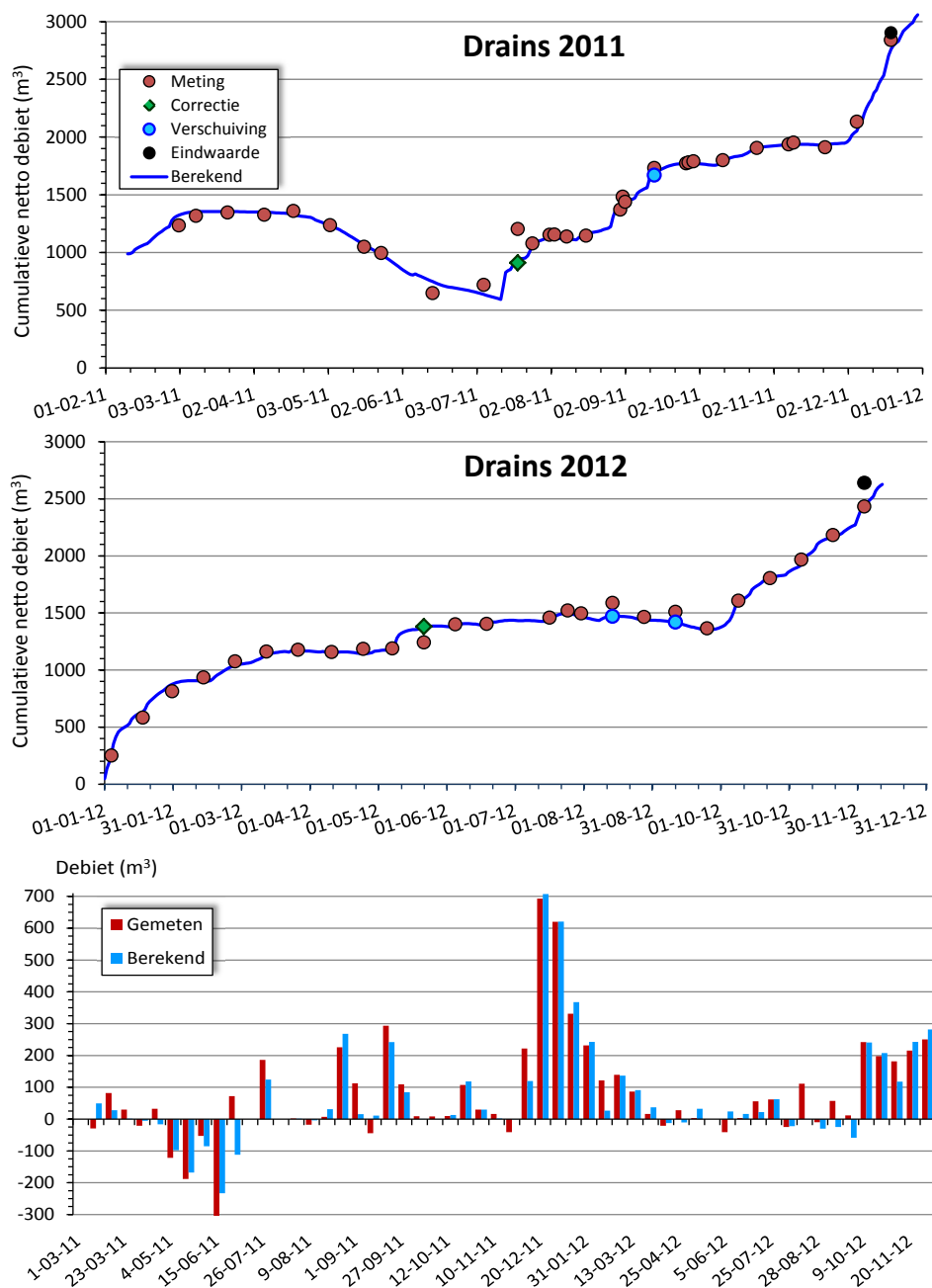
Proces	Sloot	Drains	Greppel	Interflow	Runoff	Verticale stroming
Drainage	150	45	30	10	1 (drempel: 2 mm)	-
Infiltratie	170	50	-	-	-	-
Kwel/wegzijing	-	-	-	-	-	780



Figuur 5.3 Kalibratie van SWAP tegen uit metingen afgeleide netto drainage/infiltratie-debieten voor Referentie van De Keulevaart. 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). 'Eindwaarde' is de waarde van de metingen zonder de verschuivingen.

In figuren 5.3 en 5.4 zijn de resultaten van de SWAP-kalibratie tegen de op basis van **debietmetingen** samengestelde netto bodemuitwisselingsdebieten voor De Keulevaart gegeven. Tabel 5.3 geeft informatie over de RMSE's als maat voor afwijking tussen berekende en uit metingen afgeleide waarden. De andere statistische waarden zijn hierbij berekend voor de berekende waarden.

De groene ruitjes in de figuren geven de perioden 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 de betreffende periode en mag niet doorwerken in de cumulatieve reeks daarna.



Figuur 5.4 Kalibratie van SWAP tegen uit metingen afgeleide netto drainage/infiltratie-debieten voor Drains van De Keulevaart. 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). 'Eindwaarde' is de waarde van de metingen zonder de verschuivingen.

Tabel 5.3

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

Proefveld	Totale debiet (m ³)	Gemiddelde debiet (m ³)	Standaard- afwijking (m ³)	RMSE (m ³)	RMSE ten opzichte van:		
					Totale debiet (%)	Gemiddelde (-)	Standaardafw. (-)
Referentie	5319	72	119	38	0,7	0,53	0,30
Drains	5337	112	142	52	1,0	0,46	0,36

Iets dergelijks is gedaan met de blauwe bolletjes waar (sterk) afwijkende perioden zijn teruggeschoven op 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 Drains 25% groter dan bij Referentie, aangevende dat het meer dynamische systeem van Drains wat minder goed is 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 3% en voor 2012 5%, gemiddeld 4% onderschatting door het model, en voor Drains 5% en 7%, gemiddeld 6% onderschatting. De netto afvoer/aanvoer vanuit/naar de veenbodem is daarmee goed gesimuleerd.

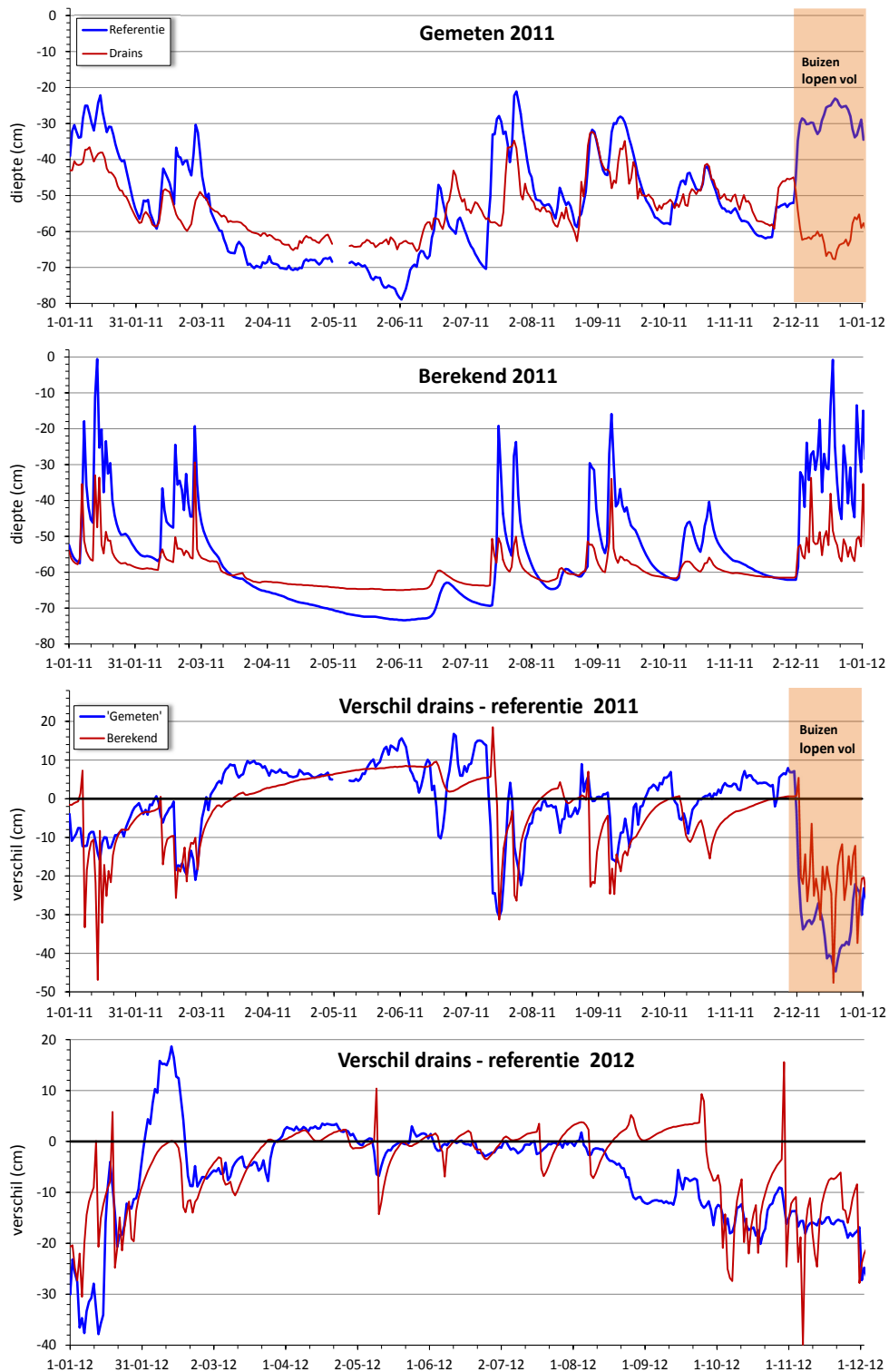
De grootste afwijking tussen 'gemeten' en 'berekend' is zowel voor Referentie als Drains op 20 juli 2011. Dit was een regenrijke periode: in de periode van 6 t/m 20 juli viel 100 mm neerslag en bedroeg het actuele neerslagoverschot 34 mm of circa 310 m³ voor de proefvelden. Dit is teveel om de zeer geringe uit metingen afgeleide afvoer (55 m³) bij Referentie te verklaren, maar te weinig om de grote afgeleide afvoer (490 m³) bij Drains te verantwoorden. Bij Referentie is het neerslagoverschot 6 keer de uit de metingen ingeschatte drainage. Op 2 augustus 2011 was bij Referentie de 'uitpomp' niet ingeschakeld waardoor het uitpompen niet is geregistreerd. In 2012 heeft de vorstperiode de debietmetingen van Referentie verstoord waardoor na deze periode een correctie op zijn plaats was.

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 en Referentie ongeveer gelijk. Dit is tegen de verwachting, maar wordt voor een groot deel veroorzaakt doordat bij Drains het optredende op en neer pendelen van water niet zichtbaar wordt in een netto benadering. Bovendien is de oppervlakte van het afwateringsgebied bij Drains 9% groter dan dat van Referentie (9130 tegen 8316 m²). Een vergelijking tussen uit/afstroming uit/af de bodem en infiltratie in de bodem apart is dan beter. Die toont Figuur 5.6.

5.1.1.2 Bepalen toestand in de meetperiode

Figuur 5.5 toont het verschil in **grondwaterstand** tussen de situatie met en zonder drains van De Keulevaart als mét minus zónder. Dit is gedaan voor zowel de metingen als de berekeningen. De berekeningen zijn gedaan voor de gemiddelde waarden van maaiveldhoogten en slootpeilen van beide proefvelden. 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 als het gaat om verschillen in grondwaterstand die kleiner of in dezelfde orde van grootte zijn als de verschillen in maaiveldhoogte (10 cm). En dat geldt bij deze twee als meetjaren ongelukkige jaren vanwege de natte zomers. Ook het verschil in het verloop van het slootpeil in de aparte meetsloten maakt directe vergelijking van de twee proefvelden moeilijk. Aan beide methoden kleven nadelen. Samen geven ze een genuanceerder beeld, maar gemiddeld gezien schat het model de effecten van drains iets gunstiger in.

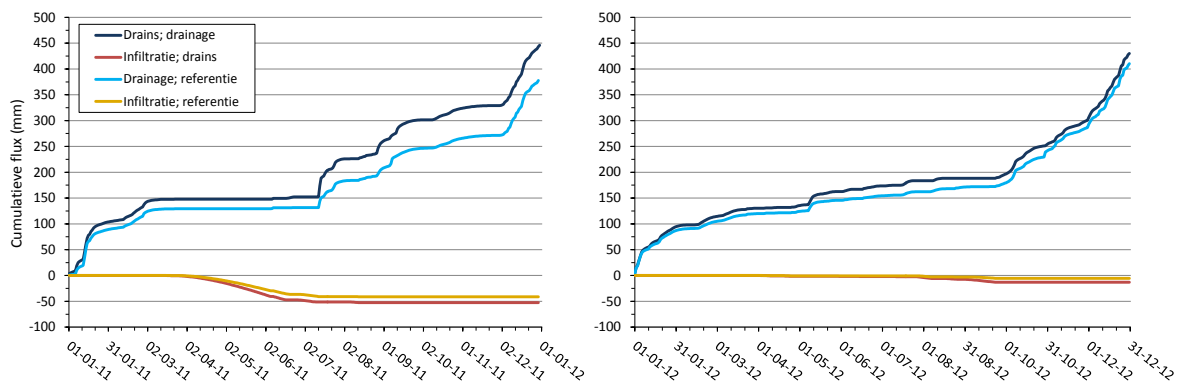
Meest interessant zijn de positieve verschillen wanneer de grondwaterstand bij Drains in de droge periode hoger is dan die bij Referentie. Het grootste verschil in deze zin is een 19 cm hogere grondwaterstand uit de berekeningen bij Drains op 15 juli 2011. Deze uitschieter is het gevolg van een snelle reactie van de drains op een grote regenbui. Deze situatie negerend is het vernattend effect van drains in de droge periode van 2011 15 cm volgens de metingen en 10 cm volgens het model.



Figuur 5.5 Verschil in grondwaterstand tussen Referentie en Drains van De Keulevaart zoals afgeleid uit de metingen op de twee aparte proefvelden en zoals berekend voor gemiddelde omstandigheden met SWAP.

De grote stijging bij Drains uit de metingen komt echter tot stand bij 5 cm hoger slootpeil bij Drains dan bij Referentie. Daarvoor corrigeren geeft bij metingen en model nagenoeg dezelfde grondwaterstandstijging van 10 cm door onderwaterdrains.

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. Voor deze situatie in de betrouwbare meetperiode zijn metingen en modelberekeningen het ook ongeveer eens: een maximum verlaging van 30 cm in juli 2011.



Figuur 5.6 Berekende cumulatieve drainage en infiltratie (negatief) voor Referentie en Drains van De Keulevaart bij gelijke maaiveldhoogte en slootpeilen voor beide proefvelden. Links 2011, rechts 2012.

Figuur 5.6 laat de met SWAP berekende cumulatieve **drainage- en infiltratiefluxen** zien en de verschillen hierin tussen Referentie en Drains voor de simulaties met gelijke maaiveldhoogte en slootpeilen. In Tabel 5.4 zijn de jaartotalen samengevat. De verschillen zijn alleen voor de drainage in 2011 substantieel. De infiltratie is in absolute zin erg laag en de verschillen tussen Drains en Referentie dus ook. Dit is het gevolg van de lichte kwel die optreedt in het gebied. Voor infiltratie zijn de procentuele verschillen tussen Referentie en Drains wel groot en groter dan voor drainage. Relatief gezien hebben de drains een groter effect op de infiltratie van slootwater dan op de drainage. Maar in absolute zin heeft de veenbodem in deze redelijk natte zomers slechts een kleine infiltratiebehoefte door de kwel.

Tabel 5.4

Berekende totale drainage en infiltratie in 2011 en 2012 vergeleken tussen Referentie en Drains van De Keulevaart bij gelijke maaiveldhoogte en slootpeilen voor beide proefvelden, in mm per landoppervlakte.

Proefperceel	Drainage (mm)		Infiltratie (mm)	
	2011	2012	2011	2012
Referentie	381	410	41	5
Drains	446	430	53	13
Vershil	65	20	12	8
	17%	5%	28%	42%

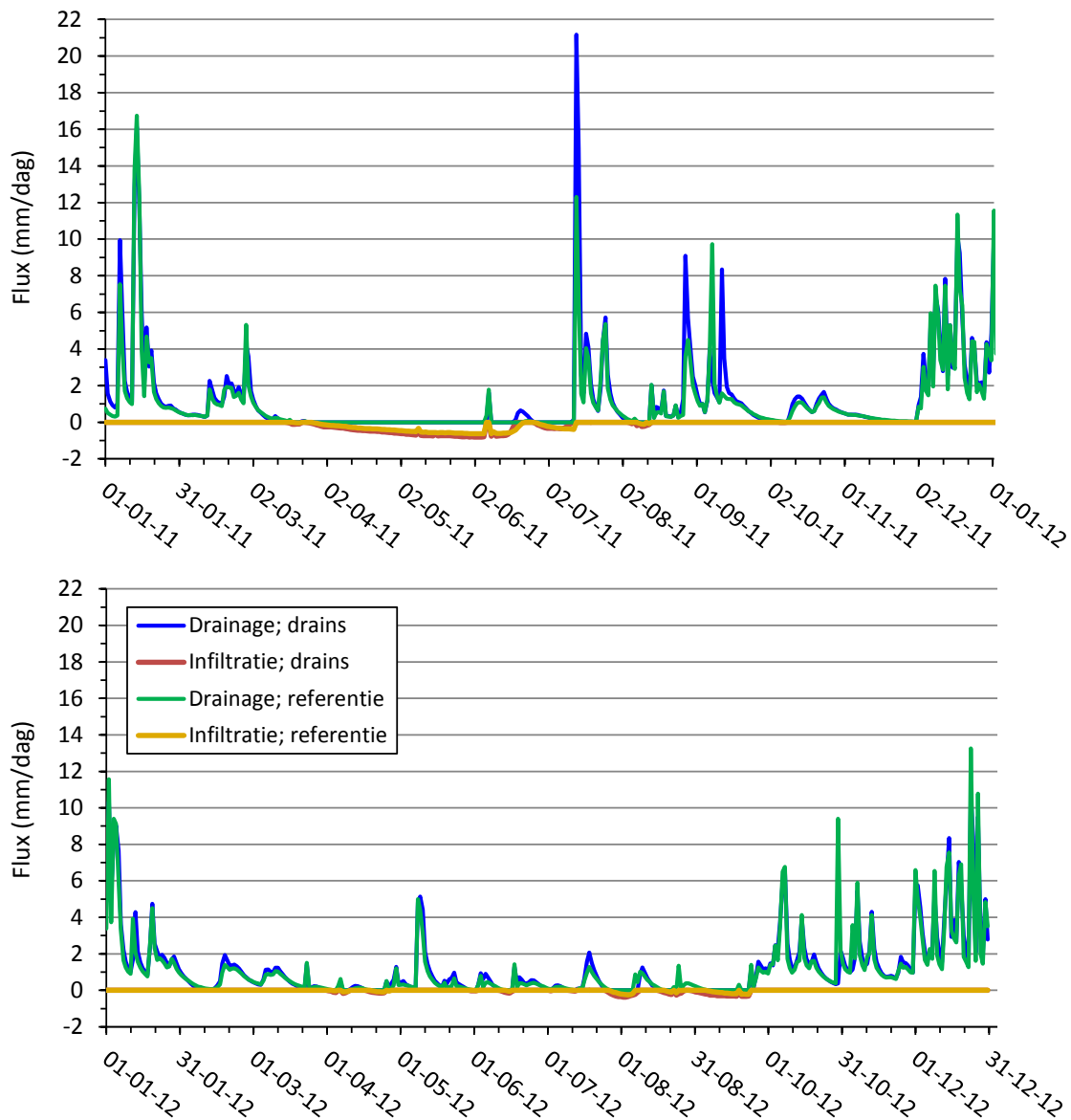
In Tabel 5.5 zijn de hoogste berekende pieken en de verschillen hierin tussen Referentie en Drains samengevat. De toename in drainagepieken zijn op dagbasis soms fors. Zoals de piek op 14 juli 2011 als gevolg van grote neerslagbuien op 13 en 14 juli, met een totaal van 52 mm. De piek neemt die dag toe door drains met 42% tot ruim 21 mm per dag. De grootste piek van 2012 bij Drains bedraagt 10,7 mm per dag op 24 december. Dit is 23% kleiner dan bij de situatie zonder drains. Maar liefst zes van de acht drainagepieken in 2011 en 2012 groter dan 10 mm per dag zijn groter bij Referentie dan bij Drains. Het procentuele verschil in piekhoogte van de drainagefluxen voor alle pieken groter dan 10 mm per dag bedraagt gemiddeld 17% en als mediaan -6%. Reden hiervoor is het drainage-mechanisme bij de proefvelden van De Keulevaart dat zeer effectief pieken kan afvoeren door gelijktijdige runoff, interflow en greppeldrainage. Bij gebruik van drains nemen deze dit systeem voor een groot deel over waardoor het afvoeren van de top van de piek in bepaalde gevallen iets trager verloopt. Bij beide situaties, met en zonder drains, moet het overtollige neerslagwater uiteindelijk worden afgevoerd. Afhankelijk van de voorgeschiedenis gebeurt dit met hogere of juist lagere pieken bij drains.

Tabel 5.5

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

Proefveld	Hoogste piek in drainage (mm d-1)		Hoogste piek in infiltratie (mm d-1)		
	2011	2012	2011	2012	
Referentie	12,3	13,2	0,63	0,22	
Drains	21,2	10,7	0,81	0,37	
Vershil	8,9	42%	-2,5	-23%	
			0,18	22%	
				0,15	41%

De effecten van drains op de pieken in infiltratie op dagbasis zijn relatief gezien groter dan bij drainage en altijd verhogend door drains. 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.



Figuur 5.7 Berekende drainagefluxen en infiltratiefluxen (negatief) op dagbasis voor Referentie en Drains van De Keulevaart bij gelijke maaiveldhoogte en slootpeilen voor beide proefvelden. Boven 2011, onder 2012.

5.1.2 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 bij de droge om lange droge zomers (zie subparagraaf 2.4.1.3 *Scenario's van extreme weerjaren*).

Voor beide soorten berekeningen zijn de eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem en het waterbeheer van het gebied aangehouden zoals die zijn verkregen van HH de Stichtse Rijnlanden en van de proefsloten. Van het areaal is 11% oppervlaktewater, dat tot stand komt door slootbreedten aan maaiveld van 5 m en perceelbreedten van 40 m. De slootdiepte bedraagt 1 m en de helling van het talud 1 : 1,5. Voor het waterbeheer is aangehouden: een winterpeil van -61 cm en een zomerpeil van -51 cm ten opzichte van maaiveld (streefpeil zomer -2,15m + NAP, streefpeil winter -2,25m + NAP, gemiddelde maaiveldhoogte -1,64 m + NAP). De drempels voor starten van wateruitslag en waterinlaat zijn respectievelijk 2 cm bovenop streefpeil en 5 cm onder streefpeil. Uitslag en inlaat stoppen als streefpeil is bereikt. De capaciteit van het gemaal bedraagt 12 mm per dag en van de waterinlaat 4,4 mm per dag.

5.1.2.1 Extreme neerslagbuien

Er zijn twee extreme buien uit de buienreeks 'r2050-14.rks' van HH Schieland en de Krimpenerwaard doorgerekend (zie subparagraaf 2.4.1.3 *b Scenario's van extreme weerjaren*):

1. Een bui van 48,5 mm op 13 juni 1953 in het 22^{ste} uur;
2. 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.

Met de gekalibreerde SWAP is voor beide buien de gehele periode doorgerekend. Hierbij is uitvoer op uurbasis gegenereerd. In Figuur 5.8 zijn voor de bui uit 1953 en in Figuur 5.9 voor de buienreeks uit 2002 de berekende oppervlaktewaterpeilen, de drainage/infiltratieflexen en de uitslagdebiëten van water gegeven voor Referentie en voor Drains. Ook zijn de verschillen tussen beide situaties gepresenteerd. De fluxen en debieten zijn hierbij uitgedrukt in mm per totaaloppervlakte (land+water) per dag. In Tabel 5.6 zijn de belangrijke termen van de oppervlaktewaterbalans voor deze analyse samengevat: drainage uit de veenbodem en uitslag uit het gebied. Ook is het aantal draaiuren van het gemaal gegeven.

Tabel 5.6

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

Bui		Referentie			Drains			Drains minus Referentie					
Jaar	Periode	Drain. (mm)	Uitslag (mm)	Draaiuren (uur)	Drain. (mm)	Uitslag (mm)	Draaiuren (mm)	Drainage (mm %)	Uitslag (mm %)	Draaiuren (uur %)			
1953	8/6-18/6	36	38	76	38	41	82	2	6	3	7	6	7
2002	10/6-14/8	142	151	302	147	157	314	5	4	6	4	12	4

De figuren 5.8 en 5.9 en Tabel 5.6 laten zien dat kwantitatief het effect van drains op de verwerking van de grote hoeveelheden water van extreme buien met maximaal 7% toename nogal beperkt is. Dit maximum treedt op bij de grootste bui uit 1953 nemen. In de periode met buien uit 2002 is de toename van alle grootheden met 4% bijna een factor twee kleiner. De redenen voor het beperkte effect van de drains op de uitslag zijn:

1. Neerslag direct op het oppervlaktewater is bij beide situaties (met en zonder drains) gelijk en substantieel door het grote aandeel oppervlaktewater van 11%. 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;

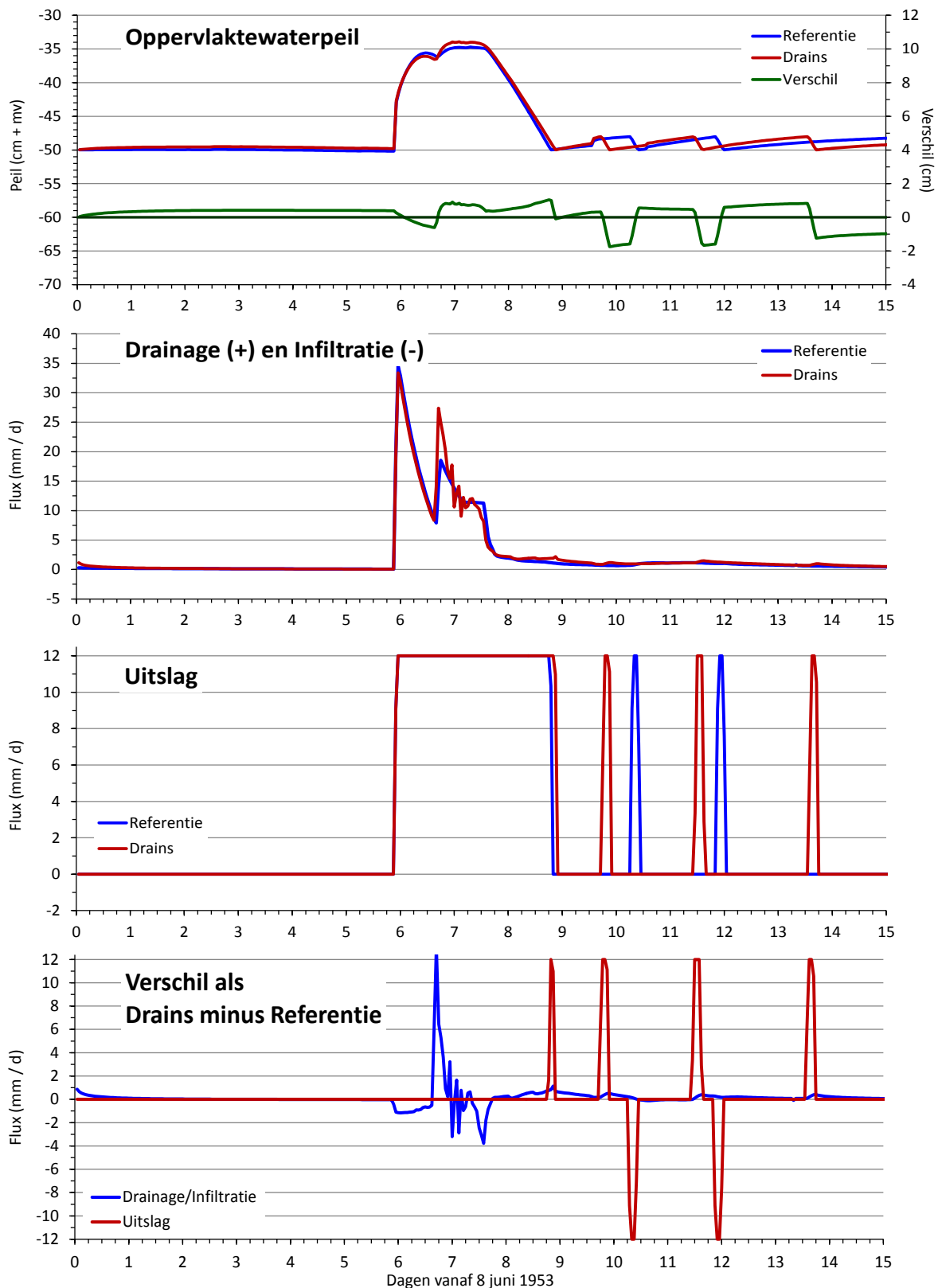
3. De bergingsmogelijkheid in de sloot is vaak groter bij Drains (lager peil) omdat het peil door grotere infiltratie verder uitzakt, waardoor extra berging voor buien wordt gecreëerd. De verhouding land : oppervlaktewater is 9. Dat betekent dat elke cm peilverschil in het oppervlaktewater 1,1 mm afvoer 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 lijkt hier toch niet zo'n grote rol te spelen;
4. De grotere stijging van het peil bij Drains dempt de drainage meer: het potentiaalverschil tussen grondwaterstand en peil is dan kleiner, ook door de lagere grondwaterstanden bij Drains;
5. De grotere stijging van het peil bij Drains geeft meer wegzijging of minder kwel direct vanuit of naar de sloot. In dit geval is deze toename vrijwel 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.

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 een minimale drooglegging van 35 cm in 1953 en van 39,7 cm bij de grootste bui van 2002. Bij onderwaterdrains komt hier maximaal 0,8 cm bovenop tot een minimale drooglegging van 34,2 cm bij de bui van 1953, en met 0,9 cm tot een minimale drooglegging van 38,8 bij de grootste bui van 2002. Het hogere peil bij Drains dan de top van Referentie in 1953 duurt slechts enkele uren, en binnen een paar dagen is dit terug gebracht naar nul en is streefpeil bereikt. De vraag voor de waterbeheerder is of deze extra stijging acceptabel is.

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% areaal met drains'. In de werkelijkheid zal dat percentage drains kleiner zijn. Om antwoord op deze vraag te krijgen is het nodig om het gehele peilgebied waarin de pilot ligt (Peilvak 9) met een hydraulisch netwerkmodel door te rekenen waaraan een neerslag-afvoermodule 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.

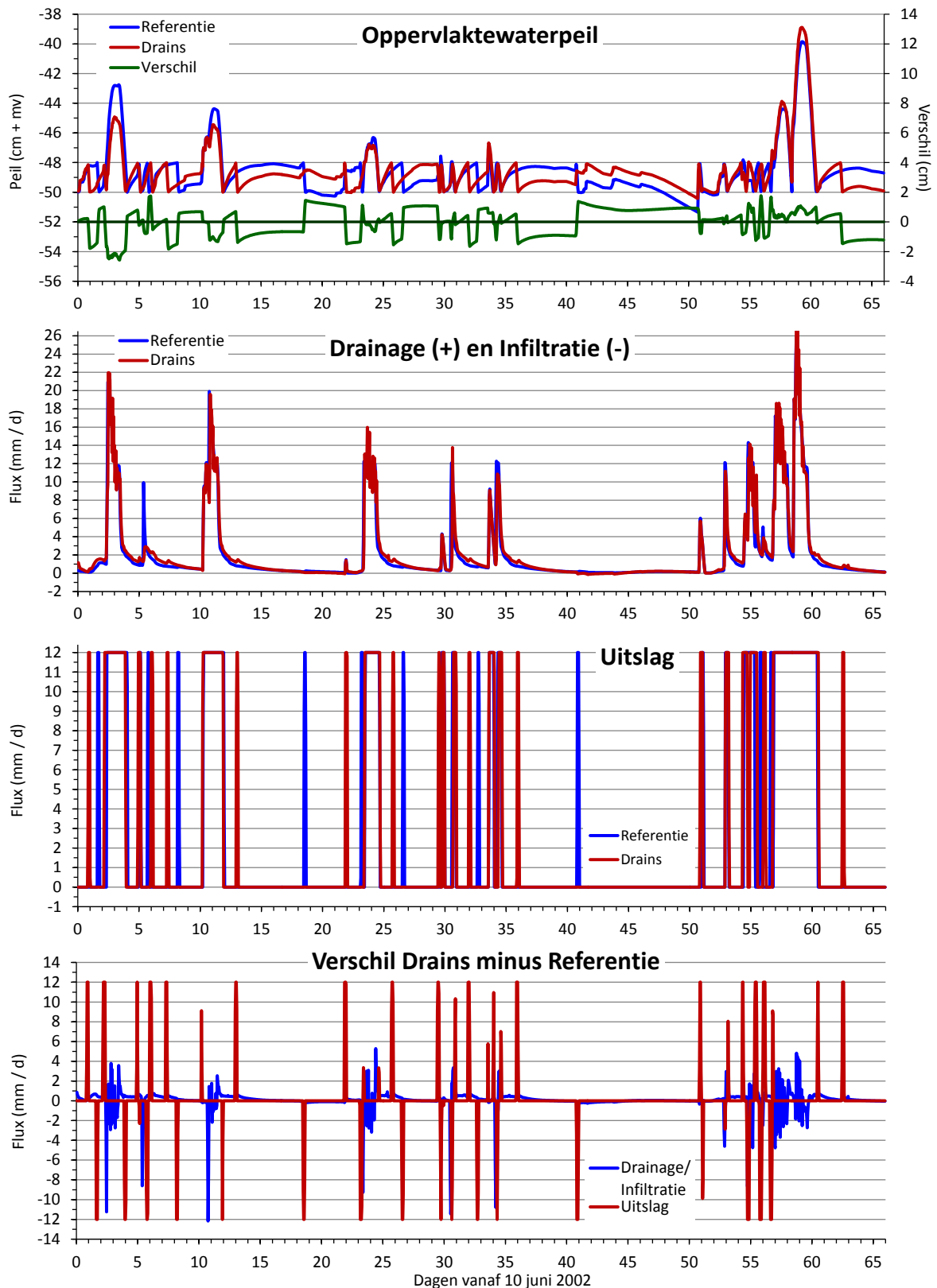
Daarnaast speelt peilbeheer een belangrijke rol bij het ontstaan van een extra peilstijging als gevolg van drains bij grote, intensieve buien. Door te anticiperen op neerslagvoorspellingen voor de korte termijn, die tegenwoordig steeds accurater worden, en bijvoorbeeld 'voor te malen' wordt extra bergingsruimte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

Ook is het zo dat bij Drains deze tijdelijk geringere drooglegging van 2 cm 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 Figuur 5.14. Bij Referentie blijft het water daardoor langer in de bodem wat bij nieuwe neerslag weer eerder tot snelle afvoer via *runoff* en greppelafvoer.

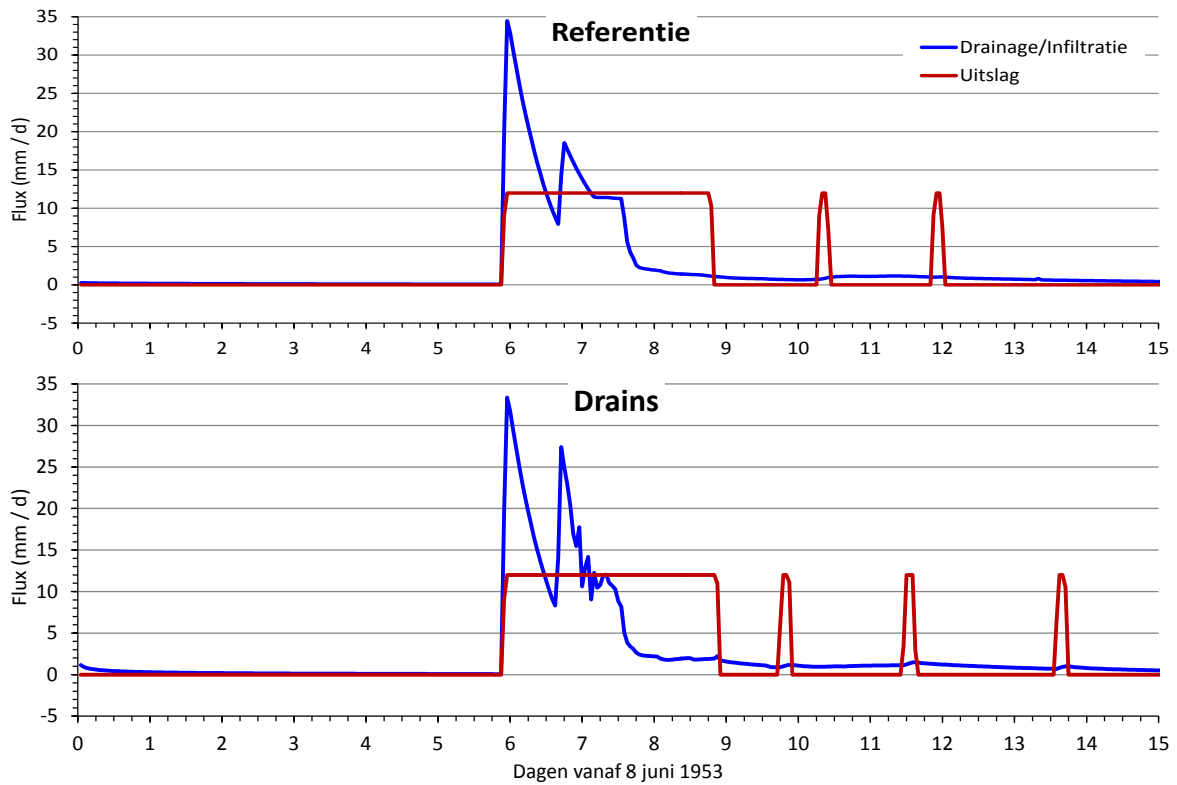


Figuur 5.8 Berekende oppervlaktewaterpeil, drainage/infiltratie en uitslag van water voor Referentie en Drains van De Keulevaart en de verschillen daartussen, voor bui '13 juni 1953'. Fluxen en debieten zijn uitgedrukt in mm **totaaloppervlakte** (land+water) per dag.

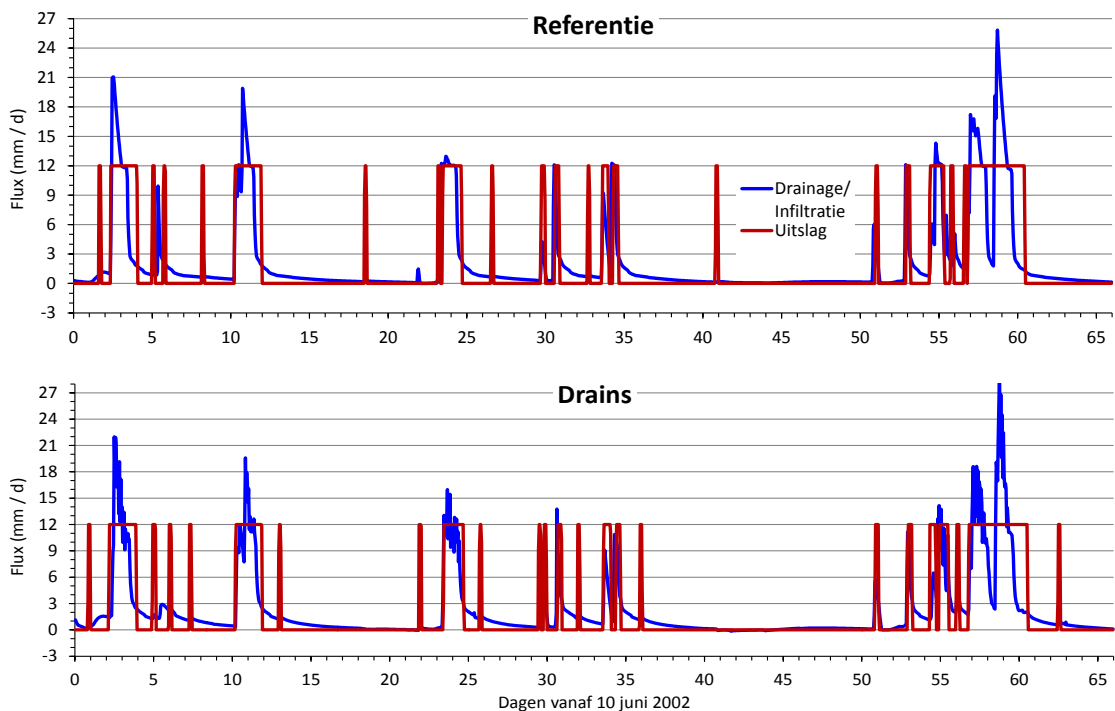
Het blokpatroon bij peil en uitslag in de staart van de afvoer na de grote bui van 1953 is het gevolg van de langzame drainage in die staart, waardoor het peil herhaaldelijk boven streefpeil plus drempel van 2 cm uitkomt en het gemaal weer automatisch aanslaat. Dit patroon is typisch voor dit gebied met (lichte) kwel.



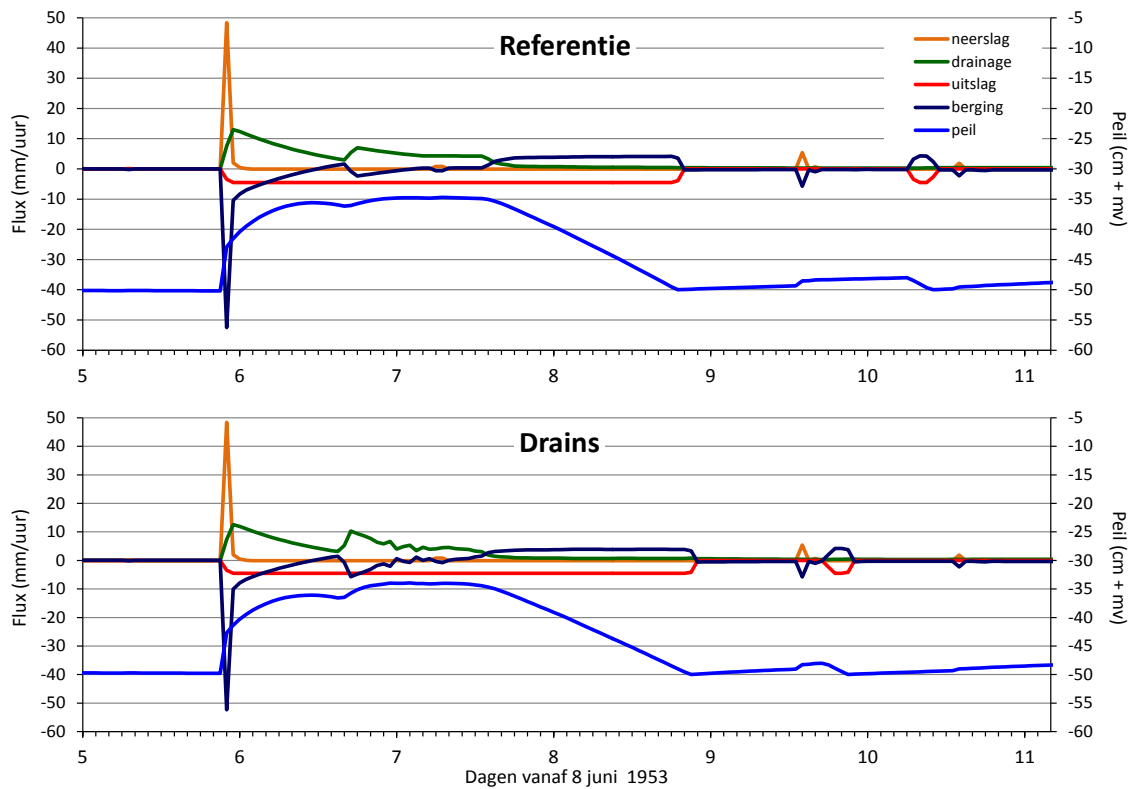
Figuur 5.9 Berekende oppervlaktewaterpeil, drainage/infiltratie en uitslag van water voor Referentie en Drains van De Keulevaart en de verschillen daartussen, voor de buien van 10 juni t/m 14 augustus 2002. Fluxen en debieten zijn uitgedrukt in mm **totaaloppervlakte** (land+water) per dag.



Figuur 5.10 Berekende verloop van drainage/infiltratiefluxen en uitslagdebieten onderling vergeleken voor Referentie en Drains van De Keulevaart, voor bui '13 juni 1953'. Fluxen en debieten zijn uitgedrukt in mm **totaaloppervlakte** (land+water) per dag.



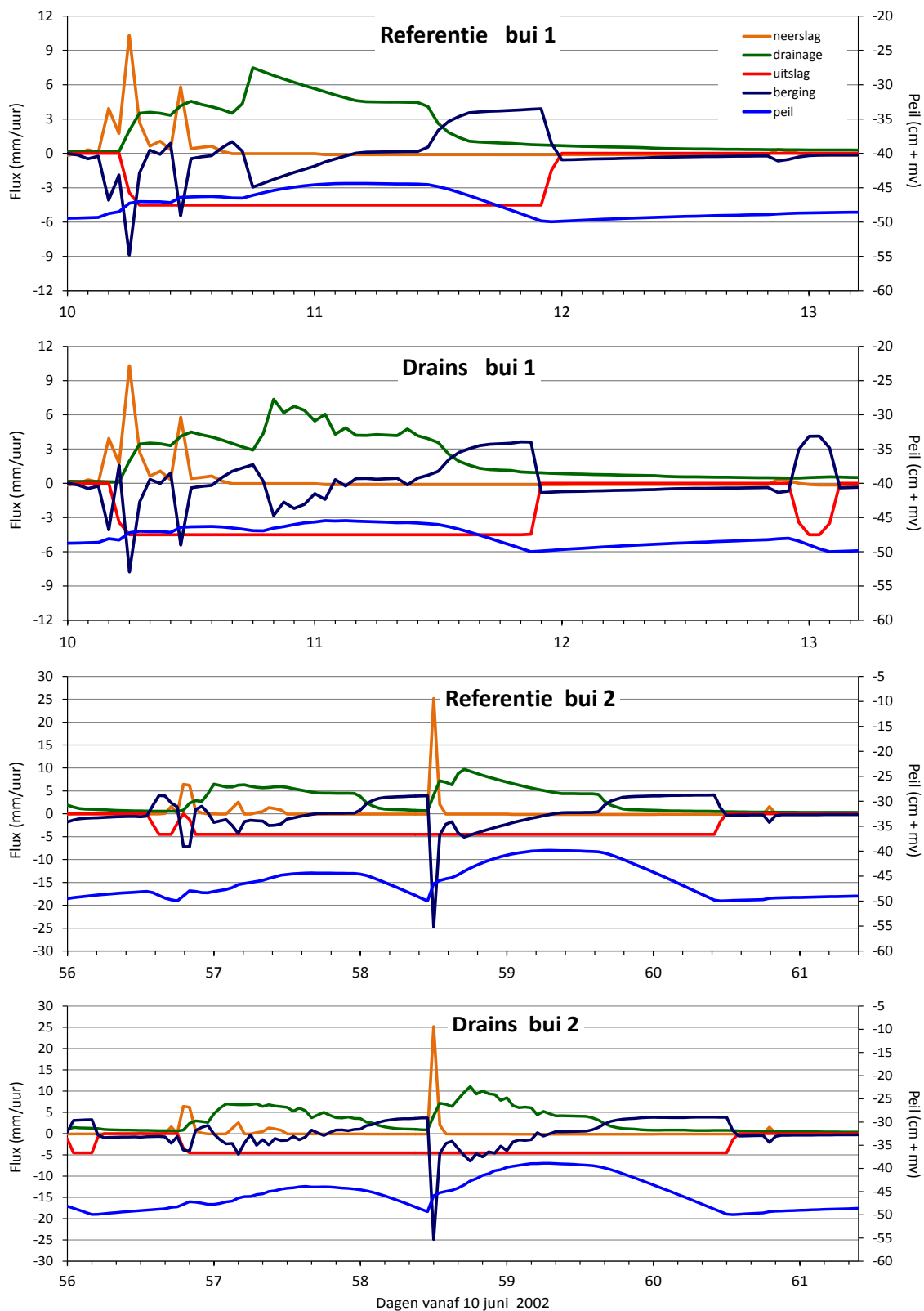
Figuur 5.11 Berekende verloop van drainage/infiltratiefluxen en uitslagdebieten onderling vergeleken voor Referentie en Drains van De Keulevaart, voor de buien van 10 juni t/m 14 augustus 2002. Fluxen en debieten zijn uitgedrukt in mm **totaaloppervlakte** (land+water) per dag.



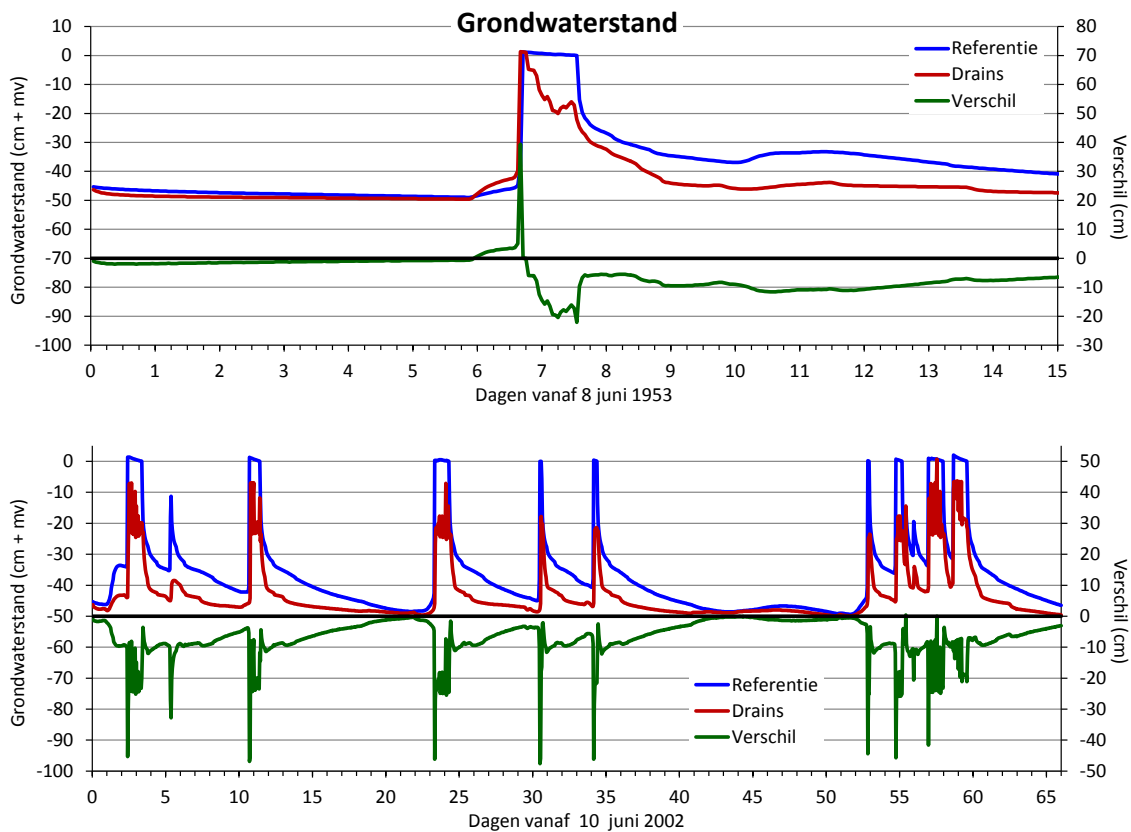
Figuur 5.12 Berekende verloop van de belangrijkste balanstermen van het oppervlaktewater, en het oppervlaktewaterpeil voor Referentie en Drains van De Keulevaart, voor bui '13 juni 1953'. Fluxen en debieten zijn uitgedrukt in mm **slootoppervlakte** per uur.

Figuren 5.12 en 5.13 tonen de dynamiek van de belangrijke balanstermen van het oppervlaktewater. De resultaten zijn op uurbasis en de fluxen in mm per slootoppervlakte per uur. Interessante bevindingen die uit deze figuren spreken zijn:

- 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;
- De relatie tussen peil en bergingsverandering en de overige in- en uitgaande termen is goed zichtbaar;
- 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 bergingsstoeiname van het oppervlaktewater.



Figuur 5.13 Berekende verloop van de belangrijkste balanstermen van het oppervlaktewater en het oppervlaktewaterpeil voor Referentie en Drains van De Keulevaart, voor twee van de buien van 10 juni t/m 14 augustus 2002. Fluxen en debieten zijn uitgedrukt in mm **slotoppervlakte** per uur.

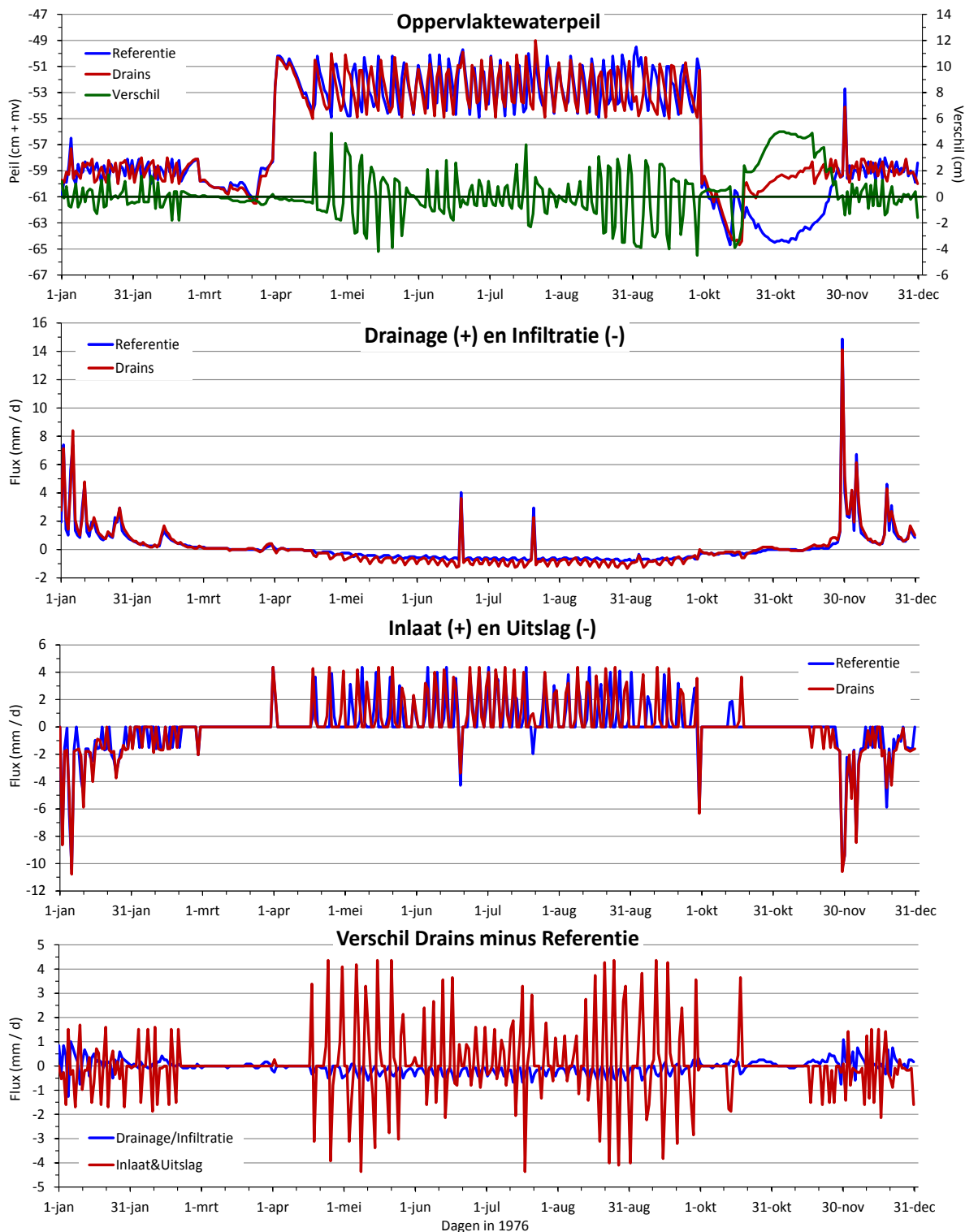


Figuur 5.14 Berekende verloop van de grondwaterstand voor Referentie en Drains van De Keulevaart, voor de buien '13 juni 1953' en '10 juni t/m 14 augustus 2002'.

Figuur 5.14 toont de gesimuleerde grondwaterstanden van Referentie en Drains en het verschil hier tussen voor beide perioden met buien. Het gaat om 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) grondwaterstandsverlagingen tot gemiddeld ruim 10 cm en maximaal ruim 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 tijdwinst door de grondwaterstand sneller uit en onder maaiveld te trekken. Het grondwaterstandverschil piekt in eerste instantie bij drains omdat er dan infiltratie plaatsvindt door de stijging van het slootpeil. 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 (ruim 11%) 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 2 cm en een toename van het aantal draaiuren van het gemaal met 4-7%. Met drains wordt het streefpeil enkele uren later bereikt dan zonder. Bij hevige buien van een omvang en intensiteit als de doorgerekende treedt direct plasvorming op en schiet de grondwaterstand binnen enkele uren tot in het maaiveld. Een voordeel van drains is dan een circa vijf dagen snellere daling van de grondwaterstand vanuit het maaiveld tot een niveau dat geschikt is voor beweiding en berijden.

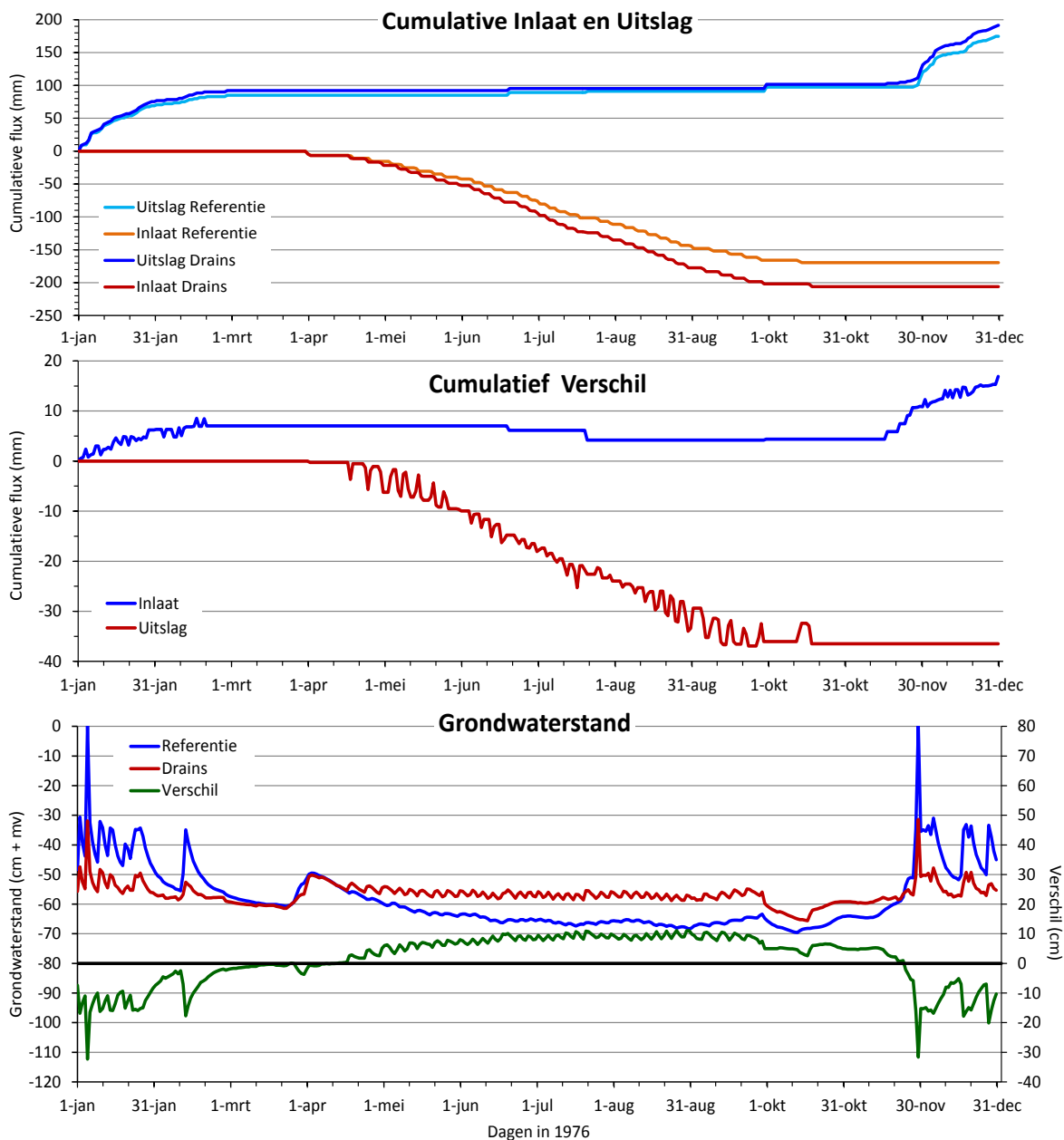


Figuur 5.15 Berekende oppervlaktewaterpeil, drainage/infiltratie en inlaat/uitslag van water voor Referentie en Drains van De Keulevaart en de verschillen daartussen voor 1976. Fluxen zijn uitgedrukt in mm **totaloppervlakte** (land+water) per dag.

5.1.2.2 Droge en natte jaren

Droge jaren 1976 en 2003

In figuren 5.15 en 5.16 zijn voor het zeer droge jaar 1976 de effecten van drains op oppervlaktewaterpeil, drainage en infiltratie, inlaat en uitslag, en grondwaterstand getoond. Deze resultaten voor 2003 laten hetzelfde beeld zien, alleen is daarin de droge periode in voorjaar en zomer wat korter. In Tabel 5.7 worden de belangrijke resultaten voor beide jaren samengevat.



Figuur 5.16 Berekende cumulatieve hoeveelheid inlaat en uitslag van water en het verloop van de grondwaterstand voor Referentie en Drains van De Keulevaart, en het verschil daartussen voor 1976. Debieten zijn uitgedrukt in mm **totaaloppervlakte** (land+water) per dag.

Waterinlaat

De drains hebben een groot effect op de infiltratie van slotwater 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 33% en de toename van de inlaat bruto 22%. In absolute cijfers bedraagt de netto toename 35 mm respectievelijk 36 mm (per oppervlakte 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 maximale geval 131% bedraagt van de referentiegewasverdamping. Aangezien de grootte van deze verhoogde verdamping gelijk is voor beide situaties, Referentie en Drains, is de toename van de inlaat door vergrote infiltratie relatief kleiner dan de toename van de infiltratie.

Tabel 5.7

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

Situatie IN	Com- pen- satie	Referentie			Drains			Drains minus Referentie					
		Infiltratie (mm)	Inlaat (mm)	Inlaattijd (uur)	Infiltratie (mm)	Inlaat (mm)	Inlaattijd (uur)	Infiltratie (mm %)	Inlaat (mm %)	Inlaattijd (uur %)	Infiltratie (mm %)	Inlaat (mm %)	Inlaattijd (uur %)
2003	niet	98	160	868	133	196	1065	36	37	36	23	197	23
1976	niet	104	170	923	139	206	1121	35	33	36	22	198	22
1976	wel	138	205	1114	186	258	1401	48	35	53	26	287	26
verschil	mm	34	35	191	47	52	280	13	2	17	4	89	4
verschil	%	33	21	21	34	25	25	37		46		46	
UIT	Comp. satie	Drainage (mm)	Uitslag (mm)	Draaiuren (uur)	Drainage (mm)	Uitslag (mm)	Draaiuren (uur)	Drainage (mm %)	Uitslag (mm %)	Draaiuren (uur %)			
											Drainage (mm %)	Uitslag (mm %)	Draaiuren (uur %)
2003	niet	130	145	290	149	163	326	18	14	18	12	36	12
1976	niet	151	175	349	166	191	384	15	10	17	10	35	10
1976	wel	148	172	343	162	189	380	14	10	18	10	36	10
verschil	mm	-21	-30	-59	-17	-28	-58	-1	0	-1	0	-1	0
verschil	%	-14	-17	-17	-10	-15	-15	-7		-5		-5	

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 situaties (met en zonder drains) gelijk en substantieel door grote aandeel oppervlaktewater en verkleint daardoor het relatieve effect van extra infiltratie bij drains;
2. Grotere daling van het peil bij drains dempt de infiltratie meer (kleiner potentiaal verschil, ook door hogere grondwaterstanden bij drains);
3. Grotere daling van het peil bij drains geeft meer kwel of minder wegzijging direct vanuit de sloot (in dit geval zeer gering effect);
4. Berging in het oppervlaktewater buffert de extra infiltratie bij drains; dit is substantieel door het grote aandeel oppervlaktewater.

In Tabel 5.7 zijn voor 1976 ook resultaten van berekeningen getoond waarbij een hogere actuele gewastranspiratie is gesimuleerd. Momenteel is de discussie of (agro)hydrologische modellen in staat zijn de actuele grasverdamping onder zeer droge omstandigheden correct te simuleren. Het idee bestaat dat de modellen de actuele verdamping onder die omstandigheden onderschatten. Daarom zijn berekeningen gedaan waarbij de gewasverdamping is verhoogd doordat wortels compenseren voor vochttekort door meer water te onttrekken uit diepere lagen. De verhoogde gewasverdamping bedraagt 404 mm bij Referentie en 436 mm bij Drains tegen de oorspronkelijke gewasverdamping van 351 mm bij Referentie en 370 mm bij Drains. Deze waarden geven aan dat in droge tijden drains het vochttekort gedeeltelijk kunnen compenseren. Tabel 5.7 laat zien dat het verschil in inlaat tussen Referentie en Drains hierdoor met 17 mm of 46% toeneemt. Relatief is de toename veel kleiner, 4 procentpunten, omdat de inlaat bij Referentie ook met 35 mm of 21% toeneemt. Bij Drains is de toename 52 mm of 25% is. Het is niet duidelijk welke berekeningen het meest realistisch zijn.

Resultaten voor het gehele jaar

Resultaten zijn op dagbasis met fluxen in mm per totaal oppervlakte (land +water) per dag. Het meest opvallende is dat ook de toename in de uitslag gedurende het gehele jaar relatief groot is, in ieder geval groter dan bij de extreme buien: met 12% anderhalf keer zo groot als bij de extreme buien. Dit is enerzijds het effect van de langere periode ten opzichte van de buien waarbij 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.

Grondwaterstanden

In Figuur 5.16 gaat het om 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 in de zomer niet wordt bereikt. De 'winst' door drains bedraagt dan maximaal 10 cm. Dit is minder dan bij de Demmeriksekade omdat De Keulevaart een kwelgebied is. De 'winst' door drains in termen van verlagen grondwaterstand in natte perioden bedraagt maximaal 33 cm

Nat jaar 1981

Tabel 5.8 vat de belangrijke resultaten samen van de berekeningen naar de effecten van onderwaterdrains op oppervlaktewaterpeil, drainage en infiltratie, en inlaat en uitslag voor het zeer natte jaar 1981.

Tabel 5.8

Berekende termen van de waterbalans van het oppervlaktewater voor Referentie en Drains van De Keulevaart en het verschil daartussen, voor het natte jaar 1981. Termen zijn in mm per oppervlakte 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 %)	UIT	Drainage (mm)	Uitslag (mm)	Draaiuren (uur)	Drainage (mm %)	Uitslag (mm %)	Draaiuren (uur %)
		48	70	380	68	89	482	20	41	19	27	102	27				
		468	500	1000	500	533	1067	32	7	33	7	67	7				

De relatieve toename van de uitslag van water en de draaiuren van het gemaal door drains liggen in dezelfde orde van grootte als bij de extreme buien (4-7%). 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 kleiner dan bij de droge jaren 1976 en 2003 (10-12%). In absolute zin is de toename in uitslag wel groter (bijna twee keer) dan bij de droge jaren. 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 27% wat 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 53% van die van (extreem) droge jaren 1976 en 2003. Ook hier is de verklaring voor de grote relatieve toename de geringe basisinlaat bij Referentie van 1981.

Alle doorgerekende scenario's wijken 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 geanticipeerd 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 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 opper-

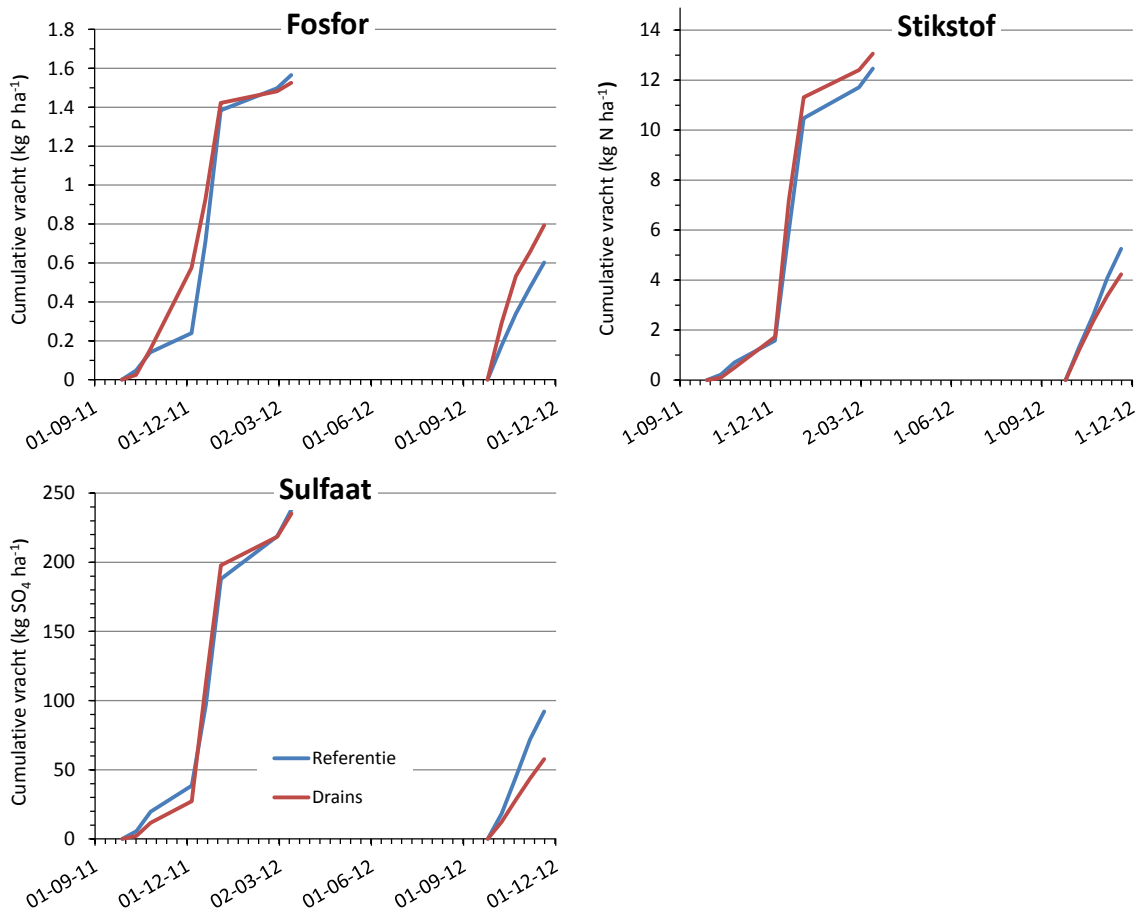
vlaktewater kan deze sturing bij drains beter dan zonder drains: met drains is in kortere tijd een extra berging in de veenbodem te creëren.

De effecten op de grondwaterstand zijn in dit natte jaar vooral een verlaging in natte tijden van maximaal 35 cm. Maar ook vindt verhoging van de grondwaterstand plaats door drains in de relatief droge perioden tot maximaal 15 cm.

5.2 Nutriënten

5.2.1 Analyse veldonderzoek

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



Figuur 5.17 Vrachten van fosfor, stikstof en sulfaat in de wintermaanden uitgepompt uit de meetsloten van Referentie en Drains van De Keulevaart.

5.2.1.1 Afwenteling

Voor de 'afwenteling' is gebruik gemaakt van de gemeten uitpompdebieten en debietproportionele concentraties. Eerst is gekeken vanaf welk tijdstip in de uitspoelingsperiode de hoeveelheid water in de meetsloten twee keer was 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 5.3 en 5.4 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 omzettingprocessen in slotwater en -bodem door de lage temperaturen in dit halfjaar. Wel moet de debietproportionele uitpompconcentratie worden 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 mg L⁻¹; voor fosfor en sulfaat is deze concentratie verwaarloosbaar geacht (Hendriks en Van den Akker, 2012).

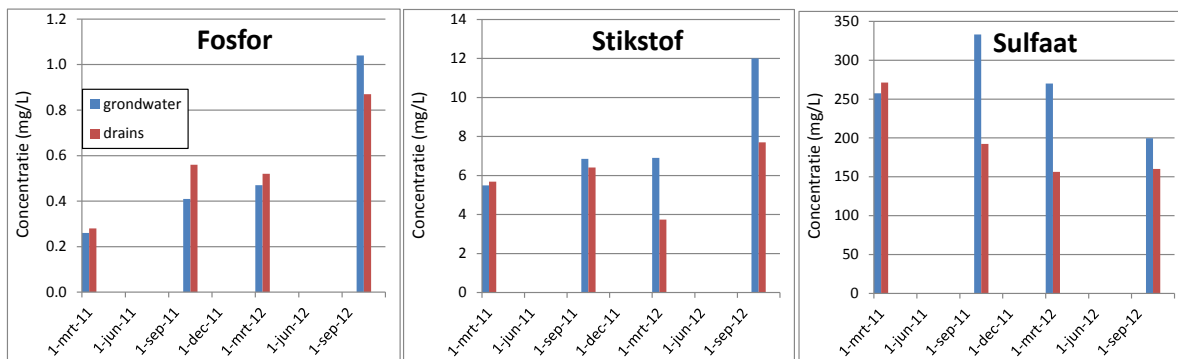
De resultaten zijn gegeven in Figuur 5.17 en samengevat in Tabel 5.9. Te zien is dat Referentie en Drains elkaar weinig ontlopen in grootte van (cumulatieve) vrachten en in de tijd tegengesteld gedrag laten zien voor wat betreft het verschil tussen Drains en Referentie. Hoewel de verschillen niet erg groot zijn. Bij fosfor is een lichte toename te zien van de vracht met 7% en bij stikstof en sulfaat is een lichte afname van respectievelijk 2% en 11% te zien. Voor de gemiddelde uitspoelingsconcentraties vertonen fosfor en stikstof een toename van 16% respectievelijk 9%. Sulfaat laat een lichte afname van 2% zien. Bij de vrachten moet worden bedacht dat deze gesommeerd niet de gehele uitspoelingsperiode beslaan en dus niet de totale uitspoelingsvracht geven.

Tabel 5.9

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

Parameter	Referentie			Drains			Drains minus Referentie					
	fosfor	stikstof	sulfaat	fosfor	stikstof	sulfaat	fosfor	stikstof	sulfaat	fosfor	stikstof	sulfaat
Vracht (kg per ha land)	2,17	17,7	330	2,32	17,3	293	0,15	7%	-0,4	-2%	-37	-11%
Uitpompconc. (mg L ⁻¹)	0,57	4,6	86	0,69	5,1	87	0,12	20%	0,5	11%	1	1%
Uitspoelconc. (mg L ⁻¹)	0,76	5,8	115	0,88	6,3	113	0,12	16%	0,5	9%	-2	-2%

Voor aan deze meetresultaten (te) zware conclusies te verbinden moet goed 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. Dit inbrengen betekent voor de hoogreactieve veenbodem een verstoring van de fysio-biochemische toestand rond drains die enkele jaren kan duren. De conclusies aan de hand van deze metingen zijn daarom vooral richtinggevend. Voorlopig lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat voor nutriëntentema 'afwenteling' er geen wezenlijke effecten van drains zijn op de afwenteling van fosfor, stikstof en sulfaat.



Figuur 5.18 Gemeten concentraties van fosfor, stikstof en sulfaat in de drains van Drains en in het bovenste grondwater van Referentie.

Om meer inzicht te krijgen in de uitspoeling is Figuur 5.18 opgenomen. Hierin zijn concentraties getoond van incidenteel genomen monsters van het bovenste grondwater uit grondwaterstandsbuizen bij Referentie en van het drainwater bij Drains. In Tabel 5.10 zijn de gemiddelden waarden per nutriënt-herkomst-combinatie gegeven. In algemene zin lijkt het of de verschillen tussen grondwater en drains toenemen in de tijd. In 2012 zijn de concentraties overwegend hoger in het grondwater. Dit is het duidelijkst bij stikstof gevolgd door sulfaat. Bij fosfor is het verschil het geringst. Bij stikstof en sulfaat zijn de verschillen substantieel. Opvallend bij sulfaat zijn de afnemende concentraties in de tijd, vooral bij drains. Dat kan het gevolg zijn van uitloging van het sulfaat in de veenbodem bij achterblijvende productie van sulfaat door pyrietoxidatie in het zeer natte jaar 2012.

Tabel 5.10

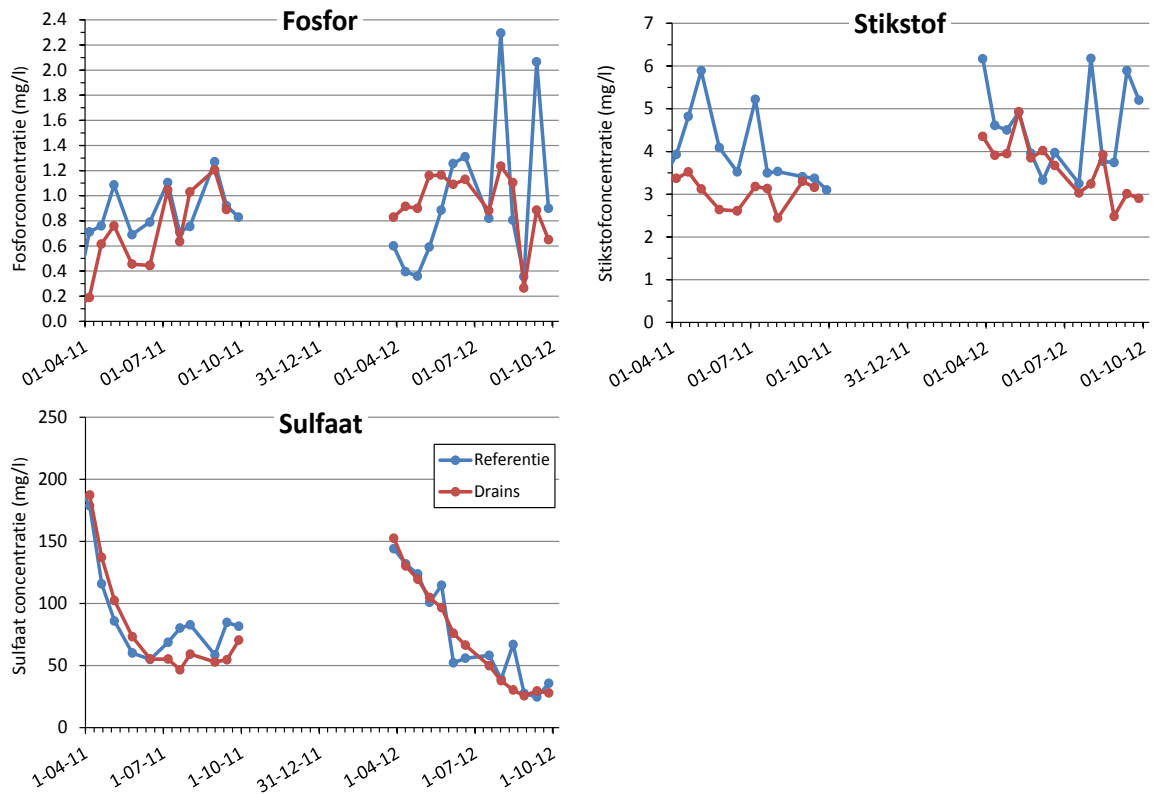
Gemiddelde gemeten concentraties van fosfor, stikstof en sulfaat (mg L^{-1}) in het bovenste grondwater en in de drains, van Figuur 5.18.

	Fosfor	Stikstof	Sulfaat
Bovenste grondwater	0,55	8,0	265
Drains	0,56	5,9	195

Als de concentraties van de metingen uit grondwater en drains goede indicatoren zouden zijn voor de uitspoelingsconcentraties uit de veenbodem dan zouden ze overeen moeten komen met de waarden geschat voor uitspoelingsconcentraties uit de debietproportionele monsters van Tabel 5.9. Bij fosfor zijn de waarden van Tabel 5.10 veel te laag, behalve in september 2012 als ze in de juiste orde van grootte liggen. Bij stikstof zou dat kloppen voor Drains, maar niet voor Referentie waarvoor de grondwaterconcentraties te laag zijn. Voor de sulfaatconcentraties in grond- en drainwater geldt het zeker niet; die zijn veel hoger (factor 2 of meer) dan de geschatte uitspoelingsconcentraties.

Mogelijke oorzaken van de verschillen tussen gemeten concentraties in drains en grondwater en de geschatte uitspoelingsconcentraties zijn het concentratieverloop in de tijd van het uitspoelend water dat sterk verandert, processen die in het oppervlaktewater spelen waardoor de concentraties in de sloot sterk veranderen na uitspoeling en dat het bemonsterde grond- en drainwater niet alleen het uitspoelende water vertegenwoordigt. Dat laatste zal vooral gelden voor het grondwater.

Dat er nog processen in het oppervlaktewater en in de waterbodem van belang zijn, ook in het koudere winterhalfjaar, kan een verklaring zijn voor de wat grotere fosfor- en stikstofconcentraties bij Drains van Tabel 5.9. Een groot verschil tussen uitspoeling via de sloot en via drains is dat bij drains het drainwater direct in het oppervlaktewater komt, terwijl bij uitspoeling direct naar de sloot de water-bodem wordt doorstroomd. Hendriks en Van den Akker (2012) becijferden dat bij onderwater-drains 50%-80% van de ontwatering via drains verloopt en niet via waterbodem of slootwand. Bij doorstroming van de waterbodem in de winterperiode met meestal aerobe omstandigheden in het



Figuur 5.19 Gemeten concentraties van fosfor, stikstof en sulfaat in het oppervlaktewater van de meetsloten van Referentie en Drains van De Keulevaart, in de zomermaanden.

bovenste deel van de waterbodem kan fosfaat dat uitspoelt uit de veenbodem worden vastgelegd in de waterbodem. Van Gerven et al. (2011) schatten het aandeel dat wordt vastgelegd op 10%-20% van de hoeveelheid fosfor die uitspoelt. Daarmee kan de 20% grotere fosforconcentratie bij Drains van Tabel 5.9 worden verklaard.

5.2.1.2 Zomerwaterkwaliteit

Figuur 5.19 laat de gemeten nutriëntenconcentraties in de twee meetsloten zien gedurende het zomerhalfjaar, de periode waarvoor de waterkwaliteitsnormen gelden. Hieruit komt een vergelijkbaar beeld als dat van de afwentelingsvrachten: verschillen zijn meestal klein en bijna nooit eenduidig. In Tabel 5.11 zijn statistische maten gegeven. De statistische maten geven aan dat alle nutriënten lagere concentraties hebben bij Drains. Dit geldt vooral voor fosfor en stikstof. Ook het tijdsbeeld suggereert deze verlaging. Hoewel dit beeld niet volledig eenduidig is. Vooral het verloop in de tijd van de fosfor- en stikstofconcentraties is bij Referentie veel piekeriger dan bij Drains, wat tot uitdrukking komt in de lagere standaardafwijking bij Drains. Dit is mogelijk het gevolg van afspoeling en ondiepe uitspoeling van meststoffen die kleiner zijn bij Drains.

Tabel 5.11

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

Statistische maat	Referentie			Drains			Drains minus Referentie					
	fosfor	stikstof	sulfaat	fosfor	stikstof	sulfaat	fosfor	stikstof	sulfaat			
Mediaan	0,79	4,0	82	0,87	3,3	71	0,08	10%	-0,7	-18%	-11	-13%
Gemiddeld	0,85	4,3	93	0,76	3,5	88	-0,09	-11%	-0,8	-19%	-5	-5%
Standaardafwijking	0,50	1,0	51	0,36	0,8	52	-0,14		-0,2		1	

Opvallend is dat sulfaat afneemt met de twee jaren. Dit kan worden verklaard door de uitspoeling in 2011 van door pyrietoxidatie gevormd sulfaat in de veenbodem in de natte tweede helft van 2011, terwijl 2012 nauwelijks een droge periode kent waardoor de sulfaatvorming door de nattere omstandigheden wordt geremd en de uitspoeling ook achterblijft. De afname gedurende het jaar is hoogstwaarschijnlijk het gevolg van sulfaatreductie in de anaerobe waterbodem. Hiermee hangt samen de toename in het jaar van de fosforconcentraties die door mobilisatie van fosfor uit de anaerobe waterbodem vrijkomen (o.a. Smolders *et al.*, 2006; Hendriks *et al.*, 2013).

Ook bij de conclusies over de effecten van drains op de zomerconcentraties geldt de kanttekening die is gegeven in de laatste alinea van subparagraaf 5.2.1.1 Afwenteling.

5.2.1.3 Scenario's van natte en droge jaren

In Tabel 5.12 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 5.9 (zie 2.4.2). Hierbij zijn de gemeten concentraties gesimuleerd met een afwijking kleiner dan 5%.

Tabel 5.12

Resultaten van de scenarioberekeningen van droog jaar 1976 en nat jaar 1981 voor De Keulevaart, 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 hiertussen. 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	Wel	Niet drain		Wel drain		net vracht		concentrat.	
		jaar	berg	zom	jaar	berg	zom	zom	zom	wint	zom	wint	zom	jaar	zom	wint	zom
Fosfor	1976	1.62	0.40	0.20	1.66	0.38	0.21	0.65	0.78	0.84	1.53	0.78	1.41	-0.10	-0.15	-0.06	-0.12
	1981	3.72	0.38	0.58	3.63	0.35	0.61	0.19	0.31	0.75	0.81	0.69	0.72	-0.22	-0.12	-0.06	-0.09
Stikstof	1976	13.4	3.0	2.5	13.78	2.9	2.7	3.3	3.95	6.4	19.3	6.00	17.7	-0.3	-0.6	-0.4	-1.6
	1981	34.5	3.5	5.7	29.15	2.7	5.6	0.9	1.6	6.9	8.0	5.3	6.6	-6.0	-1.5	-1.6	-1.4
Sulfaat	1976	271	75	4	221	56	5	67	81	158	31	116	34	-65	-32	-43	3
	1981	334	35	48	394	40	55	20	32	69	67	77	65	48	5	8	-2

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

Tabel 5.12 laat onder 'Verschilwaarden' zien wat de effecten van onderwaterdrains zijn. Alleen voor sulfaat berekent het model positieve waarden, wat negatieve effecten want toename van de belasting bij onderwaterdrains betekent. Dit geldt voor het natte jaar 1981. Gedurende het gehele jaar is de belasting 15% groter bij drains. Voor het grootste deel is dit een watereffect. Maar ook de gemiddelde uitspoelingsconcentratie op jaarbasis neemt toe met een kleine 10%. In het droge jaar betekent toepassing van onderwaterdrains een forse afname van de sulfaatbelasting met 32% volgens het model. Voor het grootste deel is dat het gevolg van het remmen van de pyrietoxidatie door de nattere omstandigheden bij drains in het droge en warme zomerhalfjaar. Maar ook door de toename van de infiltratie bij drains waardoor de netto belasting van het oppervlaktewater kleiner is. In Hendriks en Van den Akker (2012) wordt uitgebreid ingegaan op de mechanismen die deze veranderingen bij sulfaat teweeg brengen.

Voor fosfor en stikstof zijn de effecten van toepassen van onderwaterdrains altijd gunstig in de zin van afname van de belasting volgens het model. De afname is overwegend in de orde van 10-20%.

Uit de modelberekeningen van Hendriks en Van den Akker (2012) volgt dat een relatief grote drooglegging als in De Keulevaart van rond 60 cm gunstig is voor de fosfor- en stikstofbelasting bij toepassing van onderwaterdrains, maar ongunstig voor de sulfaatbelasting. Dit beeld geldt voor het gemiddelde van een dertigjarige reeks van weerjaren. Het komt voor sulfaat terug bij het natte jaar 1981. In een extreem droog jaar als 1976 is de vernattende werking van de drains juist bij een grotere drooglegging van groot belang om de sulfaatproductie door pyrietoxidatie te remmen.

5.2.2 Samenvattend

Het beeld dat uit de metingen volgt is dat de verschillen in nutriëntenbelasting tussen Drains en Referentie over het algemeen niet zo groot zijn. De jaarvrachten lijken een weinig toe te nemen door toepassing van drains, terwijl de uitspoelingsconcentraties en zomerconcentraties in de sloot in algemene zin lijken af te nemen. Verder is in het algemeen het beeld van verschillen tussen Referentie en Drains niet altijd consistent. De meetperiode is erg kort. De effecten van de twee typische meetjaren, 2011 met droog voorjaar en natte zomer, en 2012 het gehele jaar nat, werken sterk door in de meetresultaten. Waarschijnlijk nog belangrijker is dat de metingen aan Drains hebben plaatsgevonden na een zware verstoring rondom de belangrijkste afvoermiddelen, de drains. Door het inbrengen is de fysio-biochemische toestand rond de drains ernstig verstoord wat zeker zijn invloed zal hebben gehad op de meetresultaten. Dit kan enkele jaren duren. De verwachting is dat de verstoring de nutriënten eerder zal mobiliseren dan sterker vastleggen. De meetresultaten zijn daarom vooral richtinggevend. Als de vrachten en concentraties bij drains nu al lager zijn dan bij Referentie, dan is de verwachting dat ze in de toekomst verder zullen afnemen. Dat geldt voor de meeste parameters.

Het beeld van het model komt niet altijd overeen met dat van figuren 5.17 en 5.19 en tabellen 5.9 en 5.11. In de eerste plaats hebben de modelberekeningen betrekking op extreme jaren. Daarnaast geven de figuren en tabellen van de metingen geen directe informatie over gemeten belastingen vanuit de veenbodem maar meer over concentraties die ontstaan onder invloed van deze belasting in de sloten. Ook in de winter kunnen daar toch vastleggings- en omzettingsprocessen spelen. Zoals boven is verklaard voor vastlegging van fosfor. Dit wil niet zeggen dat de waarden van het model als de exacte waarheid moeten worden geïnterpreteerd. Ze kunnen beter worden beschouwd als richtinggevend. Ook zij geven een algemeen beeld van (lichte) vermindering van de nutriëntenbelasting bij toepassing van drains. Uitzondering vormt sulfaat in een uitgesproken nat jaar. Daaruit komt dat sulfaat in extreme meteorologische omstandigheden het meest kwetsbare nutriënt is. En dan vooral onder natte omstandigheden, zeker als die volgt na een droge warme periode.

6 Synthese van de analyse en evaluatie met modelonderzoek van de drie pilots

In dit hoofdstuk wordt een synthese gemaakt van de analyse en evaluatie met modelonderzoek van de drie onderwaterdrains-pilots van dit onderzoek. Dat zijn de twee in dit rapport beschreven pilots Demmeriksekade en De Keulevaart en de in een parallel rapport beschreven pilot de Krimpenerwaard (Van den Akker *et al.*, 2013). De drie pilots verschillen meer of minder sterk in een aantal belangrijke bepalende eigenschappen. De effecten van onderwaterdrains verschillen daarom tussen de pilots, zowel in de metingen en de modelmatige analyses daarvan als in de scenarioberekeningen. Het bij elkaar brengen van de resultaten van de drie pilots en het onderling vergelijken daarvan uitgaande van de overeenkomsten en verschillen, biedt meer algemeen inzicht in de effecten van onderwaterdrains op grondwaterstandbeïnvloeding, waterbeheer en nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater.

6.1 Verschillen en overeenkomsten in bepalende eigenschappen

De drie pilots verschillen in belangrijke eigenschappen die bepalend zijn voor de effecten van onderwaterdrains op grondwaterstandverloop, oppervlaktewaterpeil, waterinlaat en -uitslag en nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Deze zijn:

1. Bodemopbouw. De bodemhorizonten en hun afwisseling bepalen met hun eigenschappen in belangrijke mate het transport en de berging van water met opgeloste stoffen, gassen als zuurstof en warmte door de bodem, en voor water naar de sloten. Hierbij zijn vooral organischestofgehalte en lutumgehalte van belang. De bodemopbouw van Demmeriksekade en De Keulevaart zijn gegeven in bijlagen 1 en 3. Die van de Krimpenerwaard in Van den Akker *et al.* (2013). Het meest afwijkend is het kleidek bij De Keulevaart;
2. Bodemfysische eigenschappen van de bodemhorizonten. Deze bepalen transport en berging van water, gassen en warmte. Voor alle drie de pilots zijn ter plekke gemeten waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van de onderscheiden horizonten gebruikt. Ook hiervoor zijn die van het kleidek van De Keulevaart het meest afwijkend, met een grotere dichtheid, minder porievolume met kleinere poriën en een lagere doorlatendheid;
3. Bodemchemische eigenschappen. Het gehalte en de voorraad aan stikstof- en fosforverbindingen, koolstof, ijzer en aluminium, sulfaat en sulfiden als pyriet. Alle drie de percelen hebben eutroof veen in hun bodem. Het fosforgehalte en in mindere mate het sulfaatgehalte zijn erg laag bij Demmeriksekade;
4. De hydrologische setting waarin de percelen voorkomen. Dit slaat vooral op de onderrand. Demmeriksekade is een wegzijgingsgebied met een kleine weerstand voor verticale stroming van 280 dagen en een gemiddelde stijghoogte van zo'n 10 cm onder streefpeil. De Keulevaart kent lichte kwel in de zomer, als gevolg van een intermediaire weerstand van 780 dagen en een stijghoogte van het water in de eerste watervoerende laag tot net onder het streefpeil. De Krimpenerwaard kent een neutrale onderrand met een hoge weerstand van 1200 dagen en daardoor geringe waterbeweging over de onderrand van het systeem;
5. De perceelsinrichting. De perceelsbreedte bepaalt als slootafstand mede de weerstanden voor drainage en infiltratie door de veenbodem naar de sloot: grotere slootafstand geeft grotere weerstand. Verder is het wel of niet voorkomen van greppels en een holle of bolle ligging van de percelen van belang, vooral met het oog op snelle afvoer van neerslagpieken door greppeldrainage, *interflow* en oppervlakte-afstroming. De verhouding tussen perceelsbreedte en slootbreedte geeft het aandeel oppervlaktewater in het gebied dat in grote mate bepaalt hoe het gebied reageert op extreme weersomstandigheden als grote hevige buien en langdurige droogte. De Keulevaart heeft het kleinste aandeel oppervlaktewater van 11% met 40 m brede percelen en

5 m brede sloten. De Krimpenerwaard heeft het grootste aandeel oppervlaktewater, 16%, met perceelsbreedten van 34 en 30 m. Demmeriksekade heeft met 52 m de breedste percelen, maar ook de breedste sloten van 8 m breed. Het aandeel oppervlaktewater is met 13% daardoor intermediair. Krimpenerwaard heeft geen greppels, beide andere pilots wel. Demmeriksekade heeft een uitgesproken holle ligging als gevolg van de wegzijging;

6. De weerstanden voor drainage en infiltratie. Deze zijn afgeleiden van de punten 1, 2 en 5. De slootweerstand zijn het grootst bij Demmeriksekade door de brede percelen, en het kleinst bij Krimpenerwaard. Dit geldt ook voor de gekalibreerde weerstanden van de onderwaterdrains. Deze zijn het kleinst bij De Keulevaart (45 en 50 dagen), gevolgd door de Krimpenerwaard (48 en 56 dagen), en bij Demmeriksekade met de grootste weerstanden (51 en 60 dagen);
7. Het waterbeheer: Demmeriksekade en Krimpenerwaard hebben één streefpeil het jaar rond. De drooglegging bedraagt circa 45 cm. De Keulevaart heeft de grootste drooglegging met een winter- en zomerpeil dat een drooglegging geeft van 61 cm 's winters en 51 cm 's zomers;
8. Perceelsgebruik. Alle drie de percelen werden gebruikt voor beweiding en maaien. Alle drie werden bemest met drijfmest, kunstmest en weidemest.

6.2 Effecten van onderwaterdrains

6.2.1 Grondwaterstanden

Tabel 6.1 geeft de effecten van onderwaterdrains op de grondwaterstanden in termen van verhoging in droge perioden en verlaging in natte perioden.

Tabel 6.1

Gemeten en berekende grondwaterstandverhogingen en verlagingen door onderwaterdrains. Het betreft perceelsgemiddelde grondwaterstanden.

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

De Keulevaart en de Krimpenerwaard halen door toepassing van onderwaterdrains nagenoeg hetzelfde resultaat voor verhoging en verlaging van de gemiddelde grondwaterstanden. Demmeriksekade heeft de beste resultaten. Dit is het gevolg van de grotere drainage- en infiltratieweerstanden van de sloot en van de wegzijging. Door deze beide aspecten is de bodem in de droge perioden droger dan bij beide andere gebieden.

6.2.2 Drainage en infiltratie in de meetjaren

Tabel 6.2 toont de voor de meetjaren berekende toenames van drainage en infiltratie. Netto gezien zijn de verschillen voor de drainage niet heel erg groot; voor infiltratie zijn de verschillen veel groter. Kwelgebied De Keulevaart heeft in 2011 de grootste toename in drainage en altijd de kleinste infiltratie. Wegzijgingsgebied Demmeriksekade heeft de grootst infiltratie. De Krimpenerwaard neemt een middenpositie in.

Tabel 6.2

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

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

6.2.3 Verwerken van extreme regenbuien

Tabel 6.3 geeft de berekende verhogingen van het oppervlaktewaterpeil en de toenames van de uitslag bij de extreme bui (48 mm in een uur) van 1953 en de reeks van extreme buien in 2002 door toepassing van onderwaterdrains.

Tabel 6.3

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%
De Keulevaart	0,8	34	0,9	39	3	7%	6	7%	6	4%	12	4%
Krimpenewaard	2,4	32	2,1	34	3	8%	7	9%	7	5%	17	5%

De drie gebieden ontlopen elkaar weinig als het gaat om verwerken van extreme neerslagbuien. Het belangrijkste mechanisme dat in werking treedt bij extreme buien is de berging in de veenbodem maar ook in het oppervlaktewater. Hierdoor stijgt het peil, in eerste instantie door de neerslag direct op het wateroppervlak. Iets later treedt het afvoermecanisme van de bodem in werking en stijgt het peil nog meer. Bij onderwaterdrains gaat dat sneller. De peilverhoging verkleint het potentiaalverschil tussen grondwaterstand en slootpeil en dempt daarmee de toename van de drainage tot een evenwicht is bereikt en het peil door de afvoer van het gemaal weer gaat dalen. Met dit terugkoppelingsmechanisme blijft de invloed van de drains redelijk beperkt tot een maximale extra stijging door drains van 7 cm bij De Keulevaart bij de minder extreme maar langdurigere buienreeks van 2002, en een toename van het aantal draaiuren van het gemaal tot maximaal 9%.

Bij alle drie gebieden ligt de top van het peil (minimale drooglegging) bij nagenoeg dezelfde drooglegging: 32-34 cm bij de bui van 1953 en 34-40 cm bij de bui van 2002. Het verschil tussen De Keulevaart en de andere twee pilots is dat het peil bij De Keulevaart van 6 cm dieper - de drooglegging van 51 cm - moet komen om deze top te bereiken. De peilstijging is in deze pilot bij de bui van 1953 daarom 5 (6 - 1) cm groter dan bij beide andere pilots. Dat is het gevolg van de kwel als onderrand. Voor het effect van drains heeft dat bij deze bui geen groot gevolg.

Andere verschillen tussen de drie pilots worden voor een groot deel veroorzaakt door de verschillen in peilbeheer.

6.2.4 Inlaat en uitslag

Tabel 6.4 geeft de berekende extra inlaat in droge jaren en de extra uitslag en draaiuren van het gemaal op jaarbasis.

Tabel 6.4

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%
De 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%

Demmeriksekade heeft als wegzijgingsgebied de meeste behoefte aan extra inlaatwater bij toepassen drains in droge tijden en kwelgebied De Keulevaart de minste. De Krimpenerwaard neemt een tussenpositie in. In deze droge jaren treedt bij De Keulevaart extra veel kwel op. Opvallend is dat dezelfde 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 betreft waarin alle extra inlaatwater wordt benut voor vernatten van de bodem. De nattere bodem bereikt daardoor sneller een grondwaterstand waarop drainage plaatsvindt. Maar in het zeer natte jaar 1981 is de rangorde van de drie pilots voor extra inlaat en uitslag dezelfde als in de droge jaren. Wat hierbij ook een rol speelt is het waterbeheer met streefpeilen en drempels voor starten en stoppen van inlaat en uitslag.

6.2.5 Nutriëntenbelasting

Het beeld dat uit de metingen volgt is dat de verschillen in nutriëntenbelasting tussen Drains en Referentie over het algemeen niet zo groot zijn. Verder is in het algemeen het beeld van verschillen tussen Referentie en Drains niet altijd consistent. De meetperiode is erg kort. De effecten van de twee typische meetjaren, 2011 met droog voorjaar en natte zomer, en 2012 het gehele jaar nat, werken sterk door in de meetresultaten. Waarschijnlijk nog belangrijker is dat de metingen aan Drains hebben plaatsgevonden na een zware verstoring rondom de belangrijkste afvoermiddelen, de drains. Door het inbrengen is de fysio-biochemische toestand rond de drains ernstig verstoord wat zeker zijn invloed zal hebben gehad op de meetresultaten. Dit kan enkele jaren duren. De verwachting is dat de verstoring de nutriënten eerder zal mobiliseren dan sterker vastleggen. De meetresultaten zijn daarom vooral richtinggevend. Als de vrachten en concentraties bij drains nu al lager zijn dan bij Referentie, dan is de verwachting dat ze in de toekomst verder zullen afnemen. Dat geldt voor de meeste parameters.

De scenarioberekeningen met SWAP-ANIMO voor een extreem droog jaar (1976) en een extreem nat jaar (1981) uit de dertigjarige weerreeks 1971-2000 laten over het algemeen een geringe tot (zeer) sterke afname zien van de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater als netto belasting op jaarbasis en als netto belasting op zomerhalfjaarbasis inclusief de nutriëntenvoorraad in de slootwaterberging aan het begin van het zomerhalfjaar. Wel zijn er detailverschillen tussen de drie pilots. Bij Demmeriksekade neemt in het droge jaar de fosforbelasting met 20-25% toe. Maar vanwege de zeer lage fosforbelasting en -concentraties - 7-8 kleiner dan bij De Keulevaart - is deze toename in absolute termen (zeer) gering. Bij De Keulevaart neemt de sulfaatbelasting toe met circa 10% op zowel jaar- als zomerhalfjaarbasis in het natte jaar 1981. Oorzaak hiervan is de wat grotere drooglegging bij de Keulevaart. Sulfaat is in de modelberekeningen gevoelig voor de drooglegging: de sulfaatbelasting neemt toe bij toenemende drooglegging om een scala aan redenen (Hendriks en Van den Akker, 2012).

Bij de Krimpenerwaard geven de modelberekeningen in extreem droge en natte jaren vooral bij sulfaat en stikstof een sterk verlagend effect van onderwaterdrains op de belasting aan. Het sterke effect treedt vooral op in een droog jaar. De verklaring hiervoor is dat de vernattende werking van de drains in droge omstandigheden de pyrietoxidatie en de stikstofmineralisatie remmen, belangrijke bronnen van oplosbaar sulfaat en stikstof. 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.

Het beeld van het model komt niet altijd overeen met dat van de metingen. In de eerste plaats hebben de modelberekeningen betrekking op extreme jaren. Daarnaast geven de figuren en tabellen van de metingen geen directe informatie over gemeten belastingen vanuit de veenbodem maar meer over concentraties die ontstaan onder invloed van deze belasting in de sloten. Ook in de winter kunnen daar toch vastleggings- en omzettingsprocessen spelen. Dit wil niet zeggen dat de waarden van het model als de exacte waarheid moeten worden geïnterpreteerd. Ze kunnen beter worden beschouwd als richtinggevend. Ook zij geven een algemeen beeld van (lichte) vermindering van de nutriëntenbelasting bij toepassing van drains. Uitzondering vormt sulfaat in een uitgesproken nat jaar. Daaruit komt dat sulfaat in extreme meteorologische omstandigheden het meest kwetsbare nutriënt is. En dan vooral onder natte omstandigheden, zeker als die volgt na een droge warme periode.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Weersomstandigheden in de meetjaren

De zomer van 2011 en het hele jaar 2012 zijn uitzonderlijk nat geweest. De zomer van 2011 is zelfs de natste zomer geweest sinds 1920. Dit maakte het moeilijk om met meetresultaten gefundeerde conclusies te trekken voor het effect van onderwaterdrains in droge perioden. Wel kon enigszins gebruik worden gemaakt van de lagere grondwaterstanden aan het einde van een uitzonderlijk droog voorjaar 2011 en de wat lagere grondwaterstanden na de vrij natte zomers van 2010 en 2012. In de hele meetperiode zijn de grondwaterstanden echter minder diep uitgezakt dan in een 'normaal' jaar. Met de resultaten van de modevaluatie en modelsimulaties van droge jaren, zijn in dit rapport toch nog gefundeerde conclusies getrokken over het effect van onderwaterdrains in droge jaren. Deze conclusies zijn niet alleen gebaseerd op de pilots Demmeriksekade en Keulevaart maar ook op de pilot Krimpenerwaard, het bijkomende onderzoek bij de pilot Krimpenerwaard en eerder onderzoek.

Maaiveld dalingen

Bij de pilot Demmeriksekade zijn drie jaar (2010 t/m 2012) maaiveld dalingen gemeten en bij de pilots De Keulevaart en Krimpenerwaard twee jaar (2011 en 2012). Daaruit volgt zelfs dat in een aantal gevallen dat het maaiveld is gestegen in de meetperiode. Dit kan deels het gevolg zijn van de (zeer) natte zomers in de meetperiode, waardoor het veen meer zwelt dan in normale jaren en daardoor het maaiveld tijdelijk stijgt. Bij de Demmeriksekade is het daarnaast duidelijk dat het maaiveld ook is gestegen door ophoging door de eigenaar. Grond die vrijkwam bij de bouw van een stal werd over het land uitgespreid. Daarmee zijn de hoogtemetingen bij de Demmeriksekade in deze periode maar beperkt bruikbaar voor de vaststelling van de maaiveld daling en alleen maar geschikt als basis voor hoogtemetingen in de toekomst (indien er verder niet wordt opgehoogd!).

Het aantal meetjaren is nog te weinig om uit de hoogtemetingen uitspraken te doen over een trend in de maaiveld daling. Wel kan uit het feit dat in droge perioden de grondwaterstanden bij de proefpercelen met drains hoger liggen dan bij de referentiepercelen worden geconcludeerd dat toepassing van onderwaterdrains de maaiveld daling zal beperken. Afgaande op de grondwaterstandverhogingen van de modevaluatie (zie hieronder) kan worden ingeschat dat de jaarlijkse maaiveld daling bij De Keulevaart met 3-6 mm vermindert, bij de Demmeriksekade met 5-8 mm en bij de Krimpenerwaard met 6 mm. Deze vrij sterke afname van de maaiveld dalingen komt overeen met metingen van de maaiveld dalingen bij eerder gestarte proeflocaties, waaruit blijkt dat in het algemeen de maaiveld daling sterk afneemt. Dit is echter niet bij elke proeflocatie het geval.

Grondwaterstanden

De grondwaterstanden worden met decimeters verlaagd c.q. verhoogd. Bij De Keulevaart is dit duidelijker dan bij de Demmeriksekade. 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 10-15 cm bij De Keulevaart en de Krimpenerwaard en 20-30 cm bij Demmeriksekade. Een echte test van de effectiviteit van drains om de grondwaterstand te verhogen in droge perioden is er nog niet geweest. De droogteperiode in het voorjaar van 2011 was te kort, temeer omdat vóór de droge periode de grondwaterstand hoog stond waardoor er een voorraad grondwater beschikbaar was voor gewasverdamming. De grondwaterstanden zijn in de meetperioden nog niet echt diep uitgezakt. Alleen in een situatie met diep uitgezakte grondwaterstanden kunnen grote verschillen tussen situaties met en zonder drains ontstaan.

Hoeveelheden in- en uitgepompt water

Zoals verwacht wordt er bij toepassing van drains meer water in- en uitgepompt dan in de situatie zonder drains. De verschillen zijn echter klein, zeker als naar de netto verschillen wordt gekeken. De

drains leiden tot een snellere afvoer van neerslag in vergelijking met de situatie zonder drains. Het effect van een droge periode op het verwachte extra waterverbruik bij drains is in de meetperiode niet goed getoetst, omdat de zomers (zeer) nat waren en de droogte in het voorjaar van 2011 te kort was voor serieuze droogte met diepe grondwaterstanden en droogteschade (waardoor bij de referentie het waterverbruik zou teruglopen).

Waterkwaliteit

Op basis van de metingen lijkt er geen consistent effect te zijn op de waterkwaliteit van toepassing van drains beter te zijn. Dat geldt voor fosfor, stikstof en sulfaat. 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 omgekeerd en is de drogestofopbrengst bij Drains ca. 930 kg/ha lager dan bij Referentie. Bedacht moet worden dat dit netto opbrengsten zijn, dus zonder vertrapingsverliezen 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 45 tot 51 dagen en 50 tot 60 dagen. Dit is bijna twee keer zo groot als op theoretische gronden was 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 10-15 cm ('gemeten') tot 15-20 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 (11-16%) 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 10-15 cm bij de grootste buien. Bij onderwaterdrains komt hier maximaal 2,4 cm bovenop. Dat is 20-25%, maar duurt slechts enkele uren, en binnen een paar dagen is dit terug gebracht naar nul en is het streefpeil bereikt. De vraag voor de waterbeheerder is of deze extra stijging acceptabel is. Op het piekmoment bedraagt de geringste drooglegging circa 32 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 op de grondwaterstand is onder extreme omstandigheden met extreme buien 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 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 33-60% in 1976 en de toename van de bruto inlaat 22%-37%. In het iets minder droge jaar 2003 ligt deze toename in dezelfde orde van grootte maar is in absolute termen wat (ca. 10 mm) kleiner dan in 1976. De onderrand in de vorm van kwel en wegzijging heeft grote invloed op de extra infiltratie en inlaat bij toepassen van drains: bij wegzijgingsgebied Demmeriksekade is de extra inlaat groter dan bij kwelgebied De Keulevaart.

Het effect van onderwaterdrains gedurende de droge periode in 1976 is dat de grondwaterstand minder ver uitzakt waardoor de laagste waarde die in de zomer wordt bereikt in de situatie zonder drains niet wordt bereikt. De grondwaterstandverhoging door drains bedraagt dan maximaal 20-30 cm.

De toename in de uitslag gedurende het gehele jaar is ook in droge jaren relatief groot: 10%-19%. Dit is groter dan de relatieve toename bij de extreme buien en in het natte jaar 1981. Absoluut gezien is de toename in de uitslag groter in het natte jaar en bedraagt dan 33-60 mm. Verschillen tussen pilots vinden hun oorsprong ook in ander peilbeheer.

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 bedraagt maximaal 30-45 cm in 1976.

Conclusies resultaten van de metingen van effecten drains op nutriëntenuitspoeling

Het beeld dat uit de metingen volgt is dat de verschillen in nutriëntenbelasting tussen Drains en Referentie over het algemeen niet zo groot zijn. Verder is in het algemeen het beeld van verschillen tussen Referentie en Drains niet altijd consistent. De meetperiode is erg kort. De effecten van de twee typische meetjaren, 2011 met droog voorjaar en natte zomer, en 2012 het gehele jaar nat, werken sterk door in de meetresultaten. Waarschijnlijk nog belangrijker is dat de metingen aan Drains hebben plaatsgevonden na een zware verstoring rondom de belangrijkste afvoermiddelen, de drains. Door het inbrengen is de fysio-biochemische toestand rond de drains ernstig verstoord wat zeker zijn invloed zal hebben gehad op de meetresultaten. Dit kan enkele jaren duren. De verwachting is dat de verstoring de nutriënten eerder zal mobiliseren dan sterker vastleggen. De meetresultaten zijn daarom vooral richtinggevend. Als de vrachten en concentraties bij drains nu al lager zijn dan bij Referentie, dan is de verwachting dat ze in de toekomst verder zullen afnemen. Dat geldt voor de meeste parameters.

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.

7.2 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.

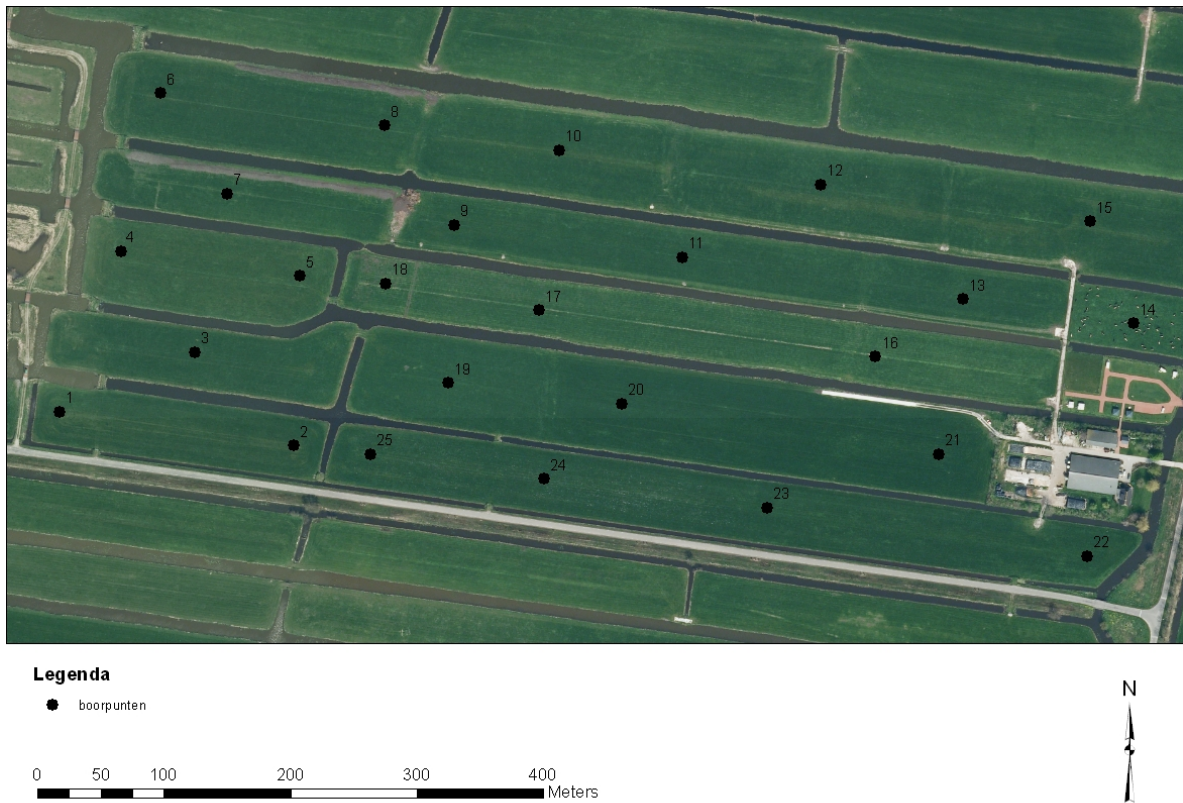
De melkveehouder speelt bij de introductie van onderwaterdrains in het veenweidegebied uiteraard een centrale rol. Voortzetting van het bestaande praktijknetwerk en uitbreiding daarvan is daarom essentieel.

Referenties

- Akker, J.J.H. van den, J. Beuving, R.F.A. Hendriks en R.J. Wolleswinkel, 2007a. 5510 Maaiveldddaling, 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 maaiveldddaling, 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.
- Akker, J.J.H. van den, R.F.A. Hendriks, I.E. Hoving, B. Meerkerk, K. van Houwelingen, J. van Kleef, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2013. Pilot onderwaterdrains Krimpenerwaard. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2466.
- CTV, werkgroep herziening cultuurtechnisch vademecum, 2000. Cultuur Technisch Vademecum. Cultuurtechnische Vereniging, Utrecht.
- 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 and 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., 1997. Methodieken en resultaten van experimenteel onderzoek en veldonderzoek naar bodemchemische en bodemfysische parameters in laagveen. Rapport 271, 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, P.C. Jansen en H.Th.L. Massop, 2013. Effecten van onderwaterdrains in peilvak 9 van polder Groot-Wilnis Vinkeveen. Modelstudie naar de effecten van onderwaterdrains op maaiveldddaling, waterbeheer, wateroverlast en waterkwaliteit in peilvak 9. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2480.

-
- 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 maaiveldaling. 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.
- Puijenbroek, P.J.T.M. van, P. Cleij en H. Visser, 2010. Nutriënten in het Nederlandse zoete oppervlaktewater: toestand en trends. Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven. PBL-publicatie 500208001.
- Renaud, L.V., J. Roelsma en P. Groenendijk, 2005. User's guide of the ANIMO 4.0 nutrient leaching model. Alterra-Report 224. Wageningen.
- Stolte, J. (ed.), 1997. Manual for soil physical measurements. Version 3. Technical Document 37. DLO Winand Staring Centre, Wageningen.
- Vermeulen, J. en R.F.A. Hendriks, 1996. Ademhalingsmetingen aan ongestoorde veenmonsters in het laboratorium. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 288.
- 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 Boringen Demmeriksekade



Figuur B1-1 Locatie boorpunten Demmeriksekade. De boorpunten 9, 11, 13 en 17 liggen in de uiteindelijk proefvelden.

Tabel B1-1

Boorcoördinaten en enkele profielgegevens pilot Demmeriksekade. Boringen 14 juli 2009, Matheijs Pleijter.

ID	X	Y	STPNTC	GHG	GLG	GT	BEW_DIEPTE
1	124971	468005	1d b	0	80	IIa	45
2	125156	467978	1d b	0	75	IIa	35
3	125078	468052	1d b	0	75	IIa	35
4	125019	468132	1d b	0	80	IIa	40
5	125161	468113	1d b	15	75	IIa	35
6	125050	468257	1d b	0	70	IIa	25
7	125103	468178	1d b	10	70	IIa	40
8	125228	468231	1d b	15	70	IIa	45
9	125283	468153	1d b	10	70	IIa	30
10	125366	468212	1d b	0	70	IIa	35
11	125464	468127	1d b	10	70	IIa	35
12	125572	468185	1d b	0	70	IIa	40
13	125685	468094	1d b	0	80	IIa	45
14	125820	468075	1d b	0	75	IIa	35
15	125785	468156	1d b	0	75	IIa	35
16	125616	468049	1d b	0	80	IIa	40
17	125350	468085	1d b	15	75	IIa	35
18	125228	468106	1d b	0	70	IIa	25
19	125278	468028	1d b	10	70	IIa	40
20	125415	468012	1d b	15	70	IIa	45
21	125666	467972	1d b	10	70	IIa	30
22	125783	467891	1d b	0	70	IIa	35
23	125530	467929	1d b	10	70	IIa	35
24	125354	467952	1d b	0	70	IIa	40
25	125217	467972	1d b	10	70	IIa	35

Tabel B1-2

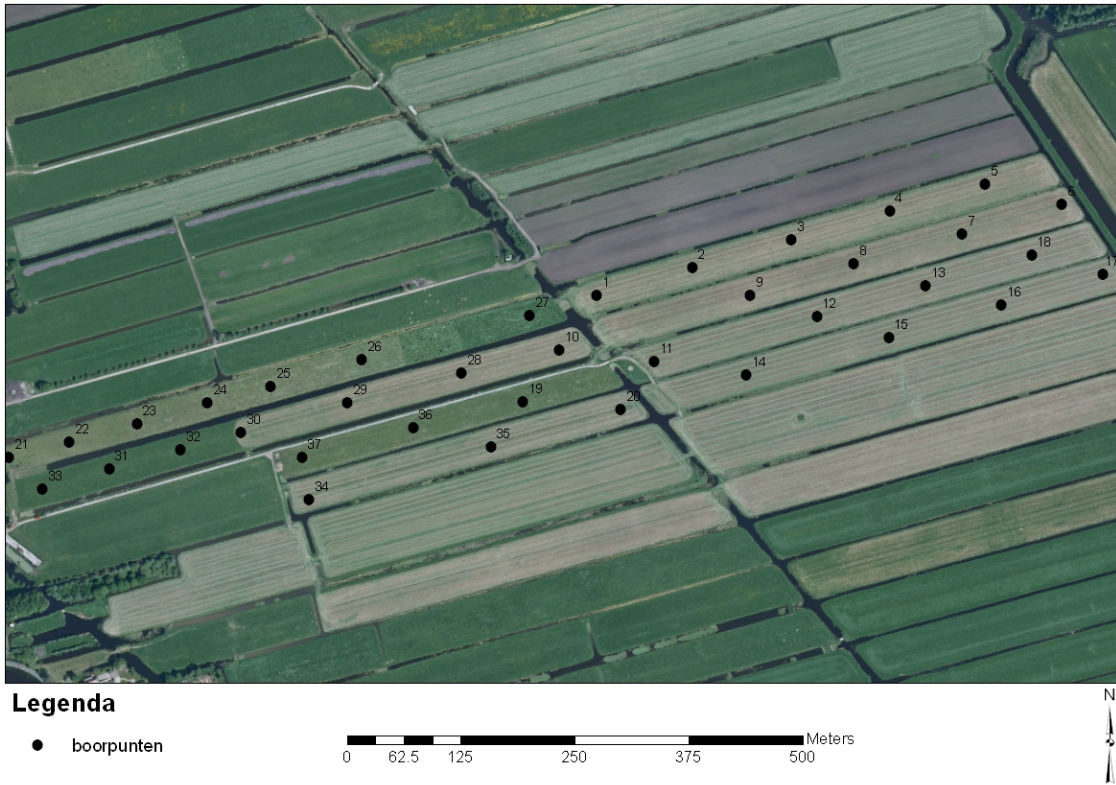
Profielbeschrijvingen pilot Demmeriksekade. Boringen 14 juli 2009, Matheijs Pleijter.

Boring nr	Begin- diepte	Eind- diepte	Hor. nr	Horizont	Orgstof	Veen- soort	Lutum	M50	Geocode	D	Opmerking	D-omschrijving	Veensoort omschrijving
1	0	20	1	Aa	35	DV	8	170	692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
1	20	45	2	Cu1	40	DV	8		110				veraard veen
1	45	70	2	Cu2	65	BM			130	dk		relatief kleirijk	mesotroof broekveen
1	70	220	2	Cr1	70	BM			130				mesotroof broekveen
1	220	250	2	Cr2	75	RC			140				rietzeggeveen
2	0	20	1	Aa	40	DV	8	165	692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
2	20	35	1	Cu1	35	DV	12		110	vk			veraard veen
2	35	50	1	Cu2	50	BM			130	dk		relatief kleirijk	mesotroof broekveen
2	50	220	1	Cr	65	BM			130	dk		relatief kleirijk	mesotroof broekveen
3	0	20	1	Aa1	35	DV	10	170	692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
3	20	30	1	Aa2	30	DV	14	170	692	dk	toemaakdek	relatief kleirijk	veraard veen
3	30	55	2	Cu	50	BM			130	dk		relatief kleirijk	mesotroof broekveen
3	55	220	2	Cr	65	BM			130				mesotroof broekveen
4	0	30	1	Aa	35	DV	14	170	692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
4	30	65	2	Cu	50	BM			130	dk		relatief kleirijk	mesotroof broekveen
4	65	220	2	Cr	65	BM			130	dk		relatief kleirijk	mesotroof broekveen
5	0	30	1	Aa	40	DV	14	170	692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
5	30	60	2	Cu1	45	DV			110	dk		relatief kleirijk	veraard veen
5	60	90	2	Cu2	55	BM			130				mesotroof broekveen
5	90	220	2	Cr	65	BM			130				mesotroof broekveen
6	0	15	1	Aa	35	DV	14	165	692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
6	15	55	2	Cu1	40	DV			110	dk		relatief kleirijk	veraard veen
6	55	70	2	Cu2	45	BM			130	dk		relatief kleirijk	mesotroof broekveen
6	70	80	2	Cr1	70	BM			130		stevig veen		mesotroof broekveen
6	80	90	2	Cr2	95	BM			130		kienhout		mesotroof broekveen
6	90	220	2	Cr3	65	BE			120		slap veen		eutroof broekveen
7	0	30	1	Aa	30	DV	12	170	692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
7	30	50	2	Cu1	40	DV	16		110	dk		relatief kleirijk	veraard veen
7	50	65	2	Cu2	50	BM			130				mesotroof broekveen
7	65	220	2	Cr	70	BM			130		slap, rietresten		mesotroof broekveen
8	0	30	1	Aag	35	DV	14	170	692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
8	30	45	2	Cu1	35	DV	18		110	dk		relatief kleirijk	veraard veen
8	45	65	2	Cu2	45	BM			130	dk		relatief kleirijk	mesotroof broekveen
8	65	220	2	Cr	65	BM			130				mesotroof broekveen
9	0	30	1	Aa	30	DV	16	170	692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
9	30	40	2	Cu1	35	DV	16		110	dk		relatief kleirijk	veraard veen
9	40	65	2	Cu2	50	BM			130	dk		relatief kleirijk	mesotroof broekveen
9	65	220	2	Cr	65	BE			120		slap veen		eutroof broekveen
10	0	30	1	Aag	35	DV	14	165	692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
10	30	35	1	Cu	30	DV	18		110	dk		relatief kleirijk	veraard veen
10	35	65	2	Cu	45	BM			130	dk		relatief kleirijk	mesotroof broekveen
10	65	220	2	Cr	65	BM			130				mesotroof broekveen
11	0	30	1	Aa	30	DV	14	170	692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
11	30	50	2	Cu1	30	DV	14		110	dk		relatief kleirijk	veraard veen
11	50	60	2	Cu2	50	BM			130	dk		relatief kleirijk	mesotroof broekveen
11	60	70	2	Cr1	95	BM			130		kienhout		mesotroof broekveen
11	70	130	2	Cr2	65	BM			130				mesotroof broekveen
11	130	135	2	Cr3	95	BM			130		kienhout		mesotroof broekveen
11	135	220	2	Cr4	70	BE			120		slap veen		eutroof broekveen
12	0	35	1	Aa	30	DV	16		692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
12	35	45	2	Cu	30	DV	18		692	dk		relatief kleirijk	veraard veen
12	45	65	2	Cu2	45	BM			130	dk		relatief kleirijk	mesotroof broekveen
12	65	220	2	Cr	65	BM			130				mesotroof broekveen
13	0	20	1	Aa	35	KV	8	170	692	dz	toemaak	relatief zandrijk	kleilig veen
13	20	45	2	Cu1	40	KV	8		110	dk		relatief kleirijk	kleilig veen
13	45	60	2	Cu2	65	BM			130				mesotroof broekveen
13	60	70	2	Cu3	90	BM			161		kienhout		mesotroof broekveen
13	70	90	2	Cr1	75	BM			130				mesotroof broekveen
13	90	220	2	Cr2	65	BE			120		slap veen		eutroof broekveen
13	220	250	2	Cr3	75	BM			130				mesotroof broekveen

Vervolg Tabel B1-2. Profielbeschrijvingen pilot Demmeriksekade.

Boring nr	Begin-diepte	Eind-diepte	Hor. nr	Horizont	Orgstof	Veen-soort	Lutum	M50	Geocode	D	Opmerking	D-omschrijving	Veensoort omschrijving
14	0	20	1	Aa	40	DV	8	165	692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
14	20	35	1	Cu1	35	DV	12		110	vk			veraard veen
14	35	50	1	Cu2	50	BM			130	dk		relatief kleirijk	mesotroof broekveen
14	50	220	1	Cr	75	BM			130				mesotroof broekveen
14	220	250	1	Cr	65	BM			130	veel	kienhout		mesotroof broekveen
15	0	30	1	Aa	35	DV	10	170	692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
15	30	70	2	Cu	50	DV			130	dk		relatief kleirijk	veraard veen
15	70	220	2	Cr	65	BM			130				mesotroof broekveen
16	0	30	1	Aa	35	DV	14	170	692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
16	30	65	2	Cu	50	BM			130	dk		relatief kleirijk	mesotroof broekveen
16	65	220	2	Cr	65	BM			130				mesotroof broekveen
17	0	25	1	Aa	40	DV	14	170	692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
17	25	60	2	Cu1	55	DV			110				veraard veen
17	60	70	2	Cu2	35	BM			130	dk		relatief kleirijk	mesotroof broekveen
17	70	220	2	Cr	65	BM			130				mesotroof broekveen
18	0	25	1	Aa	35	DV	14	165	692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
18	25	40	2	Cu1	40	DV			110	dk		relatief kleirijk	veraard veen
18	40	60	2	Cu2	45	BM			130	dk		relatief kleirijk	mesotroof broekveen
18	60	220	2	Cr	70	BM			130				mesotroof broekveen
19	0	15	1	Aa	30	DV	12	170	692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
19	15	70	2	Cu	40	DV	16		110	dk		relatief kleirijk	veraard veen
19	70	220	2	Cr	70	BE			120		slap veen		eutroof broekveen
20	0	30	1	Aag	35	DV	14	170	692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
20	30	45	2	Cu1	35	DV	18		110	dk		relatief kleirijk	veraard veen
20	45	65	2	Cu2	45	BM			130	dk		relatief kleirijk	mesotroof broekveen
20	65	220	2	Cr	65	BM			130				mesotroof broekveen
21	0	25	1	Aa	30	DV	16	170	692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
21	25	35	2	Cu1	35	DV	16		110	dk		relatief kleirijk	veraard veen
21	35	60	2	Cu2	50	BM			130	dk		relatief kleirijk	mesotroof broekveen
21	60	70		Cr1	90	BM			130		kienhout		mesotroof broekveen
21	70	90	2	Cr2	70	BM			130				mesotroof broekveen
21	90	220		Cr3	65	BE			120		slap veen		eutroof broekveen
22	0	20	1	Ap	35	DV	20		692		iets verdicht		veraard veen
22	20	50	1	Cu	30	DV	18		110	dk		relatief kleirijk	veraard veen
22	50	90	2	Cr1	65	BM			130				mesotroof broekveen
22	90	220	2	Cr2	75	BE			120		slap veen, veel kienhout		eutroof broekveen
23	0	25	1	Ap	30	DV	20	170	692				veraard veen
23	25	50	2	Cu1	45	BM			110	dk		relatief kleirijk	mesotroof broekveen
23	50	60	2	Cu2	90	BM			130		kienhout		mesotroof broekveen
23	60	70	2	Cr1	75	BM			130				mesotroof broekveen
23	70	90	2	Cr2	65	BM			130		slap veen		mesotroof broekveen
23	90	135	2	Cr3	75	RC			130				rietzeggeveen
23	135	220	2	Cr4	70	BM			130		slap veen		mesotroof broekveen
24	0	35	1	Aa	30	DV	16		692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
24	35	45	2	Cu	30	DV	18		692	dk		relatief kleirijk	veraard veen
24	45	65	2	Cu2	45	BE			120	dk		relatief kleirijk	eutroof broekveen
24	65	220	2	Cr	65	BM			130				mesotroof broekveen
25	0	20	1	Aa	30	DV	14	170	692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
25	20	30	2	Cu1	30	DV	14		110	dk		relatief kleirijk	veraard veen
25	30	220	2	Cr	70	BM			130				mesotroof broekveen
26	0	35	1	Aa	30	DV	16		692	dz	toemaakdek	relatief zandrijk	veraard veen
26	35	45	2	Cu	30	DV	18		692	dk		relatief kleirijk	veraard veen
26	45	65	2	Cu2	45	BM			130	dk		relatief kleirijk	mesotroof broekveen
26	65	220	2	Cr	75	BM			130				mesotroof broekveen

Bijlage 3 Boringen De Keulevaart



Figuur B3-1 Locatie boorpunten De Keulevaart. De boorpunten 10 en 21 t/m 33 liggen in de geselecteerde proefvelden.

Tabel B3-1

Boorcoördinaten en enkele profielgegevens pilot De Keulevaart. Boringen 31 maart en 25 juni 2010, Matheijs Pleijter.

ID	X	Y	STPNTC	GHG	GLG	GT
1	116578	444020	R5m311c	25	95	IIIb
2	116683	444050	R5m311c	20	95	IIIa
3	116792	444081	R5m311c	25	100	IIIb
4	116900	444112	R5m321c	20	75	IIa
5	117005	444142	R5m321c	25	100	IIIa
6	117089	444120	1sc	15	70	IIa
7	116980	444087	1sd	20	70	IIa
8	116861	444055	1sc	25	80	IIa
9	116747	444020	1sc	25	85	IIIa
10	116537	443960	1sc	20	75	IIa
11	116641	443947	1sc	25	80	IIa
12	116820	443997	1sc	25	80	IIa
13	116940	444030	1sc	20	70	IIa
14	116743	443932	R5m311c	20	75	IIa
15	116899	443973	R5m321c	20	75	IIa
16	117023	444009	1sc	25	75	IIa
17	117134	444043	R5m321c	25	75	IIa
18	117056	444064	R5m311c	20	75	IIa
19	116497	443903	1sc	20	75	IIa
20	116605	443894	1sc	20	75	IIa
21	115932	443841	1sc	20	70	IIa
22	115999	443859	1sc	20	70	IIa
23	116073	443879	1sc	20	70	IIa
25	116220	443920	1sc	20	70	IIa
24	116151	443902	1sc	20	70	IIa
26	116320	443950	1sc	20	70	IIa
27	116504	443998	R5m311c	20	70	IIa
28	116430	443934	1sc	20	70	IIa
29	116305	443902	1sc	20	70	IIa
30	116188	443869	R5m311c	20	70	IIa
31	116042	443829	R5m311c	20	70	IIa
32	116121	443850	1rc	20	70	IIa
33	115969	443807	R5m411c	20	70	IIa
34	116262	443796	R5m311c	20	70	IIa
35	116462	443854	R5m311c	20	70	IIa
36	116377	443874	R5m311c	20	70	IIa
37	116254	443841	1sc	20	70	IIa

Tabel B3-2

Profielbeschrijvingen pilot De Keulevaart Boringen 31 maart en 25 juni 2011, Matheijs Pleijter.

Boring nr	Begin-diepte	Eind-diepte	Hor. nr	Horizont	Orgstof	Veen-soort	Lutum	Kalk-klasse	Rijping	Geocode	D	D-omschrijving	Veensoort omschrijving
1	0	10	1	Ah	16	DK	32			110	VK	venige klei	
1	10	20	2	AC	10		32	1	5	321	HK	humeuze klei	
1	20	60	2	Cg	4		36	1	5	321			
1	60	80	3	Cu	45	DV				111			veraard veen
1	80	100	3	Cr	65	RC				131			rietzeggeveen
2	0	15	1	AC	16		32	1	5	321	HK	humeuze klei	
2	15	40	1	Cg	8		32	1	5	321	HK	humeuze klei	
2	40	50	2	Cu	40	DV				111			veraard veen
2	50	60	3	Cg	18		36	1	5	321	VK	venige klei	
2	60	100	4	Cu	55	DV				111			veraard veen
3	0	10	1	AC	16		30	1	5	321			
3	10	35	1	Cg	8		34	1	5	321			
3	35	38	2	Cu	40	DV				111			veraard veen
3	38	45	3	Cg	8		34	1	5	321			
3	45	95	4	Cu	45	DV				111			veraard veen
3	95	100	4	Cr	65	RC				131			rietzeggeveen
4	0	10	1	AC	10		33	1	5	321			
4	10	45	1	Cg	7		36	1	5	321	HK	humeuze klei	
4	45	75	2	Cu	50	DV				111			veraard veen
4	70	100	2	Cr	65	RC				131			rietzeggeveen
5	0	5	1	Ah	16		32	1	5	321			
5	5	10	1	AC	8		34	1	5	321	VK	venige klei	
5	10	50	1	Cg	3		38	1	5	321			
5	50	55	2	Cu	40	DV				111			veraard veen
5	55	60	3	Cg	3		38	1	5	321	KV	kleilig veen	
5	60	85	4	Cu	50	DV				111			veraard veen
5	85	100	4	Cr	65	RC				131			rietzeggeveen
6	0	5	1	Ah	10		32	1	5	321			
6	5	15	1	Acg	6		32	1	5	321	HK	humeuze klei	
6	15	35	1	Cg	3		38	1	5	321			
6	35	50	2	Cu	45	DV				111			veraard veen
6	50	55	3	Cg	10		42	1	5	321	KV	kleilig veen	
6	55	80	4	Cu	45	DV				111			veraard veen
6	80	100	4	Cr	60	RC				131	KV	kleilig veen	rietzeggeveen
7	0	5	1	Ah	16		34	1	5	321			
7	5	10	1	ACg	8		34	1	5	321	HK	humeuze klei	
7	10	32	1	Cg	3		38	1	5	321			
7	32	53	2	Cu	45	DV				111			veraard veen
7	53	55	3	Cg	10		42	1	5	321	KV	kleilig veen	
7	55	70	4	Cu	55	DV				111			veraard veen
7	70	100	4	Cr	70	RC				131			rietzeggeveen
8	0	20	1	AC	8		32	1	5	321			
8	20	30	1	Cg1	4		36	1	5	321	HK	humeuze klei	
8	30	35	1	Cg2	2.5		44	1	5	321			
8	35	50	2	Cu	45	DV				111			veraard veen
8	50	54	3	Cg	3		44	1	5	321	KV	kleilig veen	
8	54	80	4	Cu	55	DV				111			veraard veen
8	80	100	4	Cr	70	RC				131	KV	kleilig veen	rietzeggeveen
9	0	15	1	AC	8		32	1	5	321			
9	15	35	1	Cg	3		38	1	5	321	HK	humeuze klei	
9	35	85	2	Cu	50	DV				111			veraard veen
9	85	100	2	Cr	70	RC				131			rietzeggeveen
10	0	15	1	AC	6		32	1	5	321			
10	15	30	1	Cg1	4		36	1	5	321			
10	30	40	1	Cg2	2		44	1	5	321			
10	40	65	2	Cu	45	DV				111			veraard veen
10	65	75	2	Cur	55	RC				131	KV	kleilig veen	rietzeggeveen
10	75	100	2	Cr	70	RC				131			rietzeggeveen
11	0	5	1	AC	5		32	1	5	321			
11	5	20	1	Cg1	3		32	1	5	321			
11	20	30	1	Cg2	2		40	1	5	321			
11	30	50	2	Cu	45	DV				111			veraard veen
11	50	80	2	Cur	60	RC				131			rietzeggeveen
11	80	100	2	Cr	70	RC				131	KV	kleilig veen	rietzeggeveen
12	0	10	1	Ah	6		32	1	5	321			
12	10	20	1	Cg1	3.5		34	1	5	321			
12	20	30	1	Cg2	2		40	1	5	321			
12	30	70	2	Cu	45	DV				111			veraard veen
12	70	100	2	Cr	60	RC				131	KV	kleilig veen	rietzeggeveen

Vervolg Tabel B3-2. Profielbeschrijvingen pilot De Keulevaart.

Boring nr	Begin-diepte	Eind-diepte	Hor. nr	Horizont	Orgstof	Veen-soort	Lutum	Kalk-klasse	Rijping	Geocode	D	D-omschrijving	Veensoort omschrijving
13	0	3	1	Ah	8		30	1	5	321			
13	3	10	1	ACg	5		34	1	5	321	HK	humeuze klei	
13	10	20	1	Cg1	2		34	1	5	321			
13	20	35	1	Cg2	2		42	1	5	321			
13	35	40	2	Cu	40	DV				111			veraard veen
13	40	75	2	Cur	55	RC				131	KV	kleilig veen	rietzeggeveen
13	75	100	2	Cr	70	RC				131			rietzeggeveen
14	0	15	1	ACg	5		32	1	5	321			
14	15	25	1	Cg1	3		34	1	5	321			
14	25	40	1	Cg2	2		42	1	5	321			
14	40	70	2	Cu	55	DV				111			veraard veen
14	70	85	2	Cur	70	RC				131			rietzeggeveen
14	85	100	2	Cr	75	RC				131			rietzeggeveen
15	0	5	1	Ah	6		32	1	5	321			
15	5	10	1	AC	4		32	1	5	321			
15	10	35	1	Cg1	3		36	1	5	321			
15	35	50	1	Cg2	2		44	1	5	321			
15	50	80	2	Cu	45	DV				111			veraard veen
15	80	90	2	Cur	55	RC				131	KV	kleilig veen	rietzeggeveen
15	90	100	2	Cr	70	RC				131			rietzeggeveen
16	0	15	1	AC	4		38	1	5	321			
16	15	35	1	Cg	3		34	1	5	321			
16	35	60	2	Cu	50	DV				111			veraard veen
16	60	75	2	Cur	70	RC				131			rietzeggeveen
16	75	100	2	Cr	75	RC				131			rietzeggeveen
17	0	15	1	ACg	6		33	1	5	321			
17	15	25	1	Cg1	3.5		36	1	5	321			
17	25	50	1	Cg2	2		44	1	5	321			
17	50	60	1	Cg3	3		38	1	5	321			
17	60	70	2	Cu	45	DV				111			veraard veen
17	70	80	2	Cur	55	RC				131	KV	kleilig veen	rietzeggeveen
17	80	100	2	Cr	70	RC				131			rietzeggeveen
18	0	20	1	AC	6		33	1	5	321			
18	20	35	1	Cg	3		42	1	5	321			
18	35	45	2	Cu	40	DV				111			veraard veen
18	45	52	3	Cg	10		40	1	5	321	KV	kleilig veen	
18	52	70	4	Cu	55	DV				111	HK	humeuze klei	veraard veen
18	70	100	4	Cr	70	RC				131			rietzeggeveen
19	0	10	1	ACg	6		32	1	5	321			
19	10	20	1	Cg1	3		36	1	5	321			
19	20	35	1	Cg2	2		42	1	5	321			
19	35	50	2	Cu	40	DV				111			veraard veen
19	50	70	2	Cur	55	RC				131	KV	kleilig veen	rietzeggeveen
19	70	100	2	Cr	70	RC				131			rietzeggeveen
20	0	5	1	Ah	10		32	1	5	321			
20	5	35	1	Cg	3		38	1	5	321	HK	humeuze klei	
20	35	70	2	Cu	50	DV				111			veraard veen
20	70	100	2	Cr	70	RC				131			rietzeggeveen
21	0	5	1	Ah	10		32	1	5	321	HK	humeuze klei	
21	5	35	1	Cg	3		38	1	5	321			
21	35	70	2	Cu	50	DV				110			veraard veen
21	70	150	2	Cr	70	RC				130			rietzeggeveen
22	0	5	1	Ah	10		32	1	5	321	HK	humeuze klei	
22	5	35	1	Cg	3		38	1	5	321			
22	35	70	2	Cu	50	DV				110			veraard veen
22	70	150	2	Cr	75	RC				130			rietzeggeveen
23	0	5	1	Ah	10		32	1	5	321	HK	humeuze klei	
23	5	35	1	Cg	3		38	1	5	321			
23	35	70	2	Cu	55	DV				110			veraard veen
23	70	150	2	Cr	75	RC				130			rietzeggeveen
24	0	5	1	Ah	10		32	1	5	321	HK	humeuze klei	
24	5	35	1	Cg	3		38	1	5	321			
24	35	65	2	Cu	50	DV				110			veraard veen
24	65	150	2	Cr	70	RC				130			rietzeggeveen
25	0	5	1	Ah	10		32	1	5	321	HK	humeuze klei	
25	5	30	1	Cg	3		38	1	5	321			
25	30	65	2	Cu	50	DV				110			veraard veen
25	65	150	2	Cr	70	RC				130			rietzeggeveen

Vervolg Tabel B3-2. Profielbeschrijvingen pilot De Keulevaart.

Boring nr	Begin-diepte	Eind-diepte	Hor. nr	Horizont	Orgstof	Veen-soort	Lutum	Kalk-klasse	Rijping	Geocode	D	D-omschrijving	Veensoort omschrijving
26	0	5	1	Ah	8		32	1	5	321	HK	humeuze klei	
26	5	30	1	Cg	5		38	1	5	321			
26	30	70	2	Cu	50	DV				110			veraard veen
26	70	150	2	Cr	70	RC				130			rietzeggeveen
27	0	5	1	Ah	15		32	1	5	321	HK	humeuze klei	
27	10	20	1	AC	10		32	1	5	321	HK	humeuze klei	
27	20	60	1	Cg	4		36	1	5	321			
27	60	80	2	Cu	45	DK				110	VK	venige klei	
27	80	150	2	Cr	65	RC				130			rietzeggeveen
28	0	5	1	Ahg	10		32	1	5	321	HK	humeuze klei	
28	10	30	1	Cg	3		36	1	5	321			
28	30	50	2	Cw	40	DK				110	KV	kleilig veen	
28	50	70	2	Cu	55	RC				130			rietzeggeveen
28	70	150	2	Cr	70	RC				130			rietzeggeveen
29	0	10	1	ACg	10		32	1	5	321	HK	humeuze klei	
29	10	30	1	Cg	3		38	1	5	321			
29	35	50	2	Cw	40	DK	38			110	KV	kleilig veen	
29	50	70	2	Cu	65	RC				130			rietzeggeveen
29	70	150	2	Cr	75	RC				130			rietzeggeveen
30	0	5	1	Ah	18		32			321	VK	venige klei	
30	5	45	2	Cg	10		38	1	5	321	HK	humeuze klei	
30	45	50	3	Cu	40	DV				110			veraard veen
30	50	60	4	Cg	18		38	1	5	321			
30	60	100	5	Cu	55	DV				110			veraard veen
30	100	150	5	Cr	70	RC				130			rietzeggeveen
31	0	10	1	AC	16		36	1	5	321	HK	humeuze klei	
31	10	35	1	Cg	8		36	1	5	321	HK	humeuze klei	
31	35	38	2	Cu	40	DV				110	KV	kleilig veen	veraard veen
31	38	45	3	Cg	8		36	1	5	321	HK	humeuze klei	
31	45	95	4	Cu	45	DV				110	KV	kleilig veen	veraard veen
31	95	150	4	Cr	70	RC				130			rietzeggeveen
32	0	10	1	AC	10		33	1	5	321			
32	10	35	1	Cg	7		38	1	5	321			
32	35	75	2	Cu	50	DV				110			veraard veen
32	75	150	2	Cr	65	RC				130			rietzeggeveen
33	0	5	1	Ah	18	DK	32			321	VK	venige klei	
33	5	10	2	AC	8		34	1	5	321	HK	humeuze klei	
33	10	50	2	Cg	3		38	1	5	321			
33	50	55	3	Cu	40	DV				110	KV	kleilig veen	veraard veen
33	55	60	4	Cg	3		38	1	5	321			
33	60	85	5	Cu	50	DV				110			veraard veen
33	85	150	5	Cr	70	RC				130			rietzeggeveen
34	0	5	1	Ah	10		32	1	5	321	HK	humeuze klei	
34	5	15	1	ACg	6		32	1	5	321			
34	15	45	1	Cg	3		38	1	5	321			
34	45	50	2	Cu	45	DV				110	KV	kleilig veen	veraard veen
34	50	55	3	Cg	10		42	1	5	321			
34	55	80	4	Cu	45	DV				110	KV	kleilig veen	veraard veen
34	80	150	4	Cr	70	RC				130			rietzeggeveen
35	0	5	1	Ah	18	DK	34			321	VK	venige klei	
35	5	10	1	ACg	8		34	1	5	321	HK	humeuze klei	
35	10	42	1	Cg	3		38	1	5	321			
35	40	53	2	Cu	45	DV				110	KV	kleilig veen	veraard veen
35	53	55	3	Cg	10		42	1	5	321			
35	55	70	4	Cu	55	DV				110			veraard veen
35	70	150	4	Cr	70	RC				130			rietzeggeveen
36	0	20	1	AC	8		32	1	5	321	HK	humeuze klei	
36	20	30	1	Cg1	4		36	1	5	321			
36	30	45	1	Cg2	2.5		44	1	5	321			
36	45	50	2	Cu	45	DV				110	KV	kleilig veen	veraard veen
36	50	54	3	Cg	3		44	1	5	321			
36	54	80	4	Cu	45	DV				110	KV	kleilig veen	veraard veen
36	80	150	4	Cr	70	RC				130			rietzeggeveen
37	0	15	1	AC	8		32	1	5	321	HK	humeuze klei	
37	15	30	1	Cg1	3		38	1	5	321			
37	40	65	2	Cu	45	DV				110	VK	venige klei	veraard veen
37	65	75	2	Cur	55	RC				130			rietzeggeveen
37	75	150	2	Cr	70	RC				130			rietzeggeveen

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

Alterra-rapport 2479
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 2479
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.

