



ALTERRA

WAGENINGENUR



Onderwaterdrains in het veenweidegebied

De gevolgen voor de inlaatbehoefte, de afvoer van oppervlaktewater en voor de
maaiveldaling

Alterra-rapport 1872
ISSN 1566-7197

P.C. Jansen, E.P. Querner en J.J.H. van den Akker

Onderwaterdrains in het veenweidegebied

In opdracht van: Provincie Zuid-Holland, Directie Leefomgeving en Bestuur, afdeling Water

Onderwaterdrains in het veenweidegebied

De gevolgen voor de inlaatbehoefte, de afvoer van oppervlaktewater en voor
de maaiveldaling

P.C. Jansen, E.P. Querner en J.J.H. van den Akker

Alterra-rapport 1872

Alterra Wageningen UR
Wageningen, 2009

Referaat

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 maaiveldddaling*. Wageningen, Alterra, rapport 1872. 56 blz.; 10 fig.; 16 tab.; 8 ref.

De toepassing van onderwaterdrains wordt gezien als een mogelijke oplossing om bodemdaling in veenweidegebieden te vertragen en te komen tot duurzaam water- en bodembeheer. Deze nieuwe techniek roept nog wel de nodige vragen op. In dit rapport wordt de extra inlaatbehoefte in de zomer en de extra afvoer in de winter plus de gevolgen voor de maaiveldddaling door toepassing van onderwaterdrains gekwantificeerd voor een aantal waterbeheersscenario's. Hiervoor wordt een hydrologisch model gebruikt dat in het kader van het project 'Waarheen met het Veen' voor het gebied rond de plaats Zegveld is ontwikkeld. Onderwaterdrains in combinatie met een hoger peil verminderen de maaiveldddaling aanzienlijk. Nadelige effecten van onderwaterdrains zijn extra inlaatwater en meer water om uit te pompen. Door het toepassen van flexibelere peilen en wellicht ook dynamische peilen zijn deze nadelige effecten te minimaliseren. De nadelen kunnen bijna geheel worden gecompenseerd door in bepaalde perioden grotere marges in het streefpeil toe te staan en door te anticiperen met inlaten en afvoeren op de weersverwachting.

Trefwoorden: Onderwaterdrains, maaiveldddaling, veenoxidatie, veen, veenweide, Groene hart

ISSN 1566-7197

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

© 2009 Alterra Wageningen UR, Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Telefoon 0317 48 07 00; fax 0317 41 90 00; e-mail info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra Wageningen UR.

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

Alterra-rapport 1872

Wageningen, 2009

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
1.1 Achtergrond	13
1.2 Aanvullende onderzoeksvragen	13
2 Werkwijze	15
2.1 Hydrologisch model Zegveld	15
2.2 Scenarioberekeningen	16
3 Resultaten	23
3.1 Gevoeligheidsanalyse	23
3.1.1 Drainageweerstand	23
3.1.2 Wegzijging	24
3.2 Scenarioberekeningen	25
3.2.1 Maaiveldaling	25
3.2.2 Verschillen in tijd	26
3.2.3 Verschillen in hoeveelheden	30
3.2.4 Verschillen in duur	33
3.2.5 Extreme neerslaghoeveelheid	37
4 Discussie en een mogelijk optimaal scenario	41
4.1 Discussie	41
4.2 Een mogelijk optimaal scenario	42
5 Conclusies	47
Literatuur	51
Bijlage I. Het oppervlaktewatermodel SIMWAT	53
Bijlage II. De drainageweerstand volgens Hooghoudt en Ernst	55

Woord vooraf

Onderwaterdrains kunnen in het veenweidegebied de bodemdaling vertragen en bijdragen aan een duurzaam water- en bodembeheer. In het kader van het project 'Waarheen met het Veen?' wordt onder andere onderzoek verricht naar de voor- en nadelen van de toepassing van onderwaterdrains, maar niet alle vragen komen daar aan bod. De provincie Zuid-Holland heeft samen met de waterschappen in het westelijk veenweidegebied een aantal extra vragen over met name de extra inlaatbehoefte in de zomer en de extra afvoer in de winter door onderwaterdrains. Deze vragen zijn in een aanvullend onderzoeksvoorstel voorgelegd aan Alterra.

Het onderzoek is gefinancierd door de provincies Zuid-Holland, Noord-Holland, Utrecht en het Hoogheemraadschap van Rijnland. Coördinatie en begeleiding is uitgevoerd door M.F. Bulterman van de provincie Zuid-Holland en J.J. Reitsma van het Hoogheemraadschap van Rijnland.

Samenvatting

Al sinds eeuwen zakt het maaiveld in de veenweidegebieden met enkele mm per jaar. Sinds de jaren 60 wordt het westelijk veenweidegebied op vele plaatsen dieper ontwaterd door een slootpeil van ca 60 cm –mv in te stellen. Daardoor is de maaiveldddaling meer dan verdubbeld. Steeds meer komen de nadelen van deze versnelde maaiveldddaling aan het licht: houten funderingspalen komen boven water en gaan rotten, het aantal peilgebieden is sterk toegenomen en het waterbeheer wordt moeilijker en duurder, natuurgebieden draineren naar de steeds dieper wordende landbouwgebieden en verdrogen, nutriëntenrijke kwel neemt toe, het areaal veengrond neemt per jaar met 2% af en de CO₂-emissie door afbraak van veen is 2 - 3% van de Nederlandse emissie

Een belangrijke oorzaak van de maaiveldddaling is dat in droge zomers de grondwaterstand in een veenweideperceel vele decimeters onder het slootpeil kan zakken. Dit komt omdat de verdamping van het gras zo groot is dat de infiltratie vanuit de sloot deze verdamping niet kan bijhouden. Uit langjarig onderzoek blijkt dat de maaiveldddaling zeer sterk afhankelijk is van de diepste grondwaterstanden die optreden (Van den Akker et al., 2007). Dit is logisch omdat bij diepe grondwaterstanden veel 'vers' veen aan uitdroging en oxidatie (biologische afbraak) bloot wordt gesteld. De toepassing van onderwaterdrains wordt gezien als een mogelijke oplossing om maaiveldddaling in veenweidegebieden te vertragen. Onderwaterdrains worden 10 tot 20 cm onder het slootpeil aangelegd, zodat in droge perioden water via de drains in het perceel kan infiltreren. De drains liggen om de 4 tot 6 m dwars op de perceelsrichting. Door de infiltratie van slootwater wordt voorkomen dat het grondwater diep onder het slootpeil zakt. De hoge grondwaterstand zorgt ervoor dat het veen onder water blijft en zo wordt geconserveerd in zuurstofloze omstandigheden. In natte perioden kan het grondwater tot in het maaiveld stijgen. Door de drainerende werking van onderwaterdrains wordt dit voorkomen en blijft de grond droger en heeft een betere draagkracht. Voor de melkveehouderij levert dit een belangrijke toename van de bedrijfszekerheid op, omdat het land eerder kan worden bereiden, de koeien eerder en langer op het land kunnen en berijding- en vertrapingschade wordt beperkt. Daarnaast wordt er minder water (met daarin eventueel mest) via de oppervlakte naar de greppel en sloot afgevoerd. De verbeterde drainage biedt ook de mogelijkheid om het slootpeil te verhogen, waardoor de effectiviteit van onderwaterdrains om de maaiveldddaling te beperken sterk wordt verhoogd. Daar staat uiteraard wel tegenover dat het voordeel voor de melkveehouderij van een verbeterde draagkracht wat afneemt. Omdat problemen met te nat land en te lage draagkracht vaak in het vroege voorjaar optreden en de maaiveldddaling door de diepste grondwaterstanden in de zomer wordt bepaald, kunnen beide voordelen (verbeterde draagkracht en beperking maaiveldddaling) eenvoudig worden gecombineerd door in de winter en vroege voorjaar een lager slootpeil aan te houden dan in de zomer.

Toepassing van onderwaterdrains heeft tot gevolg dat de grondwaterstand dichters rondom het slootpeil schommelt en het grondwater-oppervlaktewater systeem sneller reageert dan in het geval zonder onderwaterdrains. De verwachting is dat bij toepassing van onderwaterdrains in de polder meer water moet worden afgevoerd en ingelaten dan in een polder zonder onderwaterdrains. Hoeveel extra er moet worden ingelaten en afgevoerd is echter onbekend. Daarnaast is onbekend in hoeverre de extra aanvoer en inlaat kan worden beperkt door bijvoorbeeld een wat grotere slootpeilfluctuaties toe te staan (flexibel peil en dynamisch peil) en/of meer open water te creëren. Om hier meer inzicht in te krijgen door een aantal watermanagement scenario's te beschouwen, is een hydrologisch model gebruikt dat in het kader van het project 'Waarheen met het Veen?' (www.waarheemmethetveen.nl) voor het gebied rond de plaats Zegveld is ontwikkeld (Jansen *et al.*, 2007). Met dit model zijn scenario's doorgerekend met verschillende peilstrategieën zonder en met onderwaterdrains. Voor scenario's zonder onderwaterdrains is een streefpeil van 60 cm aangehouden en voor

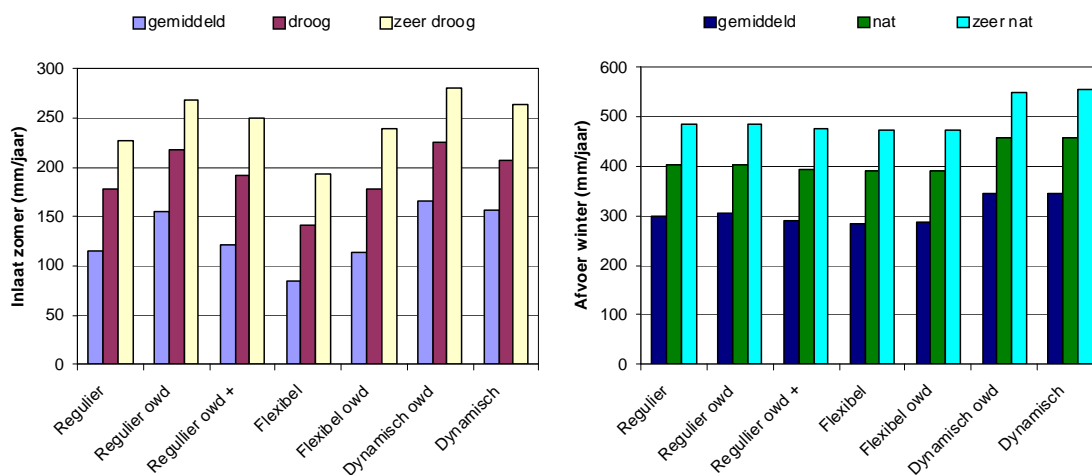
scenario's met drains is het streefpeil 50 cm. Beschouwd zijn een veengrond zonder en met een afdekkende kleilaag van ca 30 cm dik. De inzijging in de omgeving van Zegveld is gering (0,2 mm/dag).

Doorgerekend zijn scenario's met:

- Regulier peilbeheer: De fluctuatie rond het streefpeil is klein (+/-2 cm).
- Regulier peilbeheer met een iets grotere fluctuatie (+/-5cm) en extra oppervlaktewater (uitbreiding van 12% open water naar 20% van het totale oppervlakte). Extra oppervlaktewater heeft als doel de kleinere berging, die het gevolg is van de onderwaterdrains plus het hogere peil, met name tijdens piekbuien op te vangen.
- Flexibel peilbeheer: De fluctuatie rond het streefpeil is groot (+/-10cm) en moet ertoe leiden dat minder water ingelaten en afgevoerd wordt.
- Dynamisch peilbeheer: Hier wordt uitgegaan van regulier peilbeheer waarbij, afhankelijk van de grondwaterstand en de neerslagverwachting, het slootpeil met 5 cm extra wordt verhoogd of verlaagd.
- Piekbui na een natte periode in de winter. Beschouwd worden een reguliere situatie en toepassing van onderwaterdrains bij een drooglegging van 50 cm, 60 cm en 50 cm met 8% extra open water.

De resultaten van de scenario's betreffende veen zonder een kleidek zijn samengevat in Figuur a. Voor veengronden met een kleidek van ca. 30 cm dikte zijn de uitkomsten vergelijkbaar. Als referentie wordt de reguliere situatie genomen. Allereerst valt op dat de hoeveelheid inlaatwater in een zeer droge zomer bijna het dubbele is van dat wat in een gemiddelde zomer wordt ingelaten. De benodigde hoeveelheid inlaatwater wordt bij toepassing van onderwaterdrains duidelijk groter. Meer open water en toestaan van een grotere slootpeilfluctuatie compenseren voor een belangrijk deel de extra hoeveelheid inlaatwater bij gebruik van onderwaterdrains. Flexibel peilbeheer resulteert in een duidelijke afname van de benodigde hoeveelheid inlaatwater. Bij een combinatie van flexibel peilbeheer en onderwaterdrains is de benodigde hoeveelheid inlaatwater nagenoeg hetzelfde als in de reguliere situatie. Bij dynamisch peilbeheer zoals hier gedefinieerd is de hoeveelheid inlaatwater met of zonder onderwaterdrains bijna evenveel en duidelijk meer dan bij de reguliere situatie. De afvoer in de winter is voor bijna alle scenario's min of meer gelijk. Alleen de beide scenario's met dynamisch peilbeheer laten een duidelijke grotere afvoer zien.

Door de piekbui stijgt het slootpeil bij de situaties met drains met ca. 12 cm en zonder drains met ca. 14 cm. Onderwaterdrains gecombineerd met extra open water levert de laagste slootpeilverhoging, namelijk ca. 8 cm. Deze stijging komt bovenop een al verhoogd slootpeil van 3 tot 4 cm door de voorafgaande natte periode. Vooral bij een drooglegging van 50 cm kan de tijdelijke slootpeilverhoging van ca. 15 cm resulteren in onderlopen van enkele lager gelegen gedeelten in het peilgebied.



Figuur a.

Benodigde inlaat (zomer) en afvoer (winter) bij de verschillende scenario's. owd = met onderwaterdrains, owd + = met onderwaterdrains met extra open water en toelaten van een wat grotere slootpeilfluctuatie.

Voor een gemiddelde zomer en winter zijn in Tabel 1 de uitkomsten samengevat voor veengronden zonder kleidek. Voor veengronden met een kleidek van ca. 30 cm dikte zijn de uitkomsten vergelijkbaar, alleen is de absolute maaiveld daling dan ongeveer 4 mm/jr kleiner en wordt bij gebruik van onderwaterdrains slechts 2 tot 3 mm/jr.

Tabel 1.

Samenvatting van de scenarioberekeningen van veengronden zonder kleidek.

Scen.	Peilbeheer	drains	Maaiveld daling (mm/jr)		Inlaat zomer (mm/jr)		Capaciteitsvraag *)	
			mv. daling	Afname	Inlaat	Toename	Inlaat	Afvoer
1	regulier	nee	10.7	0	116		+	+
2	regulier	ja	6.2	4,5	155	40	+/-	+/-
5	regulier +	ja	6.7	4,0	122	7	-	+/-
7	flexibel	nee	11.7	-1,0	85	-30	+/-	+/-
8	flexibel	ja	7.5	3,2	113	-3	-	-
11	dynamisch	ja	6.3	4,4	166	51	+/-	-
13	dynamisch	nee	10.0	0,7	156	41	+/-	+

*) Beschouwd zijn het totale aantal dagen en de duur dat inlaat en afvoer op volle capaciteit werken.

+ Vaak matige capaciteit nodig en verspreid over langere periode.

- Regelmatig volle capaciteit nodig gedurende meer dagen achter elkaar.

Regulier + = met onderwaterdrains met extra open water en toelaten van een wat grotere slootpeilfluctuatie.

Geconcludeerd kan worden dat onderwaterdrains in combinatie met een 10 cm hoger slootpeil de maaiveld daling aanzienlijk verminderen. Dit gaat wel ten koste van een duidelijke grotere inlaatbehoefte. Door een grotere slootpeilfluctuatie toe te staan (+/- 10 cm bij flexibel peil en +/- 5 cm bij scenario 5), eventueel gecombineerd met extra open water (scen. 5), kan deze extra inlaatbehoefte bij onderwaterdrains sterk worden gereduceerd. Bij flexibel peilbeheer gaat dit wel enigszins ten koste van de afname van de maaiveld daling. Dynamisch peilbeheer, zoals dat hier is ingesteld, waarbij gestuurd wordt op de grondwatersituatie, levert niets extra op, en ten opzichte van de reguliere situatie zonder onderwaterdrains moet er zelfs veel

meer water worden ingelaten. De slootpeilverhoging door een piekbui is bij een situatie met of zonder onderwaterdrains nagenoeg hetzelfde. Extra oppervlaktewater dempt de verhoging van het slootpeil bij piekbuien.

Naar aanleiding van de resultaten van de scenarioberekeningen is tot slot een extra serie scenario's met onderwaterdrains doorgerekend. Daarbij werd er naar gestreefd om met een dynamisch peil bestaande uit een combinatie van regulier en flexibel peil tot een optimum te komen wat betreft de hoeveelheid in te laten water en de beperking van de maaiveldddaling. Bij het flexibele peil was de marge in dit geval + of -10 cm. Het streefpeil in de zomer was 50 cm –mv. In de winter is gerekend met slootpeilen van respectievelijk 40, 50 en 60 cm –mv. Resumerend kan worden gesteld dat een scenario met onderwaterdrains, waarbij afhankelijk van de neerslagverwachting een regulier of flexibel peilbeheer wordt toegepast, minder inlaatwater nodig heeft dan wanneer uitsluitend regulier of dynamisch peilbeheer wordt toegepast. De inlaat in de zomer komt nagenoeg overeen met die van het referentiescenario (scenario 1, regulier peilbeheer zonder drains). De maaiveldddaling liggen in al deze gevallen in dezelfde orde van grootte als die van de scenario's met de laagste maaiveldddaling (van 6,2 tot 6,6 mm/jaar).

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In het veenweidegebied ontstaan tussen de sloten in de zomer normaliter holle grondwaterspiegels omdat de infiltratie vanuit de sloten de gewasverdamping en wegzijging niet kan bijhouden. Vooral aan het einde van de zomer kan daardoor de grondwaterstand decimeters onder het slootpeil uitkomen, waardoor een dikke laag veen aan zuurstof (en daardoor aan oxidatie) wordt blootgesteld. Door toepassing van onderwaterdrains worden de veengebieden in natte perioden beter gedraineerd en in droge perioden gaat water op bredere schaal infiltreren waardoor de grondwaterstand niet veel dieper wegzakt dan het slootpeil. Het toepassen van onderwaterdrains is een nieuwe techniek waar nog betrekkelijk weinig over bekend is.

Op de proefboerderij Zegveld liep tot 31 december 2007 een praktijkproef, waarbij het effect van onderwaterdrains met onderlinge afstanden van 4, 8 en 12 meter op de grondwaterstanden, maaiveldddaling, grasopbrengsten en draagkracht is onderzocht (Hoving *et al.*, 2008). In het kader van het project 'Waarheen met het Veen?' (www.waarheenmethetveen.nl) is de praktijkproef uitgebreid met metingen aan vochtspanningen, de in- en uitstromende hoeveelheid drainwater en de waterkwaliteit van bodem-, sloot- en drainwater. Hieruit zijn de volgende (voorlopige) conclusies getrokken:

- Onderwaterdrains kunnen, afhankelijk van drainafstand, de grondwaterstanden effectief beheersen. De draagkracht neemt toe.
- Het beperken van het uitzakken van de grondwaterstanden is gunstig voor het vertragen van maaiveldddaling en veenafbraak (en de daaruit volgende CO₂-emissie).
- De afname van de maaiveldddaling kon op de proefboerderij nog niet direct worden gemeten door het trage verloop ervan en de onnauwkeurigheid als gevolg van zwel en krimp.
- Door de toepassing van onderwaterdrains neemt de buffercapaciteit van het gebied af waardoor inlaatbehoefte en afvoer toeneemt. Dit wordt versterkt als daarbij de drooglegging in de zomer wordt verkleind en meer wordt gefixeerd door de peilvariatie te beperken.

Met name de extra inlaatbehoefte en extra afvoer bij een vast polderpeil roept vragen op. In een modelstudie die eveneens in het kader van het project 'Waarheen met het Veen?' heeft plaatsgevonden (Jansen *et al.*, 2007) wordt de extra inlaat van oppervlaktewater ingeschat op 10%. De extra afvoer in de winter blijft beperkt tot enkele procenten. Niet gekeken is hoe groot deze percentages zijn onder meer extreme weersituaties en evenmin in hoeverre verschillende peilvariaties de extra inlaat en afvoer beïnvloeden en wat daarvan de consequenties zijn voor de maaiveldddaling. Een bijkomende vraag is wat één en ander betekent voor de waterberging. Hogere peilen beperken de berging. Extra oppervlaktewater zou dat kunnen compenseren.

1.2 Aanvullende onderzoeksvragen

Het hydrologische model waarmee in het gebied rond Zegveld de extra inlaat en afvoer als gevolg van onderwaterdrains is berekend (Jansen *et al.*, 2007) biedt de mogelijkheid om aanvullende scenarioberekeningen uit te voeren. Deze scenario's moeten antwoord geven op de volgende vragen:

- Wat is de extra waterinlaatbehoefte door onderwaterdrains in een gemiddelde, droge en zeer droge zomer.
- Hoe groot is de extra afvoer door onderwaterdrains in een gemiddelde, natte en zeer natte winter en in een erg natte zomer.

- Hoe verhoudt flexibel en dynamisch peilbeheer met onderwaterdrains zich tot regulier peilbeheer met onderwaterdrains.
- Wat is het effect van een piekbui na een natte periode op de grondwaterstand en het slootpeil en wat is het effect van onderwaterdrains daarop.

Een regulier peilbeheer kent een geringe fluctuatie rond het streefpeil. Bij het bereiken van de hoogst toegestane peil wordt water afgevoerd en bij het laagst toegestane peil wordt water ingelaten. Bij een flexibel peilregime zijn de marges tussen streefpeil en hoogste peil en tussen streefpeil en laagste peil groter. De doelstelling van een flexibel peil is in het algemeen om minder water in te laten en uit te pompen en zo meer gebiedseigen water vast te kunnen houden. Daardoor is het gemiddelde slootpeil in de winter wat hoger en in de zomer wat lager dan bij het reguliere peilbeheer. Bij een dynamisch peilregime wordt juist in de winterperiode het slootpeil wat lager gezet om de draagkracht te verbeteren en in de zomer wordt het juist hoger ingesteld om de maaiveldaling en CO₂-emissie te beperken. Daarbij wordt rekening gehouden met de neerslagverwachting en het slootpeil of de grondwaterstand. Daarvan afhankelijk kan preventief water worden ingelaten of juist worden uitgemalen.

Tabel 2.

Scenario's waarbij vragen over waterinlaat en waterafvoer beantwoord dienen te worden.

Nr	Peilregime	Kleilaag aanwezig	Onderwaterdrains	Fluctuatieslootpeil	Anticiperen op neerslag	Opmerking
1	regulier	nee	nee	klein	nee	
2	regulier	nee	ja	klein	nee	
3	regulier	ja	nee	klein	nee	
4	regulier	ja	ja	klein	nee	
5	regulier	nee	nee	matig	nee	extra open water
6	regulier	ja	ja	matig	nee	extra open water
7	flexibel	nee	nee	groot	nee	
8	flexibel	nee	ja	groot	nee	
9	flexibel	ja	nee	groot	nee	
10	flexibel	ja	ja	groot	nee	
11	dynamisch	nee	ja	klein	ja	
12	dynamisch	ja	ja	klein	ja	
13	dynamisch	nee	nee	klein	ja	

In Tabel 2 staat een uitgesplitst overzicht van de scenario's waarvoor vragen beantwoord dienen te worden. Behalve voor veengronden gelden de vragen ook voor veengronden met een dun kleidek (dikte ca. 30 cm). Veengronden met een dun kleidek komen op grote schaal voor in het westelijk veenweidegebied. Hoewel deze gronden minder gevoelig zijn voor maaiveldaling kunnen onderwaterdrains daar ook voor een effectieve vermindering van de maaiveldaling zorgen. De vragen 5 en 6 uit Tabel 2 hebben als doel om de extra bergingsopgave bij gebruik van onderwaterdrains in beeld te brengen. Die wordt gecompenseerd door een hoger slootpeil toe te staan en meer open water te creëren.

In hoofdstuk 2.2 wordt verder invulling aan randvoorwaarden van de vragen gegeven.

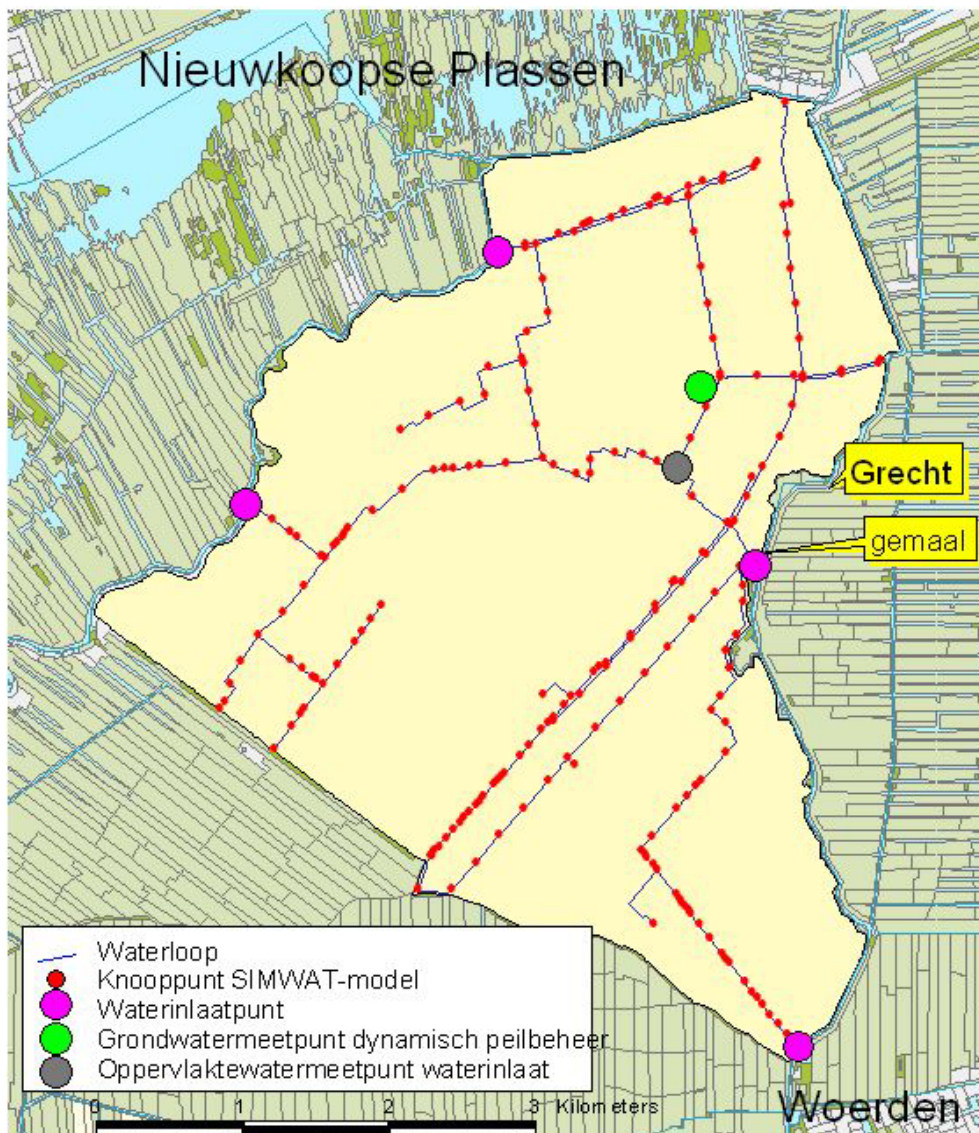
2 Werkwijze

2.1 Hydrologisch model Zegveld

In het veenweidegebied is rond de plaats Zegveld als onderdeel van het project 'Waarheen met het Veen?' een strategiestudie met het hydrologisch grondwatermodel SIMGRO uitgevoerd. Het doel van die studie was om de effecten van verschillende peilstrategieën op maaiveldaling, geschiktheid voor landbouw en natuur, en de waterkwaliteit te onderzoeken (Jansen *et al.*, 2007). Met het SIMGRO-model zijn grondwaterstanden berekend en aan de hand van de LG3¹ de maaiveldaling. Meer in detail is toen voor de afwateringseenheid in het oosten van het gebied met de oppervlaktewatermodel SIMWAT gekeken naar de waterinlaat en waterafvoer (Figuur 1). Dit SIMWAT-model wordt in deze studie gebruikt om voor verschillende scenario's beter inzicht te krijgen in de gevolgen van onderwaterdrains op de waterhuishouding. In Bijlage I staat een technische toelichting van het model. Om met SIMWAT situaties door te rekenen, moet rekening worden gehouden met randvoorwaarden voor onder andere drainage en infiltratie. De hoeveelheden worden op tijdstap-basis uitgewisseld met het grondwatermodel SIMGRO. Het grondwatermodel functioneert dan als een deelsysteem dat water vraagt of over heeft. Het oppervlaktewatermodel dient als het transportmiddel om het water in de waterlopen uit te wisselen. Door middel van gemalen en waterinlaten worden waterstanden in de polders binnen zekere grenzen gehouden.

Het studiegebied, dat een oppervlakte heeft van 1945 ha, watert via het gemaal Zegveld af op de Grecht. De maximale afvoercapaciteit van de twee pompen van het gemaal bedragen samen ongeveer 14 mm/dag. In deze studie wordt met de capaciteit van één pomp gerekend om de ruimtelijke verschillen in peilen in het studiegebied te beperken. De maximale capaciteit van deze enkele pomp is 5,5 mm/dag. In natte perioden zal de pomp daardoor wat langer werken dan normaliter het geval is. Bij het doorrekenen van de piekbui is wel een grote afvoercapaciteit aangehouden. In overleg met Hoogheemraadschap Rijnland is deze vastgesteld op 14,4 mm/dag, ofwel 10 m³/min/100 ha (pers. mededeling Jan Jelle Reitsma). Bij het gemaal en op vier andere plekken kan water worden ingelaten. Als dit overal op maximale capaciteit gebeurt stroomt er ca. 3 mm/dag het gebied binnen. Een hoeveelheid van 2,5 - 3,0 mm/dag is niet ongebruikelijk in veenweidegebieden (pers. mededeling Jan van Bakel, Alterra). Er treedt wegzijging op die varieert in ruimte en tijd, maar gemiddeld bedraagt de flux in de zomer 0,2 mm/dag. Wegzijging (of een neutrale situatie) is overigens ook een voorwaarde om onderwaterdrains toe te kunnen passen.

¹ Gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden op iedere 14e en 28e van de maand.



Figuur 1.
Overzicht van het studiegebied.

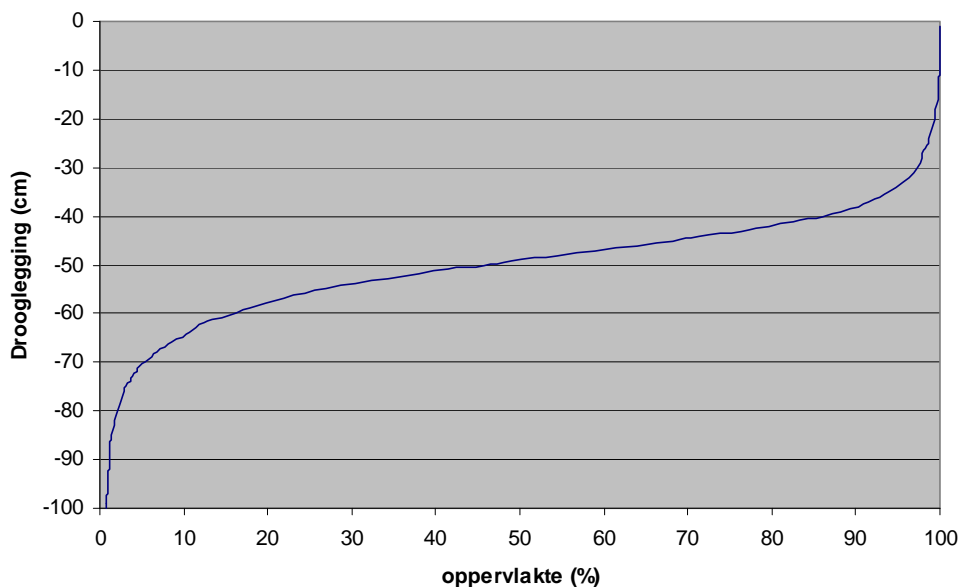
Omdat het hier een deskstudie betreft is een aantal aanpassingen doorgevoerd die de interpretatie van de uitkomsten vereenvoudigen. Zo is als gewas overal van gras uitgegaan en is verondersteld dat in het hele gebied of alleen veen zonder kleidek, of alleen veen met een dun kleidek voorkomt. De dikte van de kleilaag bedraagt 30 cm. Bodemkundig gezien vallen deze gronden in de klasse 'waardveengronden' (Stiboka, 1970). Niet aangepast zijn de maaiveldhoogte, het waterlopenpatroon en de peilvakken met de onderbemalingen. Binnen de onderbemalingen kunnen ook verschillende peilregimes worden toegepast.

2.2 Scenarioberekeningen

Voor de scenarioberekeningen is de drooglegging - dit is het verschil tussen maaiveldhoogte en het slootpeil - gebaseerd op de gemiddelde maaiveldhoogte van de peilvakken. In totaal liggen er 46 peilvakken binnen het studiegebied. De grootte ervan varieert van 1,5 tot 550 ha. Veel van de kleinere peilvakken zijn onderbemalingen. De gemiddelde maaiveldhoogte van de peilvakken is berekend uit het Algemeen Hoogtebestand

Nederland (AHN). De hoogtes van bebouwing, wegen, water en dijken zijn hierbij niet in beschouwing genomen. Voor de scenario's zonder onderwaterdrains is uitgegaan van een permanente drooglegging van 60 cm beneden de gemiddelde maaiveldhoogte. Ook de onderbemalingen krijgen deze drooglegging. Een drooglegging van 60 cm is in het westelijk veenweidegebied niet ongebruikelijk.

De drooglegging waarop onderwaterdrains goed functioneren ligt tussen de 35 en 60 cm beneden maaiveld. Bij een kleinere drooglegging wordt het land zo nat dat een rendabele landbouw niet meer mogelijk is en dan neemt bovendien de uitspoeling van mest toe. Bij een grotere drooglegging dan 60 cm bestaat de kans dat de grondwaterstanden juist dieper worden en dat de maaiveld daling toeneemt. In dit onderzoek wordt 50 cm als drooglegging voor scenario's met onderwaterdrains aangehouden. Dankzij de geringe variatie in maaiveldhoogte binnen de peilvakken en onderbemalingen valt 80% van het gebied binnen de marge van 35-60 cm (Figuur 2). 15% heeft een drooglegging groter dan 60 cm en 5% kleiner dan 35 cm. Die plekken zijn bij de berekeningen wel gewoon meegenomen. In de praktijk zullen na verloop van tijd onderwaterdrains immers ook op minder geschikte plekken komen te liggen als gevolg van ongelijke maaiveld daling en peil aanpassingen.



Figuur 2.

Variatie in drooglegging in het hele studiegebied bij een gemiddelde drooglegging van 50 cm.

Randvoorwaarden scenario's

In Tabel 3 staat een overzicht van de scenario's en van randvoorwaarden. De scenario's komen overeen met de vragen uit Tabel 2. Voor de scenario's met een regulier peilregime (nrs. 1 t/m 4) wordt een kleine marge van (+ of - 2 cm) ten opzichte van het streefpeil aangehouden. Als deze marge bij het gemaal wordt overschreden wordt water afgevoerd tot het streefpeil weer is bereikt en als de marge wordt onderschreden bij het daarvoor geselecteerde knooppunt (Figuur 1) wordt water ingelaten. Door de toepassing van onderwaterdrains nemen de fluctuaties in grondwaterstand, en daardoor de berging in het perceel, flink af. De scenario's 5 en 6 zijn bedoeld om de kleinere berging als gevolg van onderwaterdrains te compenseren. Daarom hebben deze scenario's een grotere toegevoegde berging in de vorm van meer open water en een iets ruimere fluctuatie in het slootpeil (+ of - 5 cm). Deze beide scenario's zijn met name gericht op het opvangen van piekbuien (zie ook hoofdstuk 3.2.5). Bij de scenario's met een flexibel peilbeheer (nrs. 7 t/m 10) bedraagt de marge + of - 10 cm rond het streefpeil. Als het slootpeil bij flexibel peilbeheer langdurig hoog of laag is zonder dat er water

hoeft te worden afgevoerd of ingelaten kan het toch te nat of te droog worden. Besloten is om dan na maximaal tien dagen het slootpeil weer op streefniveau te brengen.

Bij dynamisch peilbeheer wordt het reguliere peilregime van de scenario's 1 t/m 4 aangehouden, maar voor het inlaten en afvoeren van water wordt ook rekening gehouden met de neerslagverwachting en de grondwaterstand. De 'voorspelling' van de hoeveelheid neerslag is via de invoergegevens natuurlijk bekend, maar hier wordt uitgegaan van een 'betrouwbare' marge in de voorspelling. Daarvoor is verondersteld dat als er binnen drie dagen 15 mm of meer neerslag valt, dat daar dan al rekening mee kan worden gehouden. De waterinlaat (peilverhoging) en waterafvoer (peilverlaging) hangt daarnaast ook af van de grondwaterstand. De randvoorwaarden voor de dynamisch peilbeheersscenario's met onderwaterdrains (nrs. 11 en 12) zien er als volgt uit:

Waterinlaat:

- 1a. slootpeil verhogen met vijf cm (tot 45 cm-mv) indien:
 - grondwaterstand meer is dan 55 cm-mv
 - in komende drie dagen *minder* dan 15 mm neerslag wordt verwacht
 - grondwaterstand aan het dalen is
- 1b. slootpeil verhogen met vijf cm (tot 45 cm-mv) indien:
 - grondwaterstand meer is dan 60 cm-mv
- 1c. slootpeil op 50 cm-mv brengen als grondwaterstand weer hoger is dan 55 cm-mv

Waterafvoer:

- 2a. waterpeil verlagen met vijf cm (tot 55 cm-mv) indien:
 - grondwaterstand minder is dan 45 cm-mv
 - in komende drie dagen *meer* dan 15 mm neerslag wordt verwacht
 - grondwaterstand aan het stijgen is
- 2b. waterpeil verlagen met vijf cm (tot 55 cm-mv) indien:
 - grondwaterstand minder is dan 40 cm-mv
- 2c. slootpeil op 50 cm-mv brengen als grondwaterstand weer lager is dan 45 cm-mv

Voor het scenario zonder onderwaterdrains (13) zijn wel dezelfde randvoorwaarden voor grondwaterstanden en neerslag aangehouden, maar de in te stellen slootpeilen zijn, conform de andere scenario's zonder onderwaterdrains, 10 cm lager.

Tabel 3.

Overzicht de scenario's en van de randvoorwaarden voor de peilregimes.

Scenari- rio	Peil- regime	Klei- laag	Onder- water- drains	Zomer- peil	Winter- peil	Fluctuatie slootpeil	Aanpas- sen peil tot 1)	Dagen te nat of te droog 2)	Antici- peren op het weer	Opmer- king
1	Huidig	nee	nee	-60 cm	-60 cm	-58 tot -62	60 cm	nvt	nee	
2	Huidig	nee	ja	-50	-50	-48 tot -52	50	nvt	nee	
3	Huidig	ja	nee	-60	-60	-58 tot -62	60	nvt	nee	
4	Huidig	ja	ja	-50	-50	-48 tot -52	50	nvt	nee	
5	Huidig	nee	ja	-50	-50	-45 tot -55	50	nvt	nee	extra open
6	Huidig	ja	ja	-50	-50	-45 tot -55	50	nvt	nee	water 3)
7	Flexibel	nee	nee	-60	-60	-50 tot -70	60	10	nee	
8	Flexibel	nee	ja	-50	-50	-40 tot -60	50	10	nee	
9	Flexibel	ja	nee	-60	-60	-50 tot -70	60	10	nee	
10	Flexibel	ja	ja	-50	-50	-40 tot -60	50	10	nee	
11	Dynamisch	nee	ja	-50	-50	-48 tot -52	4)	nvt	4)	
12	Dynamisch	ja	ja	-50	-50	-48 tot -52	4)	nvt	4)	
13	Dynamisch	nee	nee	-60	-60	-58 tot -62	4)	nvt	4)	

1) Als water moet worden ingelaten of uitgemalen wordt dat gedaan tot dit peil is bereikt.

2) Aantal achtereenvolgende dagen dat het peil (te) hoog of (te) laag mag zijn zonder dat de kritische grens voor aan-of afvoer is bereikt. Bij meer dagen wordt water afgevoerd cq. Ingelaten.

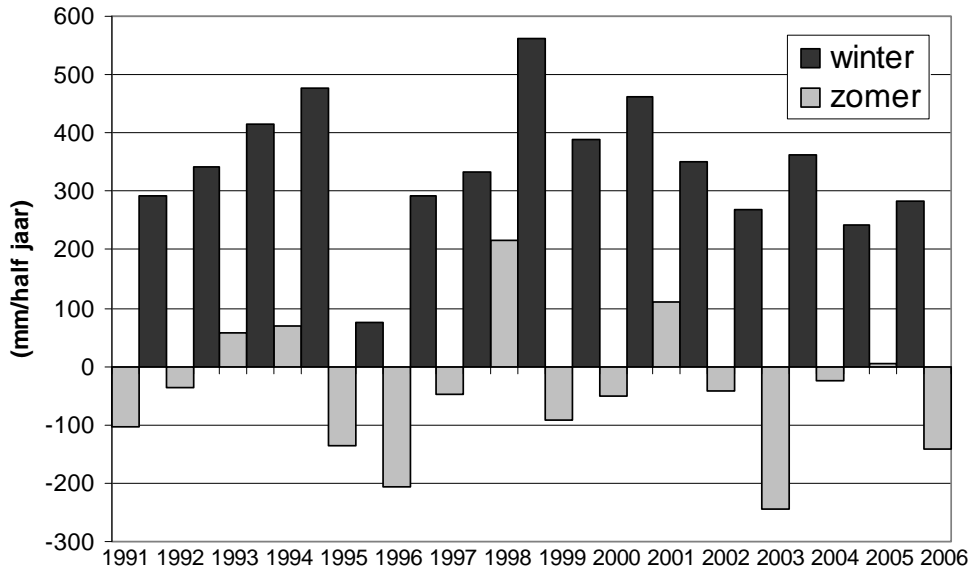
3) De oppervlakte open water wordt hiervoor uitgebreid van 12 naar 20%. Daarnaast wordt meer peilfluctuatie toegestaan.

4) Zie tekst.

Selectie van droge en natte perioden

De berekeningen worden uitgevoerd voor een periode van 15 jaar (1991-2006). In deze periode komen (zeer) droge en (zeer) natte perioden voor (Figuur 3). Voor de analyse van waterinlaatbehoefte en waterafvoer worden de volgende perioden apart onderscheiden:

- inlaatbehoefte in een gemiddelde zomer (15 jaar)
- inlaatbehoefte in een droge zomer (1995)
- inlaatbehoefte in een zeer droge zomer (2003)
- afvoer in een gemiddelde winter (15 jaar)
- afvoer in een natte winter (1994)
- afvoer in een natte zomer (1998)



Figuur 3.
Neerslagoverschot (neerslag-referentieverdamping) per zomer- en winterhalfjaar.

Analyse van een piekbui

Voor de analyse van waterafvoer bij piekbuien zijn geen aparte scenario's opgesteld maar worden de scenario's 1 t/m 6 doorgerekend met een aparte neerslagreeks. De scenario's met een regulier peilbeheer en onderwaterdrains (2 en 4), die een streefpeil hebben van 50 cm, worden ook doorgerekend met een streefpeil van 60 cm.

Flexibele en dynamische peilregimes zijn niet in beschouwing genomen omdat op het moment dat de bui valt het slootpeil tot 10 cm boven of onder het streefpeil kan staan. Het effect van de bui zal dan met een min of meer navenant verschil doorwerken op het verdere verloop van de grondwaterstand en het slootpeil.

Uitgangspunt van de berekeningen is een stabiele, natte periode waarin een bui valt die door Hoogheemraadschap Rijnland is aangeleverd en die als representatief wordt beschouwd (pers. mededeling Jan Reitsma). Het gaat hierbij om een hoeveelheid van 67 mm die binnen twee dagen valt. De tijdstappen waarmee de modellen SIMGRO en SIMWAT rekenen zijn teruggebracht van 0,25 en 0,05 dag naar respectievelijk één uur en een half uur, zodat het verloop van waterstanden en afvoeren op uurbasis kunnen worden gevolgd.

Maaiveld daling

Voor de maaiveld daling is in de pilotstudie Zegveld een rekenwijze toegepast die uit de LG3 en de veendikte een schatting gaf van de jaarlijkse maaiveld daling. De LG3 is het gemiddelde van de drie laagste van de grondwaterstanden van elke 14^e en 28^e van de maanden april t/m oktober. De gebruikte relaties zijn afgeleid uit de bestaande relaties tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en maaiveld daling (Van den Akker *et al.*, 2007). Omdat hier de maaiveld daling van twee bodemprofielen over een periode van 15 jaar wordt berekend kunnen de oorspronkelijke relaties worden gebruikt:

- veengronden zonder kleidek: maaiveld daling (mm/jr) = 23,54 * GLG (meters) - 6.68
- veengronden met kleidek: maaiveld daling (mm/jr) = 23,54 * GLG (meters) - 10.47

Gevoeligheidsanalyse

Op twee onderdelen wordt voor een selectie van de scenario's eerst een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Over de drainage- en infiltratieweerstand van de onderwaterdrains is nog weinig bekend. Daarom wordt scenario 2 ook met gehalveerde en verdubbelde weerstanden doorgerekend. Uitgangspunt zijn de waarden die afkomstig zijn van onderzoek dat op de proefboerderij Zegveld is uitgevoerd (pers. mededeling R. Hendriks, Alterra) en die ook in de modelstudie Zegveld zijn gebruikt (Jansen *et al.*, 2007). Daarbij gaat het om een draindiepte van 0,7 m en een drainafstand 4 m. De drainage- en infiltratieweerstand zijn beide 27 dagen. In de praktijk zal de drainage wat sneller verlopen dan de infiltratie omdat het verschil tussen een hoge grondwaterstand en slootpeil van 50 cm al gauw groter is dan het verschil tussen het slootpeil en lage grondwaterstanden die niet veel dieper dan het slootpeil zullen wegzakken.

Om een beeld te krijgen van de uitkomsten bij een andere wegzijging worden de scenario's 2 en 8 ook doorgerekend met een wegzijging die 0,5 mm/dag groter is dan de vigerende flux.

3 Resultaten

3.1 Gevoeligheidsanalyse

3.1.1 Drainageweerstand

Voor de berekeningen met onderwaterdrains zijn de karakteristieken uit de pilotstudie Zegveld gebruikt. Om een beeld te krijgen van de gevoeligheid van het model voor gebruikte drainage- en infiltratieweerstanden zijn berekeningen met scenario 2 uitgevoerd met de oorspronkelijke weerstanden van 27 dagen en met weerstanden die een factor 2 kleiner en een factor 2 groter zijn. In Tabel 4 staan de resultaten. Een halvering van de weerstand leidt tot iets meer dynamiek in de waterinlaat en -afvoer die beide tevens iets toenemen. Per saldo daalt de GHG 3 cm, stijgt de GLG met een enkele centimeter en neemt de maaiveld-daling met 0,3 mm/jr af. Een verdubbeling van de weerstand heeft het omgekeerde tot gevolg. De aanpassing van de grondwaterstand aan het streefpeil verloopt wat moeizamer. De waterinlaat en afvoer zijn wat kleiner, de GHG is iets hoger, de GLG lager en de maaiveld-daling neemt met een halve millimeter per jaar toe.

De resultaten laten zien dat de gevoeligheid voor de gebruikte karakteristieken klein is. De conclusie is dan ook dat de onzekerheid over de grootte van de weerstanden weinig consequenties heeft voor de uitkomsten. Dat de effecten van een halvering of verdubbeling van de drainageweerstand gering zijn, kan niet gezien worden als een mogelijkheid om de afstand tussen onderwaterdrains aan te passen. Bij een verdubbeling van de afstand zullen de veranderingen (grootte van de opbolling of 'holling') in de grondwaterstanden sterk toenemen.

Tabel 4.

Gevoeligheid van waterinlaat, waterafvoer, grondwaterstand en maaiveld-daling van scenario 2 voor de infiltratie- en drainage-weerstand van onderwaterdrains.

	aanpassing weerstand onderwaterdrains	
	0,5 x	2,0 x
Waterinlaat		
gemiddelde zomer	+4%	-5%
droge zomer	+2%	-2%
zeer droge zomer	+1%	-3%
Waterafvoer		
gemiddelde winter	+1%	-1%
natte winter	+1%	-1%
zeer natte winter	+1%	geen verschil
GHG	3 cm lager	4 cm hoger
GLG	2 cm hoger	2 cm lager
Maaiveld-daling	0,3 mm/jr minder	0,5 mm/jr meer

Bij de berekeningen is verondersteld dat de onderwaterdrains onder de gegeven omstandigheden goed blijven functioneren. Oorzaken van een toename van de drainageweerstand kunnen bijvoorbeeld zijn het totaal uitvallen van een drain of het langzaam dichtslibben van de omgeving rondom de drain. Het totaal uitvallen van een drain kan het gevolg zijn van beschadiging of volledig lostrekken van de eindbuis bij het schonen van de sloot. Ook kan tijdens de aanleg van de drain al iets mis zijn gegaan. Dichtslibben kan het gevolg zijn van het meevoeren van deeltjes tijdens het infiltreren en (bio-)chemische reacties. Het effect van het volledig wegvallen van de drain of toename van de drainageweerstand is in Bijlage II nader beschouwd met de formule van Hooghoudt, aangevuld met de formule van Ernst (Van Beers, 1976).

3.1.2 Wegzijing

In het studiegebied treedt in de zomer een wegzijing op van bijna 0,2 mm/dag. Op andere plekken in het westelijk veenweidegebied kan dit meer of minder zijn, maar ook kwel is mogelijk. De kwelgebieden zijn voor deze studie niet interessant omdat daar de toepassing van onderwaterdrains niet zinvol is. Door de kwel heeft de grondwaterstand al de neiging om niet diep uit te zakken.

In de veengebieden met wegzijing kunnen grote verschillen in de wegzijgingsflux optreden. Afhankelijk van de opbouw van de bodem en de afstand tot diep ontwaterde droogmakerijen kan dit oplopen tot meer dan een millimeter per dag. De vraag is of onderwaterdrains - die ook dan effectief zijn - veel meer inlaatwater vereisen om de grondwaterstand in de zomer op een hoog niveau te houden.

Het verband tussen de grootte van de wegzijing en de waterinlaat is hier nagegaan voor de scenario's 2 en 8, beide met onderwaterdrains en een veengrond, maar ingeval van scenario 2 met een regulier peilregime en bij scenario 8 met een flexibel peilregime. Om een grotere wegzijgingsflux te bewerkstelligen is in de modelinvoer de stijghoogte in de diepere bodemlagen verminderd. Getracht is om tot een toename van de wegzijgingsflux met 0,5 mm/dag te komen. De resultaten staan in Tabel 5.

Met een grotere wegzijing daalt de grondwaterstand een paar centimeter waardoor de maaiveldvaling wat groter wordt. De grotere wegzijing wordt gecompenseerd met extra inlaatwater tenzij er een neerslagoverschot is. Dan compenseert neerslag de grotere wegzijing geheel of gedeeltelijk. Wanneer bijvoorbeeld gedurende 10 dagen achtereen water wordt ingelaten, bedraagt de extra waterinlaat $10 \times 0,5 = 5$ mm. Over een hele gemiddelde zomer volstaat bij scenario 2 een extra waterinlaat van 59 mm tegenover een 87 mm grotere wegzijing. In droge en zeer droge zomers wordt gedurende meer dagen water ingelaten en wordt dit verschil kleiner.

In de winter is de wegzijing iets groter dan in de zomer, maar het verschil is eveneens ongeveer 0,5 mm/dag ofwel 87 mm in een half jaar. Deze hoeveelheid is gedeeltelijk terug te vinden in een kleinere afvoer; 59 mm minder bij scenario 2 en 67 mm minder bij scenario 8. Naarmate een winter natter is wordt het verschil tussen verminderde afvoer en grotere wegzijing kleiner.

Tussen de scenario's 2 en 8 zijn er wel verschillen in waterinlaat en waterafvoer (zie hoofdstuk 3.2.3), maar voor beide peilregimes liggen de hoeveelheden extra inlaatwater en minder waterafvoer bij een grotere wegzijing in dezelfde orde van grootte.

Tabel 5.

Effect van de toename van de wegzijging met 0,5 mm/dag op de waterinlaat, waterafvoer en maaiveldaling voor de scenario's 2 en 8.

Scen.	peil- regime	wegzijging zomerhalfjaar (mm)	waterinlaat (mm)			waterafvoer (mm)			mv daling (mm)	
			gemiddeld	zomer droog	zomer zeer droog	gemiddeld	winter nat	zomer zeer nat		zomer nat
2	regulier	35	155	218	268	304	402	484	230	6.2
2a	regulier	122	214	282	337	245	335	411	193	6.8
<i>Verschil</i>		-87	-59	-64	-69	59	67	73	37	-0.6
8	flexibel	35	113	178	239	287	390	472	188	7.5
a	flexibel	122	175	243	318	220	317	399	146	8.2
<i>Verschil</i>		-87	-62	-65	-79	67	73	73	42	-0.7

De resultaten in Tabel 5 laten zien dat met een grotere wegzijging de waterinlaat in droge perioden substantieel toeneemt. Daar staat tegenover dat de waterafvoer minder wordt. Ook moet er rekening mee worden gehouden dat de maaiveldaling wat sneller verloopt. Verschillen in peilfluctuatie hebben hier weinig invloed op.

3.2 Scenarioberekeningen

3.2.1 Maaiveldaling

In Tabel 6 staat voor alle 13 scenario's het gemiddelde van de maaiveldalingen die uit de GLG over de hele periode (1991-2006) is berekend. De verschillen in maaiveldaling voor de veengronden zonder kleidek variëren van 11,7 tot 6,2 mm/jr. De maaiveldaling bij regulier peilbeheer zonder onderwaterdrains is met 10,7 mm/jr conform de verwachting.

Tabel 6.

Maaiveldaling berekend met de GLG over de periode 1991-2006.

Scenario	peilregime	Bodem	Onderwaterdrains	maaiveldaling (mm/jr)
1	regulier	veen	nee	10.7
2	regulier	veen	ja	6.2
5	regulier +	veen	ja	6.7
7	flexibel	veen	nee	11.7
8	flexibel	veen	ja	7.5
11	dynamisch	veen	ja	6.3
13	dynamisch	veen	nee	10
3	regulier	met kleilaag	nee	7.3
4	regulier	met kleilaag	ja	2.8
6	regulier +	met kleilaag	ja	3.2
9	flexibel	met kleilaag	nee	8.1
10	flexibel	met kleilaag	ja	4.0
12	dynamisch	met kleilaag	ja	2.5

+ : met extra berging

Voor de veengronden met een kleidek wordt met de lineaire relatie tussen GLG en maaiveldaling bij een GLG ondieper dan 45 cm geen maaiveldaling meer berekend. Voor de scenario's met onderwaterdrains (4, 6, 10 en 12) ligt de GLG daar dicht bij in de buurt. Het streefpeil is immers 50 cm en er is dankzij de drains een goede uitwisseling tussen slootpeil en grondwaterstand.

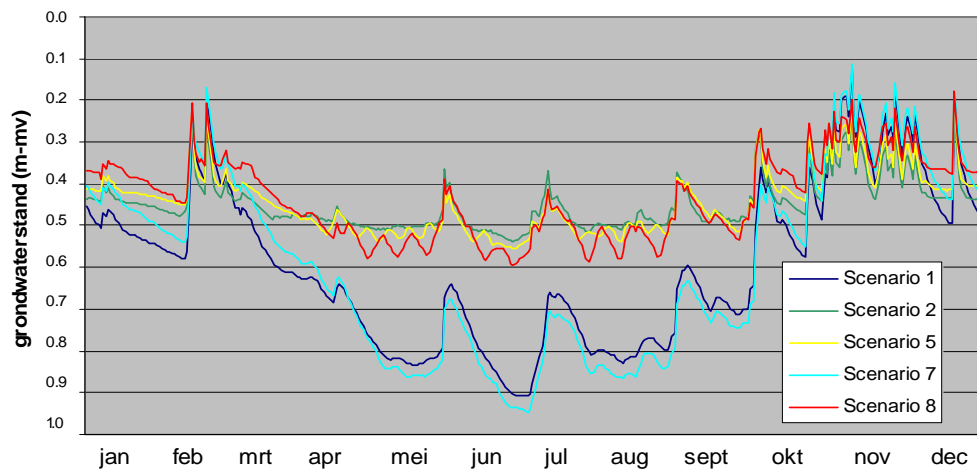
3.2.2 Verschillen in tijd

Slootpeilen, grondwaterstanden en waterinlaat en -afvoer hangen sterk samen met de weersomstandigheden. Vooral rond afwisselingen tussen droge en natte perioden ontstaan complexe waterbewegingen. Daarom zijn hier voor een één jaar (1996) het verloop van grondwaterstand, slootpeil en waterinlaat en afvoer gegeven. Dit jaar wordt gekenmerkt door een droog voorjaar met een natte periode in februari/maart en een vrij droge zomer waarin geregeld water wordt ingelaten. Dan volgt een droge winter, maar in de herfst komt nog wel een matig natte periode voor waarin de nodige hoeveelheid water moet worden afgevoerd. De resultaten staan in de Figuur 4. De uitkomsten voor dynamisch peilbeheer (scenario's 11 t/m 13) worden apart besproken. Er zijn geen uitkomsten voor de scenario's met de veengronden met een kleilaag afgebeeld. Deze zijn vrijwel identiek aan die van de veengronden.

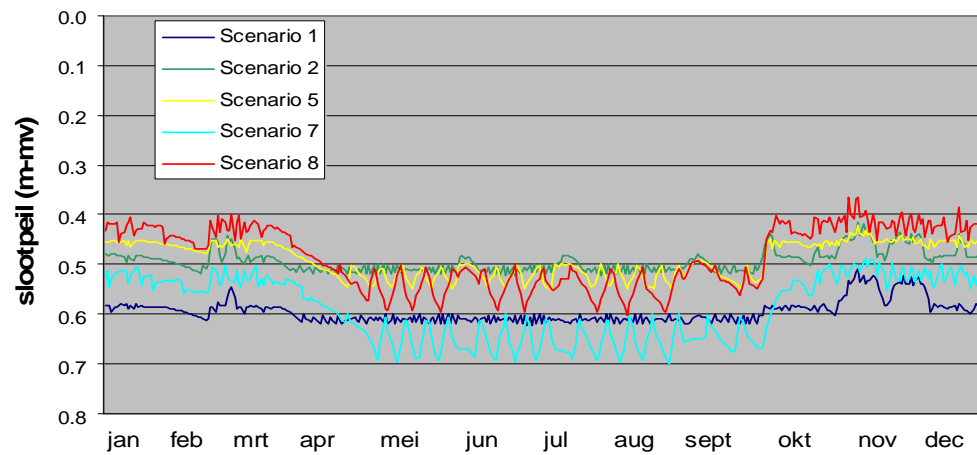
Figuur 4A geeft het grondwaterstandsverloop voor een plek midden in het studiegebied. Naast scenario 1, dat als referentie gezien kan worden, is het verloop van de scenario's 2, 5, 7 en 8 afgebeeld. In Figuur 4B staat het slootpeil en in Figuur 4C de waterinlaat en -afvoer. Afhankelijk van het verschil tussen de werkelijke en de gemiddelde maaiveldhoogte, de afstand tot sloten, inlaatpunt en gemaal zullen de grondwaterstanden en slootpeilen van plaats tot plaats verschillen. Figuur 4A laat zien dat de grondwaterstand voor de scenario's zonder onderwaterdrains (1 en 7) soms meer dan 30 cm dieper wegzakt dan in de scenario's met onderwaterdrains. Een gedeelte van het verschil hangt samen met het 10 cm lagere slootpeil, maar de rest wordt veroorzaakt door de afwezigheid van onderwaterdrains. Zonder onderwaterdrains kan er veel minder snel voldoende water tot in het midden van de percelen doordringen. In de natte periode is de grondwaterstand voor de scenario's zonder onderwaterdrains het hoogste. Een flexibel peil (scenario 7) resulteert in een groter verschil tussen hoogste en laagste peil dan het reguliere peilregime (scenario 1). Met onderwaterdrains neemt de fluctuatie in grondwaterstand evenredig toe met de fluctuatie in het slootpeil (toename: scenario's 2 - 5 - 7).

In het hydrologische model is de waterinlaat gekoppeld aan het peil op de plek die in Figuur 4B is afgebeeld. De peilen blijven in dit voorbeeld daarom goed binnen de toegestane fluctuaties. Bij het bereiken van het laagste niveau start de waterinlaat. Dit gaat door tot het streefpeil wordt bereikt. Bij een kleine fluctuatie (scenario's 1 en 2) gebeurt dit frequent. Naarmate de fluctuatie groter is, gebeurt dit minder vaak. Maar het duurt dan wel langer voor het streefpeil weer wordt bereikt. De inlaatcapaciteit is hier voldoende om het streefpeil weer te kunnen bereiken. Als de capaciteit beduidend kleiner zou zijn dan de behoefte, die in droge perioden meer dan 3 mm/dag kan zijn, zal het slootpeil blijven dalen. In de afgebeelde zomer komen geen erg natte perioden voor waarin het peil ver boven het streefpeil uitkomt en de waterafvoer wordt gestart. De enige uitzondering hierop is scenario 2. De kleine berging maakt samen met de kleine fluctuatie dat kort na de waterafvoer al gauw weer waterinlaat nodig is. Deze snelle afwisseling is er de oorzaak van dat waterinlaat en waterafvoer van dit scenario groot zijn (zie ook hfst. 3.2.3). In de periode oktober - december komt het slootpeil in dit voorbeeld niet meer onder het streefpeil omdat het neerslagoverschot groter is dan de wegzijging. In deze periode wordt geregeld water afgevoerd. De afvoer hangt af met het peil vlak voor het gemaal. Het uitmalen van water gaat door tot daar het streefpeil is bereikt. Elders in het gebied, zoals bij de plek van Figuur 4B (zie Figuur 1), kan het peil dan nog hoger zijn.

A. Grondwaterstanden



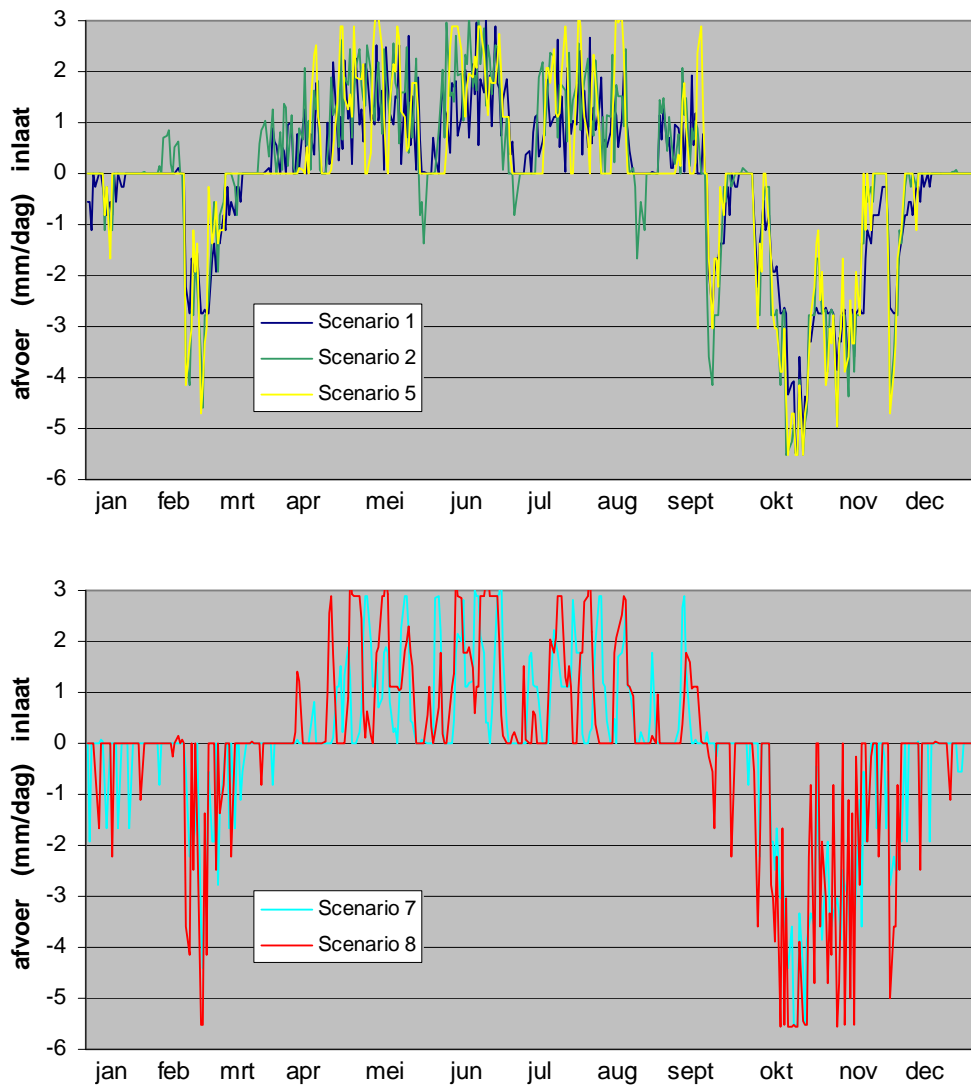
B. Slootpeilen



Figuur 4 A en B (C op volgende pagina).

Voorbeeld van grondwaterstanden en slootpeilen voor een representatieve plek in 1996 voor de scenario's 1, 2, 5, 7 en 8.

C. Waterinlaat en waterafvoer

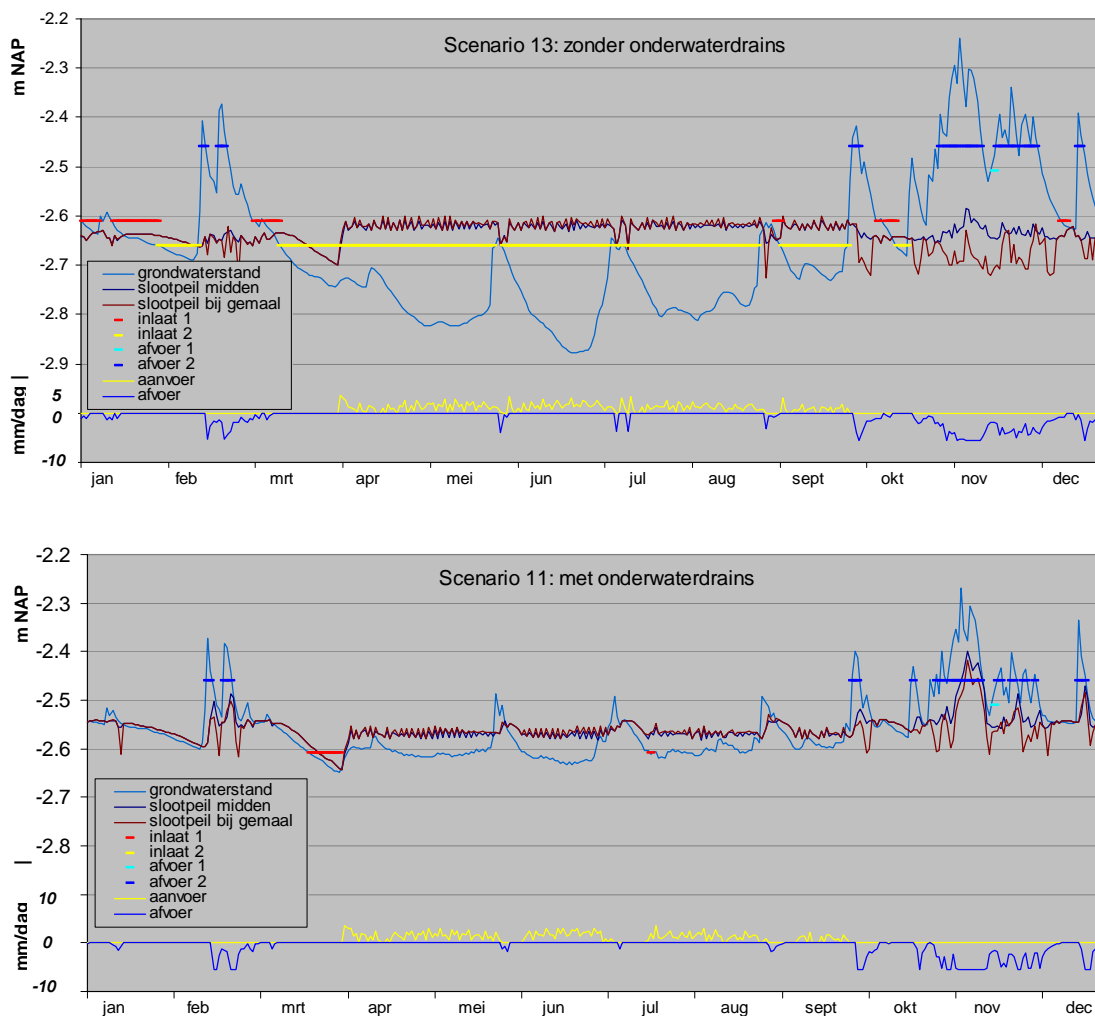


Figuur 4C.

(A en B op vorige pagina) Voorbeeld van waterinlaat en afvoer in 1996 voor de scenario's 1, 2, 5, 7 en 8.

Voor het dynamisch peilregime zijn grondwaterstand, slootpeil en aan- en afvoer in Figuur 5 samengebracht om de samenhang met de randvoorwaarden voor waterinlaat en afvoer aan te kunnen geven. De waterstanden zijn ten opzichte van NAP gegeven omdat het maaiveld bij de plek waar naar de grondwaterstand wordt gekeken een paar cm lager is dan de gemiddelde maaiveldhoogte van de peileenheid (2,06 m - NAP). Met dit verschil is rekening gehouden bij het toetsen aan de randvoorwaarden voor waterinlaat en waterafvoer.

In Figuur 5 staan de resultaten voor de scenario's voor veen zonder en met onderwaterdrains (scenario's 13 en 11). In hoofdstuk 2.2 staat een overzicht van de randvoorwaarde voor waterafvoer en inlaat. Onder Figuur 5 zijn ze beknopt weergegeven. De verkleinde schaal voor de waterinlaat en waterafvoer laat nog wel zien met welke frequentie inlaat en afvoer plaatsvindt. De hoeveelheden komen in hoofdstuk 3.2.3 aan bod. Voor de scenario's met dynamisch peilbeheer is de waterinlaat in de winter geblokkeerd. Het extra verlagen van het slootpeil als aan de randvoorwaarden voor waterafvoer wordt voldaan zou anders maken dat, zodra niet meer aan die voorwaarden wordt voldaan, geregeld weer (onnodig) water wordt ingelaten.



Figuur 5.

Grondwaterstanden, slootpeilen en waterinlaat en afvoer in 1996 voor de scenario's 13 en 11 alsmede de perioden waarin aan randvoorwaarden voor waterinlaat en waterafvoer wordt voldaan.

- *) afvoer 1: afvoer volgens voorwaarde: grondwaterstand <45 cm-mv en stijgt, neerslagverwachting >15mm
- afvoer 2: afvoer volgens voorwaarde: grondwaterstand <40 cm-mv
- inlaat 1: inlaat volgens voorwaarde: grondwaterstand >55 cm-mv en daalt, neerslagverwachting <15mm
- inlaat 2: inlaat volgens voorwaarde: grondwaterstand >60 cm-mv

Verder moet er rekening mee worden gehouden dat de randvoorwaarden worden getoetst aan de grondwaterstand op één plek. Verondersteld is dat deze plek representatief is voor grote delen van het gebied. Maar op andere plekken en in andere peilvakken zal het grondwaterstandsverloop anders kunnen zijn.

Het grondwaterstandsverloop in Figuur 5 (scenario 13 zonder drains en scenario 11 met drains) komt goed overeen met dat van de scenario's zonder dynamisch peilbeheer; 1 (regulier zonder drains) en 2 (regulier met drains). Zonder onderwaterdrains is de grondwaterstand in de zomer iets hoger dan scenario 1 omdat regelmatig aan randvoorwaarden voor waterinlaat (inlaat 2 voorwaarde) wordt voldaan en het slootpeil dan 5 cm extra wordt opgezet. Dat heeft zijn weerslag op de grondwaterstand. Met onderwaterdrains wordt slechts af en toe aan de randvoorwaarden voor waterinlaat (inlaat 1 voorwaarde) voldaan. De grondwaterstand is in het voorbeeld altijd hoger dan de randvoorwaarden voor inlaat 2. Daarom wordt hier het peil ook vrijwel

nooit extra opgezet (voor zover dat lukt in heel korte perioden) en is de grondwaterstand ook niet hoger dan bij scenario 2.

De plek waar het slootpeil gekoppeld is aan de sturing voor de waterinlaat ligt op enige afstand van de inlaatpunten en van het gemaal (Figuur 1). Het aan- en afslaan van het afvoergemaal hangt af van het slootpeil direct voor het gemaal. De extra verlaging van het peil met 5 cm (als aan de randvoorwaarden voor waterafvoer wordt voldaan) is in Figuur 5 niet altijd zichtbaar. De oorzaak is dat als in natte perioden meer neerslag valt dan de pompcapaciteit groot is, het langere tijd kan duren voor het slootpeil daalt. Verder staat in Figuur 5 het daggemiddelde afgebeeld. Binnen een dag wordt de lagere stand soms wel bereikt en dan wordt de afvoer onderbroken. Met onderwaterdrains wordt het extra verlaagde slootpeil het minst vaak bereikt omdat er dankzij de drains een snelle nalevering van water uit het studiegebied plaatsvindt. En dat heeft weer tot gevolg dat de grondwaterstand ook snel daalt en er eerder niet meer aan de randvoorwaarden voor waterafvoer wordt voldaan.

Aan de randvoorwaarden waarbij ook naar neerslag en dalende of stijgende grondwaterstand wordt gekeken (afvoer 1 en inlaat 1) wordt het minst, en dan alleen gedurende een korte periode (soms maar 1 dag), voldaan. In Tabel 7 staat het gemiddelde aantal dagen dat aan de randvoorwaarden voor afvoer en waterinlaat wordt voldaan. Dat wil niet zeggen dat de afvoer of inlaat dan ook altijd op volle capaciteit functioneert, want bij een te laag slootpeil vermindert of stopt de afvoer en bij een te hoog peil de vermindert of stopt de inlaat. Als niet aan de voorwaarden wordt voldaan hangt de waterinlaat- en afvoer uitsluitend af van de reguliere fluctuatie.

Tabel 7.

Gemiddelde aantal dagen per jaar dat aan randvoorwaarden voor afvoer in het hele jaar en waterinlaat alleen in de zomer wordt voldaan. Een volledige beschrijving van de randvoorwaarden staat in hoofdstuk 2.2.

	Scen. 13 geen drains	Scen. 11 wel drains
inlaat 1 alleen zomer: grwstand >55 cm-mv en daalt, neerslagverwachting < 15 mm	13 dagen	4
inlaat 2 alleen zomer: grwstand >60 cm-mv	128	0,3
afvoer 1 zomer en winter: grwstand <45 cm-mv en stijgt, neerslagverwachting > 15mm	2	3
afvoer 2 zomer en winter: grwst< 40 cm-mv	59	62

Resumerend kan worden gesteld dat een dynamisch peilbeheer zoals die hier is toegepast in combinatie met onderwaterdrains geen toegevoegde waarde heeft. Zonder onderwaterdrains wordt het slootpeil met de gehanteerde randvoorwaarden weinig op de neerslagverwachting gestuurd. Deze conclusies zijn NIET algemeen geldend zijn voor een dynamisch peilbeheer. Het is goed mogelijk dat met een ander dynamisch peilbeheer met andere voorwaarden veel meer effect wordt gesorteerd en als bijvoorbeeld niet alleen op beperking van de maaiveldddaling wordt geoptimaliseerd, maar ook op het minimaliseren van de hoeveelheid in te laten water.

3.2.3 Verschillen in hoeveelheden

In Tabel 8 staan de hoeveelheden waterinlaat, waterafvoer en de verandering in GHG, GLG en maaiveldddaling voor de scenario's met veengronden zonder kleidek. In Tabel 9 staan de resultaten voor de veengronden met kleidek. De waterinlaat is gerelateerd aan de hoeveelheid die voor het referentiescenario (1) in een gemiddelde zomer zonder onderwaterdrains nodig is. Die hoeveelheid is op 100% gefixeerd. Voor dit scenario is ook de waterafvoer in een gemiddelde winter op 100% gesteld, evenals de waterafvoer in een natte zomer. De rela-

tieve hoeveelheden en veranderingen in grondwaterstanden en maaiveld daling zijn representatief voor gebieden met vergelijkbare omstandigheden.

Tabel 8.

Resultaten van de scenario berekeningen voor de waterinlaat en waterafvoer, met de grondwaterstand en de maaiveld daling voor veengronden zonder kleidek.

Scen. nr	Peil-regime	Onderw. drains	Waterinlaat				Waterafvoer			GHG (cm)	GLG (cm)	Maaiveld daling (mm/jr)		
			zomer		winter	zomer								
			gemid.	droog zr	droog	gemidd.	nat	zr	nat					
1	regulier	nee	mm	116	177	227	299	401	485	203	absoluut	28	74	10,7
			%	100	153	196	100	134	162	100	tov scen 1	-	-	-
2	regulier	ja	mm	155	218	268	304	402	484	230	absoluut	31	55	6,2
			%	134	189	232	102	134	162	113	tov scen 1	3	-19	-4,5
5	regulier +)	ja	mm	122	191	250	290	393	475	196	absoluut	31	57	6,7
			%	106	165	216	97	131	159	97	tov scen 1	3	-17	-4,0
7	flexibel	nee	mm	85	141	193	283	392	471	170	absoluut	26	78	11,7
			%	74	122	167	95	131	157	84	tov scen 1	-2	4	1,0
8	flexibel	ja	mm	113	178	239	287	390	472	188	absoluut	29	60	7,5
			%	98	154	207	96	130	158	93	tov scen 1	1	-14	-3,2
11	dynamisch	ja	mm	166	225	281	344	456	550	277	absoluut	32	55	6,3
			%	144	195	243	115	152	184	136	tov scen 1	4	-19	-4,4
13	dynamisch	nee	mm	156	207	263	344	458	556	273	absoluut	28	71	10,0
			%	135	179	228	115	153	186	134	tov scen 1	0	-3	-0,7

+) Extra open water en iets grotere fluctuatie.

*) Positief: dieper/meer; negatief: ondieper/minder.

**) Uitgangspunt bij scenario 1: GHG 28 cm; GLG 74 cm; maaiveld daling 10,7 mm/jr.

Bespreking van de scenario's met veen zonder kleidek:

Voor scenario 1 neemt de waterinlaatbehoefte ten opzichte van een gemiddelde zomer in een droge zomer met 53% toe tot 153% en in een erg droge zomer verdubbelt de inlaatbehoefte bijna tot 196%. De waterafvoer in natte en zeer natte jaren zijn voor dit scenario respectievelijk 34% en 62% groter dan in een gemiddelde winter.

De aanleg van onderwaterdrains in het hele gebied (scenario 2) heeft tot gevolg dat in een gemiddelde zomer 34% meer water moet worden ingelaten en in een gemiddelde winter 2% meer moet worden afgevoerd. De extra inlaat in droge en zeer droge zomers ten opzichte van een gemiddelde zomer en de extra afvoer in natte en zeer natte winters ten opzichte van een gemiddelde winter zijn vergelijkbaar met de extra inlaat en afvoer bij het referentiescenario (1). De gevolgen voor GHG (3 cm lager), GLG (19 cm hoger) en maaiveld daling (4,5 mm/jr minder groot) zijn aanzienlijk.

Scenario 5, met 8% meer oppervlaktewater en een wat ruimere peilfluctuatie, brengt de waterinlaat en -afvoer dicht in de buurt van de uitgangssituatie (scenario 1). In een droge en zeer droge zomer is de waterinlaatbehoefte wel groter (respectievelijk 191 mm en 250 mm) dan in scenario 1 (respectievelijk 177 en 227 mm). De GLG stijgt met 17 cm en de maaiveld daling neemt af met 4,0 mm/jr.

Scenario 7, flexibel peilbeheer zonder onderwaterdrains, heeft de meest positieve gevolgen voor waterinlaat en waterafvoer. De waterinlaat neemt ten opzichte van scenario 1 met 26% af tot 74% en de afvoer met 5%

tot 95%. Ook in droge en zeer droge zomers neemt de waterinlaatbehoefte af (ca. 5%). De GLG daalt daarentegen met 4 cm waardoor de maaiveld daling met 1,0 mm/jr toeneemt. Wanneer dit scenario wordt uitgebreid met onderwaterdrains plus een 10 cm hoger peil (scenario 8) is ongeveer evenveel inlaatwater nodig als in de referentiesituatie, maar er is wel een duidelijk positief effect op de GLG (14 cm hoger) en op de maaiveld daling (-3,2 mm/jr).

Scenario 11 heeft onderwaterdrains en een dynamisch peilbeheer. Om maaiveld daling tegen te gaan is dit een gunstig scenario, vergelijkbaar met scenario 2, maar tegelijkertijd is wel het meeste inlaatwater nodig en wordt ook het meeste water afgevoerd. Voor de grote inlaat en afvoer is niet een eenduidige oorzaak aan te wijzen. Door het strikt volgen van de voorwaarden voor waterinlaat en waterafvoer wordt niet altijd 'slim' ingespeeld op de omstandigheden. Verder maakt de sturing van het slootpeil via de grondwaterstand dat er een vertraging optreedt waardoor (te) lang water wordt ingelaten of afgevoerd. De toename van de hoeveelheid inlaatwater ten opzichte van scenario 2 bedraagt 11 mm. In een gemiddelde winter wordt 40 mm en in een zeer natte winter 66 mm meer afgevoerd. Het verschil komt door de (gemiddeld) lagere grondwaterstand en slootpeil, maar ook door minder wegzijging en een grotere kwel vanuit de boezem. Dynamisch peilbeheer zonder onderwaterdrains (scenario 13) komt voor wat de GLG en maaiveld daling betreft iets gunstiger uit dan het referentiescenario (1) omdat het slootpeil langdurig 5 cm hoger is (figuur. 5, randvoorwaarde inlaat 2). De inlaat en afvoer van water zijn wel aanzienlijk groter.

Ten opzichte van het totale neerslagoverschot zijn de verschillen in de winterse afvoer tussen de verschillende scenario's klein. Door onderwaterdrains te combineren met een hoger slootpeil neemt de buffercapaciteit af (kleinere onverzadigde zone), maar deze neemt weer toe met meer oppervlaktewater en/of met een flexibeler peilbeheer. Daarnaast zal bij een hogere grondwaterstand de afvoer via wegzijging wat groter zijn. Wel zal, bij eenzelfde maalcapaciteit van de pompen, bij een grotere berging minder snel wateroverlast ontstaan. In natte en zeer natte winters is echter al snel geen (extra) buffering meer mogelijk waardoor er nauwelijks meer verschillen in afvoer tussen de verschillende scenario's zijn. In natte winters en zeer natte winters neemt de afvoer bij alle scenario's met 30-40% respectievelijk 60-70% toe ten opzichte van de afvoer in een gemiddelde winter. De grootste hoeveelheden komen voor rekening van de scenario's met een dynamisch peilregime.

Tabel 9.

Resultaten van de scenario berekeningen voor de waterinlaat en waterafvoer met de grondwaterstand en de maaiveld daling voor veengronden met een kleidek.

Scen. nr	Peil-regime	Onderw. drains	Waterinlaat			Waterafvoer			Maaiveld				
			zomer	zomer	zomer	winter	zomer	zomer	GHG (cm)	GLG (cm)	daling (mm/jr)		
			gemid.	droog	zr droog	gemidd.	nat	zr nat	nat				
3	regulier	nee	mm 118	177	223	300	401	484	207	absoluut	27	75	7,3
			% 100	150	188	100	134	161	100	tov scen 1	-	-	-
4	regulier	ja	mm 158	219	267	305	403	484	235	absoluut	31	55	2,8
			% 134	185	226	102	134	161	113	tov scen 1	4	-20	-4,5
6	regulier +)	ja	mm 125	195	250	291	394	475	198	absoluut	31	57	3,2
			% 106	165	212	97	131	158	96	tov scen 1	4	-18	-4,1
9	flexibel	nee	mm 87	140	195	283	389	472	174	absoluut	25	78	8,1
			% 74	118	165	94	130	157	84	tov scen 1	-2	3	0,8
10	flexibel	ja	mm 115	183	243	288	391	474	192	absoluut	29	60	4,0
			% 97	155	206	96	130	158	93	tov scen 1	2	-15	-3,3
12	dynamisch	ja	mm 170	226	283	344	456	550	282	absoluut	31	55	2,5
			% 144	191	240	115	152	183	136	tov scen 1	4	-20	-4,8

+) Extra open water en iets grotere fluctuatie.

Verhoudingsgewijs is de afvoer in een natte zomer voor de meeste scenario's vergelijkbaar met die in een gemiddelde winter. Opvallend zijn hier wel de scenario's 2, 11, 13 en 7. Bij scenario 2, 11 en 13 neemt de afvoer met respectievelijk 13, 36 en 34% toe. Bij deze scenario's is de peilfluctuatie klein. Bij de scenario's 2 en 11 komt daar nog een kleinere bergingscapaciteit bij door de onderwaterdrains met peilverhoging. Een flexibeler peilbeheer zonder onderwaterdrains (scenario 7) heeft dankzij een grotere bergingscapaciteit en een wat flexibeler peilregime tot gevolg dat 16% minder water wordt afgevoerd.

De resultaten voor veengronden met een kleidek (Tabel 9) zijn goed vergelijkbaar met die van de veengronden zonder kleidek (Tabel 8). De afname van de maaiveld dalingen (alleen bij scenario 9, flexibel peil zonder drains is een toename) is bij veengronden met een dun kleidek ongeveer gelijk aan die van veengronden zonder kleidek. Doordat de maaiveld daling van een veengrond met een kleidek van ca. 30 cm met een regulier peilregime (scenario 3) 7,3 mm/jaar is, zijn de overblijvende absolute maaiveld dalingen duidelijk kleiner dan bij de verschillende scenario's van een veengrond zonder kleidek.

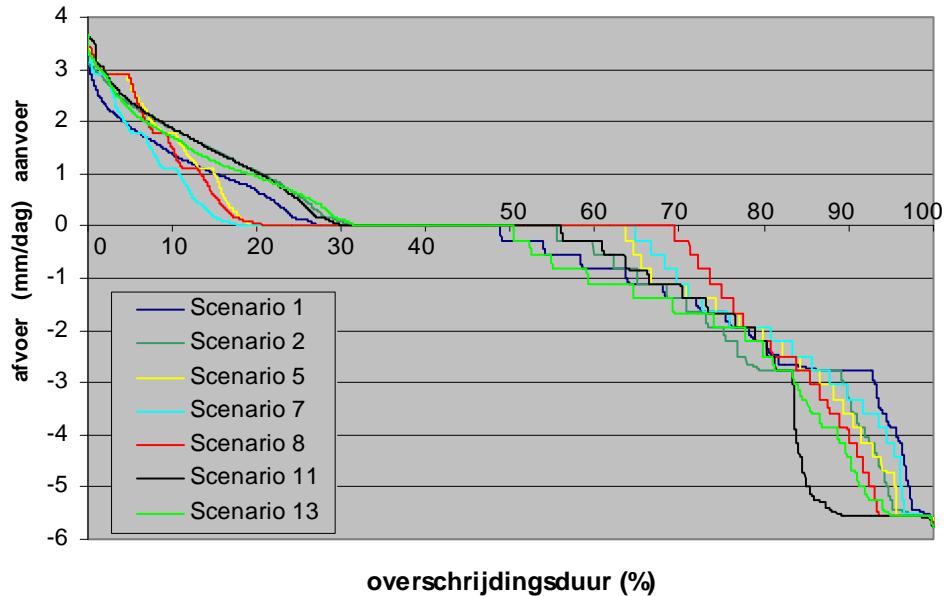
3.2.4 Verschillen in duur

Grondwaterstanden en slootpeilen verschillen van plek tot plek, maar waterinlaat en afvoer zijn berekend voor het hele gebied. Wanneer de waterinlaat en afvoer voor de hele periode van 15 jaar wordt gesorteerd en omgezet tot duurlijnen worden verschillen tussen de scenario's goed zichtbaar (Figuur 6).² De dagen waarop op volle capaciteit water wordt uitgeslagen zijn door de bescheiden pompcapaciteit overschat. De onderlinge verhoudingen zullen bij een grotere capaciteit echter niet veranderen.

Bij de volgende toelichting op Figuur 6 wordt ook ingegaan op de verschillen in het verloop van de afzonderlijke lijnen. Delen van de lijnen zijn gelijkmatig van vorm, andere delen verlopen sprongsgewijs en weer andere delen laten een horizontaal traject zien waarin een bepaalde hoeveelheid vaak wordt bereikt.

Het gelijkmatige verloop zoals bij de scenario's 1, 2, 11 en 13 bij de waterinlaat zichtbaar is, komt omdat er gedurende lange tijd water wordt ingelaten met op alle inlaatpunten steeds wisselende hoeveelheden. Bij al deze scenario's wordt in een gemiddeld jaar gedurende 28% - 31% van de tijd water ingelaten. Omdat de toegestane fluctuatie klein is, zijn vaak kleine hoeveelheden inlaatwater al voldoende om het streefpeil weer te bereiken. Bij scenario 5 met een matig grote fluctuatie en extra oppervlaktewater de scenario's met een grote fluctuatie (scenario's 7 en 8) wordt er gedurende een kortere tijd ca. 10% minder water ingelaten. De drie trapsgewijze sprongen die hier voorkomen hangen samen met de compartimentering van de waterinlaat in het gebied. Er zijn twee grote waterinlaatpunten. Het komt regelmatig voor dat bij het ene of het andere of bij beide punten maximaal water wordt ingelaten. Over een jaar gezien komen deze specifieke hoeveelheden daardoor relatief vaak voor. Bij scenario 8 is bij alle inlaatpunten tegelijkertijd de maximale inlaatcapaciteit het langst nodig. Voor flexibel peilbeheer zonder onderwaterdrains (scenario 7) functioneert het inlaatsysteem het kortst, waarbij in totaal bovendien het minste water nodig is. Voor de scenario's met een dynamisch peilregime is, als het slootpeil eenmaal 5 cm is verhoogd (als aan de randvoorwaarden voor waterinlaat wordt voldaan) de inlaat vergelijkbaar met de scenario's 1 en 2. Met name bij scenario 11, met onderwaterdrains, is de overgang naar het hogere peil zichtbaar als de kleine knik bij de grootste aanvoer.

² De maxima voor waterinlaat (ca. 3 mm/dag) en waterafvoer (ca. 5,5 mm/dag) zijn waarden die voor ieder gebied anders zullen zijn. De resultaten moeten daarom alleen in relatief verband worden gezien.



Figuur 6.

Overschrijdingsduur in procenten van waterafvoer en inlaat over een periode van 15 jaar.

Bij de afvoer hangen de kleine trapsgewijze sprongen in de duurlijnen samen met het aantal hele uren dat de pompen in een etmaal draaien. Bij de scenario's 1 en 2 worden daarnaast ook vaak een hoeveelheid van -2,8 mm per dag uitgemalen. Deze hoeveelheid volstaat om, na het aanslaan van de pomp en bij een verder neerslagrijke periode, het peil terug te brengen tot streefniveau.

Bij scenario 1 wordt gedurende ruim de helft van een gemiddeld jaar gedurende één of meer uren water uitgeslagen. De volle pompcapaciteit, hier -5,5 mm/dag, is daarentegen zelden nodig. Hoe flexibeler het peil, hoe minder dagen er water wordt afgevoerd. Wel wordt dan de maximale pompcapaciteit regelmatig gebruikt.

Verder blijkt uit Figuur 6 dat bij een kleine fluctuatie (4 cm; scenario 1, 2, 11 en 13) de totale duur dat geen water wordt ingelaten of afgevoerd het kortst is.

Bij een grote fluctuatie (20 cm; scenario's 7 en 8) neemt dat toe tot ongeveer 47%. Ten opzichte van de scenario's zonder onderwaterdrains moet met onderwaterdrains op wat meer dagen per saldo meer water worden ingelaten. Aan de andere kant wordt gedurende minder dagen water afgevoerd, maar het gaat daarbij dan wel vaker om grotere hoeveelheden, zeker bij dynamisch peilbeheer.

Opvallend lang is de duur dat bij scenario 11 (dynamisch peilbeheer met onderwaterdrains) de pomp op volle capaciteit draait. Debet daaraan is de verlaging van het slootpeil met 5 cm als aan een randvoorwaarde voor waterafvoer wordt voldaan. Niet alleen het slootpeil moet dan worden verlaagd, maar de toevoer van grondwater via de drains verloopt snel en dat alles vindt plaats in perioden met neerslag. Bij het dynamische scenario zonder drains (scenario 13) verloopt de toevoer vanuit het grondwater geleidelijker.

Tabel 10.

Aantal dagen per jaar dat water wordt ingelaten en het aantal dagen waarop de volle capaciteit moet worden benut voor scenario's zonder kleidek.

Scen. nr	Peil- regime	Onderw. drains		waterinlaat (dagen)			waterafvoer (dagen)		
				zomer			winter		
				gemid.	droog	zeer droog	gemidd.	nat	zeer nat
1	regulier	nee	totaal	103	122	151	145	170	181
			maximaal debiet	1	4	4	4	9	28
2	regulier	ja	totaal	110	126	148	122	153	168
			maximaal debiet	6	12	20	13	21	32
5	regulier +)	ja	totaal	69	100	121	107	139	158
			maximaal debiet	17	26	42	13	18	34
7	flexibel	nee	totaal	63	87	114	108	144	153
			maximaal debiet	9	19	26	7	14	31
8	flexibel	ja	totaal	73	96	120	90	116	131
			maximaal debiet	18	31	48	20	30	40
11	dynamisch	ja	totaal	123	142	152	121	151	169
			maximaal debiet	8	10	27	35	51	61
13	dynamisch	nee	totaal	131	144	163	135	164	176
			maximaal debiet	8	6	22	7	15	39

+) extra open water en iets grotere fluctuatie

De overschrijdingsduur in Figuur 6 is gebaseerd op de hele periode die is doorgerekend (15 jaar). In de Tabellen 10 en 11 staat het gemiddelde aantal dagen per jaar waarin water in een gemiddelde, droge en zeer droge zomer wordt ingelaten, alsmede het aantal dagen waarin dat op alle inlaatpunten tegelijkertijd met volle capaciteit gebeurt. Voor de afvoer betreft het de dagen voor een gemiddelde, natte en zeer natte winter. De verschillen tussen de scenario's voor veengronden zonder en met kleidek zijn ook hier minimaal. Of de bovenste 30 cm uit veen of klei bestaat heeft wel invloed op de maaiveldval, maar nauwelijks op de waterbalans.

Tabel 11.

Aantal dagen per jaar dat water wordt ingelaten en het aantal dagen waarop de volle capaciteit moet worden benut voor scenario's met kleidek.

Scen. nr	Peil- regime	Onderw. drains		waterinlaat (dagen)			waterafvoer (dagen)		
				zomer			winter		
				gemid.	droog	zeer droog	gemid.	nat	zeer nat
3	regulier	nee	totaal	105	123	141	143	171	178
			maximaal debiet	1	5	5	5	11	30
4	regulier	ja	totaal	111	127	150	121	154	169
			maximaal debiet	6	15	20	15	22	33
6	regulier +)	ja	totaal	70	100	118	106	136	160
			maximaal debiet	17	26	44	14	21	34
9	flexibel	nee	totaal	63	85	121	106	134	155
			maximaal debiet	9	18	24	9	16	34
10	flexibel	ja	totaal	73	103	123	90	113	136
			maximaal debiet	19	28	44	22	37	44
12	dynamisch	ja	totaal	124	138	150	119	149	169
			maximaal debiet	10	20	25	35	53	58

+) extra open water en iets grotere fluctuatie

Afgezien van het totale aantal dagen dat water maximaal moet worden ingelaten of afgevoerd is ook het aantal achtereenvolgende dagen van belang. Naarmate de periode langer is, neemt ook de kans op watertekort respectievelijk wateroverlast toe. Voor de scenario's met veen zonder kleidek staat in Tabel 12 het aantal keren dat gedurende 15 jaar een bepaalde aaneengesloten periode maximaal water wordt ingelaten en afgevoerd. De resultaten voor veen met een kleidek zijn hiermee vergelijkbaar. Afgezien van de fysieke beschikbaarheid van inlaatwater of beperkingen om onder natte omstandigheden meer water op de boezems te lozen zou een uitbreiding van de inlaat- en afvoercapaciteit de duur uiteraard bekorten. Anderzijds komt het ook geregeld voor dat het benutten van de volle afvoer- en inlaatcapaciteit niet altijd mogelijk is omdat drainage naar, respectievelijk infiltratie vanuit de sloten achter blijft. Dat kan tot gevolg hebben dat de afvoerpomp niet de hele dag werkt omdat het slootpeil voor het gemaal te laag wordt. Daardoor eindigt ook de lengte van de aaneengesloten afvoerperiode. Iets dergelijks gebeurt bij de inlaat als bij één van de inlaatpunten niet meer op volle capaciteit wordt ingelaten.

Bij scenario 1, met een kleine fluctuatie van het oppervlaktepeil en zonder onderwaterdrains, hoeft nooit langer dan één dag achter elkaar op volle capaciteit water te worden ingelaten. Bij scenario 13 is de inlaatperiode ook kort, maar daar wordt wel veel vaker gedurende een dag op volle capaciteit ingelaten vooral om een 5 cm hoger slootpeil te bereiken als de randvoorwaarden voor dynamisch peilbeheer dat aangeven. Het wil niet zeggen dat na één dag het hogere slootpeil al in het hele gebied al blijvend is bereikt. Met onderwaterdrains neemt het aantal keren dat dit bij scenario 2 moet gebeuren sterk toe, maar nog steeds is de periode waarover de maximale inlaat nodig is niet lang. Bij scenario 5 zorgt de combinatie van onderwaterdrains, een grotere fluctuatie en de toegevoegde berging ervoor dat op meer dagen, maar vaak ook gedurende meer dagen achtereen water moet worden ingelaten. De toegevoegde berging vergroot de buffercapaciteit, maar vraagt ook bij aanvulling van het laagst toegestane peil tot het streefpeil om meer inlaatwater. Ook bij een flexibel peil (scenario's 7 en 8) moet vaak langere tijd achter elkaar water worden ingelaten om het slootpeil van het laagst toegestane peil tot streefpeil te laten stijgen. De kortste perioden komen ook hier het meest voor bij het scenario zonder onderwaterdrains (scenario 7).

Bij de afvoer valt bij alle scenario's de ene keer op dat rond de 29 dagen achtereen water moet worden afgevoerd. Dit illustreert dat het scenario dan nog nauwelijks invloed heeft op de duur van de afvoer van een grote hoeveelheid neerslag (meer dan 200 mm in 2,5 week in oktober/november 1998). Bij de scenario's met onderwaterdrains moet vaker, en meer dagen achtereen, water worden afgevoerd dan bij de scenario's zonder drains omdat de nalevering van water vanuit de gedraineerde percelen sneller verloopt dan vanuit de ongedraineerde percelen. De grotere afvoer bij dynamisch peilregime is terug te vinden in de (langere) perioden waarin op volle capaciteit water wordt afgevoerd.

Tabel 12.

Aantal keren **gedurende 15 jaar** dat een gedurende een bepaald aantal dagen maximaal water wordt ingelaten (ca. 3 mm/dag) en afgevoerd (ca. 5,5 mm/dag) voor de scenario's met veen zonder kleidek.

opeenvolgende dagen	scenario1		scenario 2		scenario 5		scenario 7		scenario 8		scenario 11		scenario 13	
	in	uit	in	uit	in	uit	in	uit	in	uit	in	uit	in	uit
1	24	3	73	25	20	29	18	11	11	54	83	47	113	5
2		1	8	14	30	16	20	6	16	30	13	42	1	4
3		3	2	10	23	7	17	4	9	11	7	27	2	2
4				6	7	6	2	4	8	6	1	17	1	3
5		3		9	6	7	4		10	6		6		5
6		1		2	5	2		3	5	7		8		
7				4	1	2			6	4		5		2
8		1			1			1	4	2		8		1
9		2		2		2		1	1			4		
10				2	1	3		2		5		2		2
11		1		1	1				1	1		4		2
12												2		
13				1		1		1		1				
14									1			3		
15												1		1
16														
17												2		
18												2		
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27		1						1						
28				1										
29						1				1				
30												1		1

3.2.5 Extreme neerslaghoeveelheid

Voor een extreme bui van 67 mm die in twee dagen valt zijn de volgende scenario's voor veen zonder kleidek doorgerekend:

Scenario 1: streefpeil 60 cm, geen onderwaterdrains

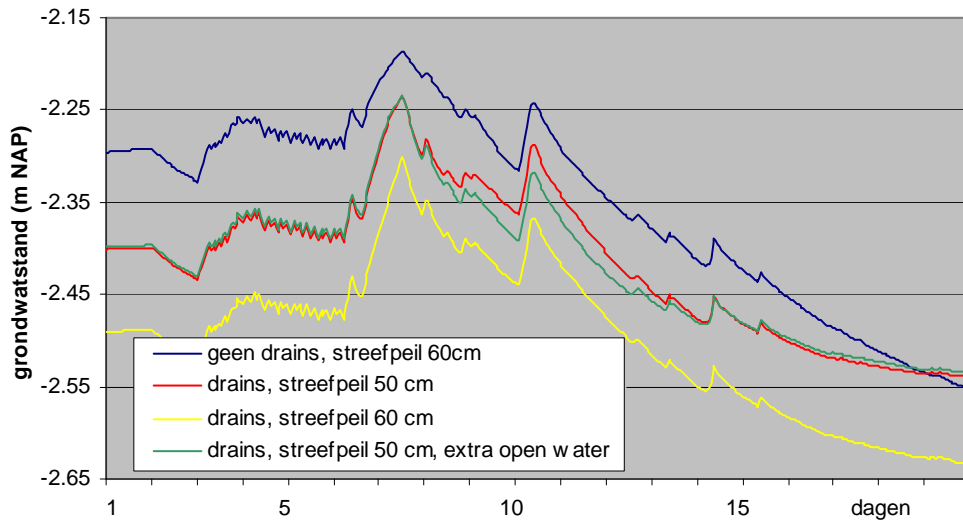
Scenario 2: streefpeil 50 cm, onderwaterdrains

Scenario 2a: streefpeil 60 cm, onderwaterdrains

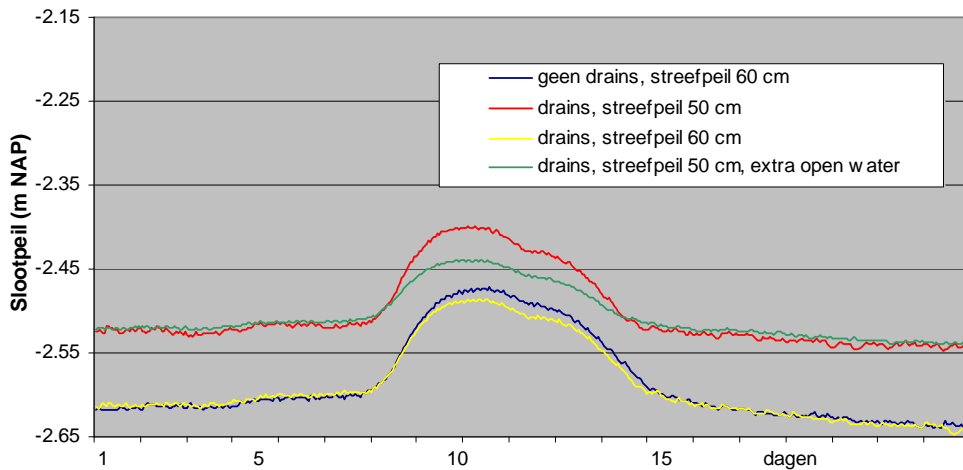
Scenario 5: streefpeil 50 cm, onderwaterdrains, 8% extra open water en een regulier peilbeheer gelijk aan de scenario's 1 en 2 vanwege de onderlinge vergelijkbaarheid.

Voor veen met een kleidek zijn dezelfde scenario's doorgerekend.

A. Grondwaterstand



B. Slootwaterstand



Figuur 7.

Grondwaterstand en slootpeil voor verschillende scenario's vanaf zes dagen voor de bui.

In Figuur 7 staat het grondwaterstandsverloop en slootpeil afgebeeld voor de scenario's 1, 2, 2a en 5. De bui van 67 mm is over de dagen 6 (20 mm) en 7 (47 mm) gevallen. Later is ook nog neerslag gevallen. Bij het begin van de bui is gestreefd naar een grondwaterstand van 20 cm beneden maaiveld voor het scenario zonder onderwaterdrains (scenario 1). Om die situatie te bereiken moest een natte periode aan de bui voorafgaan. Bij de andere scenario's was onder dezelfde omstandigheden de grondwaterstand vlak voor de bui lager. Het slootpeil was door de natte omstandigheden bij alle scenario's 5 à 6 cm hoger dan het streefpeil, dat voor de scenario's zonder onderwaterdrains -2,66 m NAP en voor de scenario's met onderwaterdrains -2,56 m NAP bedraagt.

In Tabel 13 staat een overzicht van de verandering in grondwaterstanden en slootpeilen. De grondwaterstand stijgt bij scenario 1 het dichtst onder maaiveld (lager gelegen plekken zullen inunderen), maar de stijging ten opzichte van de uitgangssituatie is het kleinst omdat de greppels voor een adequate afvoer zorgen. Het slootpeil stijgt daardoor het meest.

Bij de andere scenario's is de stijging van de grondwaterstand 15 of 16 cm.³ Het slootpeil stijgt door 8% meer oppervlaktewater 4 cm minder (verschil scenario 2 en 5). Het verschil tussen de hoogste slootpeilen van de scenario's zonder en met onderwaterdrains (scen. 1 en 2) bedraagt 3 cm. Om ook dat verschil met meer open water te overbruggen zou $\frac{3}{4} \times 8\% = 6\%$ meer open water nodig zijn. Het totale percentage open water zou daarmee op 12% (standaard aanwezig) + 8% (uitbreiding bij scenario 5) + 6% (aanvulling) = 26% uitkomen. Bij een 10 cm lager streefpeil (60 cm), dat gelijk is aan het scenario zonder onderwaterdrains (scen. 1), is geen extra inlaatwater nodig. De grondwaterstand voor de bui is met drains al gauw lager dan zonder drains waardoor de bergingscapaciteit zelfs wat groter is.

Tabel 13.

Maximale stijging van de grondwaterstand en het slootpeil in cm door een 2-daagse bui van 67 mm.

Scen.	streefpeil	grondwaterstand			slootpeil
		voor de bui	hoogste stand	stijging	stijging
1	60cm	18 cm	8	10	13
2	50	28	13	15	11
2a	60	36	20	16	11
5 +)	50	28	13	15	7

+) met regulier peilbeheer en 8% meer open water

Zowel grondwaterstanden als het slootpeilen zakken weer snel terug naar het niveau van direct voor de bui omdat er een snelle afvoer vanuit de percelen plaatsvindt via de greppels (scenario 1) en via de drains (scenario's 2, 2a en 5) en omdat de pompcapaciteit de bui in minder dan vijf dagen kan wegwerken. Nadat de effecten van de bui voorbij zijn, zakt de grondwaterstand verder uit richting streefpeil. Bij het scenario zonder drains (scenario 1) duurt dat aanmerkelijk langer dan bij de gedraineerde scenario's.

De verschillen tussen veen en veen met een kleidek zijn klein. Wel duiden de verschillen er op dat de waterbewegingen in en op (runoff) op veengronden met een kleidek wat dynamischer verlopen dan bij de veengronden zonder kleidek.

³ Bij de scenario's 2 en 5 functioneren de greppels ook enige tijd. Als daar geen greppels zouden zijn zou de grondwaterstand er ca. 1 cm hoger en het slootpeil ca. 1 cm lager zijn.

4 Discussie en een mogelijk optimaal scenario

4.1 Discussie

Deze studie heeft tot doel om een beter inzicht te krijgen in de gevolgen van de toepassing van onderwaterdrains in veengebieden. Het modelgebied dat voor de scenarioberekeningen is gebruikt ligt in een omgeving die kenmerkend is voor het westelijke veenweidegebied. Door de aannames en de verschillen in bodemsamenstelling en waterhuishouding elders in het veenweidegebied moeten de absolute uitkomsten door een relatieve bril worden bekeken.

Uit deze studie blijkt dat er, met uitzondering van de absolute maaiveldddaling, weinig verschillen zijn in de uitkomsten van de veengronden zonder en met kleilaag. Dit hangt samen met het feit dat aan de veengronden met een kleilaag dezelfde kenmerken zijn toegekend als aan de veengronden zonder kleidek. Alleen de fysische eigenschappen van de bovengrond (veen of klei) verschillen. In de praktijk zullen veengronden met een dun kleidek vaker begreppeld zijn en een wat bollere maaiveldverloop hebben waardoor eerder oppervlakkige afvoer kan optreden.

Er is nog beperkt onderzoek gedaan naar de drainage- en infiltratieweerstanden. Bij de berekeningen met onderwaterdrains is ervan uitgegaan dat onderwaterdrains overall optimaal functioneren. Er moet rekening mee worden gehouden dat drains door ongelijke maaiveldddaling of slibafzetting op den duur misschien minder goed gaan functioneren. Uit de gevoeligheidsanalyse (paragraaf 3.1.1), waarin het effect van een verdubbeling van de drainageweerstand is beschouwd, blijkt echter dat er een grote reserve is ingebouwd. Door de verdubbeling van de drainageweerstand wordt de GHG maar iets hoger en de GLG iets lager, terwijl de maaiveldddaling met maar een halve mm per jaar toeneemt.

Om de verschillende scenario's onderling te vergelijken is telkens voor het hele studiegebied de bijbehorende strategie toegepast. In de praktijk zullen onderwaterdrains niet op een dergelijke schaal worden aangelegd. De uitkomsten zijn dan evenredig aan de oppervlaktes die wel en niet zijn gedraineerd.

Voor onderwaterdrains is in deze studie een permanente drooglegging van 50 cm aangehouden. In praktijkproeven (Hoving *et al.*, 2008) zijn bij de percelen met en zonder drains dezelfde (praktijk-)drooglegging toegepast (55 - 60 cm), maar hieruit blijkt tot nu toe dat de infiltratie via de drains vrij beperkt is. Dit kan worden verklaard uit het feit dat de meetjaren nat of gemiddeld waren. Daarnaast bleken de drains de percelen wel goed te ontwateren, zodat de draagkracht toenam. Op basis van dit onderzoek is geconcludeerd dat een verhoging van het slootpeil met 10 cm in combinatie met onderwaterdrains de maaiveldddaling en CO₂-emissie sterk kan beperken, terwijl de drainerende werking van de drains er voor zorgt dat het aantal dagen met goede draagkracht zal toenemen. Deze conclusie wordt in dit onderzoek bevestigd. Bij de praktijkproef op het onderzoekscentrum Zegveld (Hoving *et al.*, 2008) zijn ook bij percelen met een hoog peil (drooglegging ca. 20 cm) onderwaterdrains geïnstalleerd. Hoewel de veenafbraak hierdoor zeer sterk zal worden beperkt, zijn deze percelen in de praktijk te nat voor een rendabele melkveehouderij. Een dergelijk hoog peil zou beter passen bij percelen met een natuurbestemming.

4.2 Een mogelijk optimaal scenario

Als onderdeel van de discussie is geëvalueerd of combinaties van scenario's de nadelige gevolgen van onderwaterdrains en een hoger peil kunnen opvangen. Elk van de doorgerekende scenario's heeft in bepaalde opzichten gunstige kanten, maar die gaan samen met minder gewenste gevolgen. In deze evaluatie is voor een veengebied met onderwaterdrains een dynamisch peilbeheer samengesteld bestaande uit de onderzochte scenario's waarin voor de zomerperiode de voordelen van regulier, flexibel en dynamisch peilbeheer gecombineerd worden om tot een minimale maaiveldddaling te komen, waarbij de nadelen in de vorm van grotere aan- en afvoeren beperkt blijven.

Het voordeel van dynamisch peilbeheer wordt gehaald uit de neerslagverwachting. In de zomerperiode (1 april - 30 september) wordt met een natte periode in het verschiep een flexibel peilregime ingevoerd om optimaal gebruik te kunnen maken van de verwachte neerslag. Hier is bij een flexibel peilbeheer uitgegaan van een slootpeil dat tot 10 cm boven het streefpeil mag uitkomen. Daardoor kan een strategische watervoorraad worden opgebouwd. Anderzijds mag het slootpeil ook 10 cm beneden het streefpeil uitzakken, waarmee de inlaat van gebiedsvreemd water wordt uitgesteld. De neerslag die in de periode valt dat het slootpeil daalt, zorgt er dan voor dat deze periode wordt opgerekt. Bij het bereiken van de hoogst en laagst toegestane peilen wordt het waterniveau teruggebracht naar het streefpeil.

Met een droge periode in het verschiep wordt overgeschakeld van flexibel naar regulier peilregime. De marge rond het streefpeil wordt teruggebracht naar + of - 2 cm. Bij de overgang van flexibel naar regulier slootpeil, wordt een op dat moment 'te hoog' slootpeil niet verlaagd, maar wordt het surplus aan water bewaard voor de droge periode. Indien het slootpeil op het overgangsmoment lager is dan 2 cm onder streefpeil, dan wordt gelijk water ingelaten. Om het reguliere peilregime daarna te onderhouden moet regelmatig een beperkte hoeveelheid water worden ingelaten. Het bijkomend voordeel is dat ook op momenten dat er weinig inlaatwater beschikbaar is geen piekhoeveelheden nodig zijn. Door het vroegtijdig overschakelen op regulier peilregime wordt voorkomen dat de grondwaterstand in een voor de maaiveldddaling gevoelige periode diep kan wegzakken.

Het aantal dagen met flexibel en regulier peilbeheer, en het aantal keren dat tussen beide regimes geswitcht wordt hangt af van de randvoorwaarden die aan een natte of droge periode worden gesteld. Door gebruik te maken van bestaande neerslagreeksen is natuurlijk exact te 'voorspellen' hoeveel neerslag er is gevallen en welke beslissing er genomen moet worden. Om rekening te houden met een zekere onzekerheid is een ruime marge rond de randvoorwaarden voor de neerslaghoeveelheden aangehouden. In Tabel 14 staat een overzicht met verschillende voorspellingsscenario's. De verwachtingen zijn op toekomstige perioden van 3, 5 of 7 dagen gebaseerd en de neerslaghoeveelheden op 0 mm voor regulier peilregime en 10, 15 of 20 mm voor flexibel peilregime. Wanneer niet aan de randvoorwaarden voor flexibel of regulier peilbeheer wordt voldaan, wordt het vigerende regime voortgezet. Voor een selectie van combinaties zijn scenario's doorgerekend met een streefpeil in de zomer van 50 cm.

Omdat maaiveldddaling vooral 's zomers optreedt, kan in de winter eventueel een ruime drooglegging worden toegepast. De voordelen voor de landbouw zijn een grotere draagkracht en het eerder op gang komen van de grasgroei in het voorjaar. Overigens zorgen onderwaterdrains bij een gelijkblijvende drooglegging ook al voor een grotere draagkracht. In de scenarioberekeningen wordt voor de zomerperiode een drooglegging van 50 cm aangehouden. Wat betreft de winterperiode worden scenario's doorgerekend met droogleggingen van 40, 50 en 60 cm. Dat gebeurt in combinatie met een regulier peilregime om de drooglegging in de winter zo stabiel mogelijk te houden. In droge perioden in de winter mag het slootpeil wel dieper wegzakken dan de 2 cm beneden streefpeil die bij het reguliere peilregime hoort. Dat wordt hier mogelijk gemaakt door de waterinlaat in de winter af te sluiten. De verwachting is dat het winterse neerslagoverschot ervoor zorgt dat het slootpeil niet al te diep zal wegzakken.

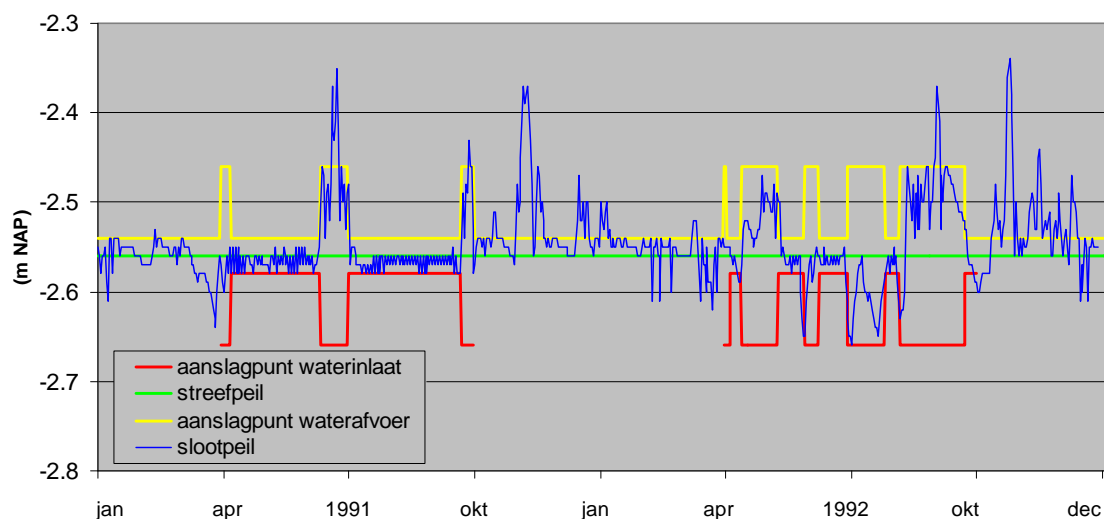
Tabel 14.

Gemiddelde aantal dagen in de zomerperiode (1 april -30 september) met flexibel en regulier peilbeheer met neerslagverwachtingen van drie, vijf of zeven dagen.

Scenario	Flexibel als de komende 3 dagen aan neerslag valt	Regulier als geen neerslag valt gedurende de komende	dagen		aantal wisselingen
			Flexibel	Regulier	
A1.1	>20 mm	3 dgn	61	122	9
A1.2	>15 mm	3 dgn	72	111	11
A1.3	>10 mm	3 dgn	88	95	14
A2.1	>20 mm	5 dgn	75	108	7
A2.2	>15 mm	5 dgn	85	98	9
A2.3	>10 mm	5 dgn	103	80	11
A3.1	>20 mm	7 dgn	102	81	6
A3.2	>15 mm	7 dgn	112	71	6
A3.3	>10 mm	7 dgn	126	57	7

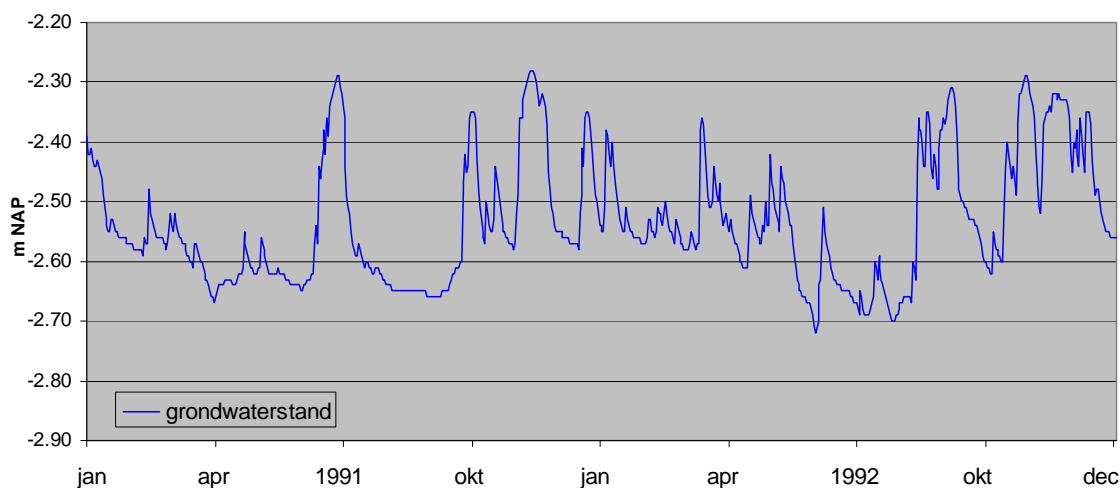
In Figuur 8 staat het verloop van het slootpeil in 1991 en 1992 met de randvoorwaarden van scenario A2.2 (Tabel 14). In zowel de zomer als in de winter is het streefpeil 50 cm. In de zomer probeert het reguliere peilbeheer het slootpeil tussen de + en -2 cm t.o.v. het streefpeil te houden en het flexibele peilbeheer tussen de + en - 10 cm. In de winter zakt het slootpeil onder het streefpeil omdat er geen water wordt ingelaten. Het peil komt in de zomer en winter boven het aanslagpunt voor de waterafvoer uit als er meer neerslag valt dan de afvoerpomp aan kan.

In 1991 is drie keer een flexibel peilregime ingesteld, met daartussen twee langere perioden met regulier peilbeheer waarin het langere tijd droog was. In de zomer van 1992 is in totaal zes keer het peilbeheer flexibel geweest, met vijf korte perioden met een regulier peilbeheer. De 2^e en 5^e flexibele periode laten zien dat er een buffervoorraad water is opgebouwd, terwijl in de 3^e en 4^e periode het slootpeil wegzakt.



Figuur 8.

Verloop van het slootpeil en de randvoorwaarden voor waterafvoer en wateraanvoer voor een scenario waarin in de zomer flexibel en regulier peilbeheer afhankelijk zijn van de randvoorwaarden A2.2 (Tabel 14) voor de neerslagverwachting. Het streefpeil is in de zomer en winter 50 cm onder maaiveld.



Figuur 9.

Verloop van de grondwaterstand behorende bij het peilbeheer dat in Figuur 8 staat afgebeeld.

In Figuur 9 staat het verloop van de grondwaterstand op een plek die representatief is voor een groot gedeelte van het modelgebied. Het grondwater zakt 's zomers iets onder het slootpeil en het is in de winter geregeld hoger, maar dankzij de onderwaterdrains zijn de afwijkingen niet groot.

In Tabel 15 staat een overzicht van de waterinlaat en de maaiveldddaling. Wat meer inlaatwater gaat samen met iets kleinere maaiveldddaling, maar de verschillen tussen de scenario's zijn klein. Scenario 3.3, dat de meeste dagen een flexibel peilbeheer heeft, vergt het minste inlaatwater. De maaiveldddaling is met gemiddeld 6,6 mm/jaar weliswaar het grootst, maar dat is 0,9 mm/jaar minder dan wanneer uitsluitend flexibel peilbeheer wordt toegepast (Tabel 6). In vergelijking met de maaiveldddalingen van de scenario's met onderwaterdrains uit Tabel 6 komen de hier berekende dalingen overeen met die van regulier en dynamisch peilbeheer (scenario's 2 en 12). De hoeveelheid inlaatwater is wel duidelijk minder dan bij regulier en dynamisch peilbeheer, en nauwelijks meer dan van flexibel peilbeheer. In een gemiddelde zomer wordt ca. 125 mm ingelaten tegenover 155 mm met regulier en 166 mm met dynamisch peilbeheer. In een erg droge zomer is bijna de dubbele hoeveelheid inlaatwater nodig. Het absolute verschil met de hoeveelheden inlaatwater die voor permanent regulier en dynamisch peilbeheer nodig zijn blijft ongeveer even groot.

Tabel 15.

Waterinlaat en maaiveldddaling voor scenario's met een combinatie van flexibel en regulier peilbeheer waarbij rekening wordt gehouden met de neerslagverwachting. De streefpeil (drooglegging) is in de winter- en zomerperiode 50 cm.

Scenario	neerslagverwachting		waterinlaat zomer (mm)			mv daling (mm/jr)
	flexibel*	regulier**	gemiddeld	droog	zeer droog	
A1.1	>20 mm	3 dgn	134	204	250	6.3
A1.2	>15 mm	3 dgn	131	202	252	6.3
A1.3	>10 mm	3 dgn	127	200	238	6.4
A2.1	>20 mm	5 dgn	129	200	247	6.3
A2.2	>15 mm	5 dgn	126	201	249	6.3
A2.3	>10 mm	5 dgn	122	190	238	6.4
A3.1	>20 mm	7 dgn	125	201	246	6.4
A3.2	>15 mm	7 dgn	123	201	246	6.5
A3.3	>10 mm	7 dgn	119	193	241	6.6

*) als de komende 3 dagen deze hoeveelheid neerslag gaat vallen

*) als er geen neerslag valt gedurende dit aantal dagen

De scenario's zijn met droogleggingen in het winterhalfjaar van 40, 50 en 60 cm doorgerekend. In alle gevallen is er in de winter geen waterinlaat mogelijk waardoor de grondwaterstand in de winter geregeld tot onder het streefpeil uitzakt (Figuur 8). Bedacht moet worden dat bij diepere peilen en dieper uitzakken de wegzijging afneemt c.q. de kwel toeneemt, waardoor meer water moet worden afgevoerd. Bij een grotere drooglegging neemt deze hoeveelheid waterafvoer fors toe (Tabel 16). De gemiddeld hoogste grondwaterstand staat eveneens in Tabel 16. Bij een drooglegging van 60 cm is de grondwaterstand geregeld lager dan in de zomer. Door de goede drainerende werking van onderwaterdrains is de noodzaak van een grote drooglegging in de winter minder evident.

Tabel 16.

Drooglegging in de winterperiode, GHG en waterafvoer in de winter voor scenario's met onderwaterdrains waarbij geen water wordt ingelaten in de winterperiode.

drooglegging (cm)	GHG (cm)	waterafvoer winter (mm)		
		gemiddeld	nat	zeer nat
40	24	316	428	520
50	30	346	460	550
60	35	375	490	581

Bij een grote drooglegging in de winter of als door een droge periode in het voorjaar het slootpeil diep is wegzakt, is suppletiewater nodig om de overgang naar het hogere zomerpeil te realiseren. Als hiervoor inlaatwater wordt gebruikt is de winst die de scenario's opleveren ten opzichte van regulier en dynamisch peilbeheer verdwenen. In dat geval verdient het dan ook aanbeveling om voor een lange overgangperiode naar het hogere zomerpeil te kiezen zodat de peilverhoging via de neerslag gerealiseerd kan worden.

5 Conclusies

Op basis van het uitgevoerde onderzoek zijn de volgende conclusies te trekken.

Gevoeligheidsanalyse

- Naar de drainage- en infiltratieweerstand van onderwaterdrains is nog beperkt onderzoek gedaan. In de scenariostudies is verondersteld dat onderwaterdrains optimaal (blijven) functioneren. Een verdubbeling van de drainage- en infiltratieweerstand levert bij regulier peilbeheer slechts een 0,5 mm/jr grotere maaiveld-daling op, een 2 cm lagere GLG en er is 5% minder inlaatwater nodig. De conclusie is dan ook dat de onzekerheid over de grootte van de weerstanden weinig consequenties heeft voor de uitkomsten.
- Een vergroting van de wegzijging van 0,2 mm/dag naar 0,5 mm/dag is voor een veengrond zonder kleidek met onderwaterdrains onderzocht voor een regulier peilbeheer (scenario 2) en een flexibel peilbeheer (scenario 8). Het effect is bij beide scenario's bijna gelijk: de waterinlaat neemt in droge tijden substantieel toe (60 - 80 mm in de zomer). Daar staat tegenover dat de waterafvoer in natte tijden met dezelfde orde van grootte afneemt. De maaiveld-daling neemt iets toe (0,6 - 0,7 mm/jr).

Maaiveld-daling

- De toe- of afname in maaiveld-daling ten opzichte van de maaiveld-daling in het referentiescenario is bij gelijke scenario's voor veengebieden zonder kleidek en veengronden met kleidek ongeveer gelijk.
- Met de aanleg van onderwaterdrains neemt de maaiveld-daling af omdat het slootpeil kan worden opgezet en de grondwaterstand in de zomer zich goed aan het slootpeil conformeert, waardoor de GLG 15 tot 20 cm hoger wordt.
- Het grootst is de afname van maaiveld-daling door onderwaterdrains plus een 10 cm hoger peil bij regulier en dynamisch peilbeheer (zonder kleidek respectievelijk -4,5 en -4,4 mm/jr en met kleidek -4,5 en -4,8 mm/jr).
- Dynamisch peilbeheer zonder onderwaterdrains leidt regelmatig tot een hoger slootpeil waardoor ook de grondwaterstand wat hoger is. De maaiveld-daling neemt af met -0,7 mm/jr.
- De gevolgen van toegevoegde berging in de vorm van meer oppervlaktewater heeft, in combinatie met onderwaterdrains plus een 10 cm hoger peil en een iets grotere fluctuatie (10 cm), een aanzienlijke afname van de maaiveld-daling tot gevolg (zonder kleidek -4,0 mm/jr en met kleidek -4,1 mm/jr).
- Een grotere fluctuatie van het slootpeil (flexibel peil) resulteert in een lagere grondwaterstand in de zomer en een grotere maaiveld-daling. Bij een peilbeheer met een fluctuatie van 20 cm neemt de maaiveld-daling toe met +1,0 mm/jr (zonder kleidek) of +0,8 mm/jr (met kleidek). Met onderwaterdrains plus een 10 cm hoger peil neemt de maaiveld-daling af, (zonder kleidek -3,2 mm/jr en met kleidek -3,3 mm/jr), maar dit is minder dan met een regulier peil met onderwaterdrains.

Waterinlaat

- Per scenario zijn de verschillen tussen waterinlaat voor veengebieden zonder en met kleidek minimaal.
- De verschillen in waterinlaat tussen gemiddelde en (zeer) droge zomers zijn veel groter dan de verschillen tussen de scenario's.
- Voor gebieden met een regulier of flexibel peilbeheer waar onderwaterdrains worden aangelegd en het peil 10 cm wordt verhoogd is een derde meer inlaatwater nodig.
- De overgang van regulier peilbeheer zonder onderwaterdrains (fluctuatie 4 cm) naar flexibel peilbeheer zonder onderwaterdrains (fluctuatie 20 cm) levert een besparing op van 26% inlaatwater.
- De overgang van regulier peilbeheer zonder onderwaterdrains (fluctuatie 4 cm) naar flexibel peilbeheer met onderwaterdrains (fluctuatie 20 cm) vergt geen extra inlaatwater.

- Meer berging in de vorm van extra oppervlaktewater en een wat grotere fluctuatie (10 cm) kan de grotere waterinlaat bij gebruik van onderwaterdrains voor een belangrijk deel compenseren.
- Dynamisch peilbeheer (zoals in deze studie is geformuleerd) vergt zonder en met onderwaterdrains respectievelijk 35 en 44% meer inlaatwater dan regulier peilbeheer. Het aantal dagen dat water moet worden ingelaten is het grootst van alle onderzochte scenario's.
- De verschillen in waterinlaat tussen de scenario's liggen, ongeacht het soort zomer (gemiddeld, droog, zeer droog), in dezelfde orde van grootte.
- Onderwaterdrains plus een 10 cm hoger peil hebben tot gevolg dat bij regulier en flexibel peilbeheer op meer dagen water moet worden ingelaten.
- Met een flexibel peilbeheer is het aantal dagen dat water moet worden ingelaten het kleinst, maar dan gebeurt dat wel vaker en gedurende een langere aaneengesloten periode op volle capaciteit.

Waterafvoer

- Per scenario zijn de verschillen tussen waterafvoer voor veengebieden zonder en met kleidek minimaal.
- Toepassing van onderwaterdrains met peilverhoging of een flexibel peil heeft, uitgezonderd dynamisch peilbeheer, weinig gevolgen voor de totale waterafvoer. Alleen bij een kleine fluctuatie en onderwaterdrains plus peilverhoging is de berging klein waardoor het eerder voorkomt dat er (wat) water moet worden afgevoerd dat kort daarvoor nog is ingelaten.
- Bij dynamisch peilbeheer zonder en met onderwaterdrains met peilverhoging wordt in de winter 15% meer water afgevoerd dan met regulier peilbeheer zonder onderwaterdrains.
- Toegevoegde berging en flexibel peil hebben een vertragend effect op de waterafvoer. Daar staat tegenover dat op meer dagen en gedurende een langere aaneengesloten periode water op volle capaciteit moet worden afgevoerd.
- Met een extreme bui in een natte periode zorgen onderwaterdrains niet voor een aftopping van de hoogste grondwaterstanden, maar ze zorgen wel voor een snelle daling. De scenario's met onderwaterdrains blijven droger. De hoogste grondwaterstand blijft bij de scenario's met onderwaterdrains 5 tot 12 cm onder de hoogste grondwaterstand bereikt in de situatie zonder drains. Het slootpeil stijgt bij de scenario's met en zonder drains bijna even snel en even veel. Bij de scenario's met een beperktere drooglegging (50 cm in plaats van 60 cm) komt het slootpeil uiteraard hoger, maar blijft nog ca 35 cm onder het maaiveld.
- Extra oppervlaktewater is een goede remedie om piekbuien te bergen. 8% meer oppervlaktewater reduceert - bij een tweedaagse bui van 67 mm - de stijging van het slootpeil met ca 35%.

Een optimaal scenario

- Het blijkt mogelijk om een optimaal scenario met onderwaterdrains te definiëren, waarbij de maaiveld daling sterk wordt gereduceerd, terwijl de drooglegging voldoende blijft voor een goede bedrijfsvoering voor de melkveehouderij en de hoeveelheid inlaatwater ongeveer gelijk blijft aan de referentiehoeveelheid inlaatwater. In dit optimale scenario wordt afhankelijk van de neerslagverwachting een regulier of flexibel peilbeheer toegepast. De marge bij het flexibel peil is hierbij +/- 10 cm.
- Het optimale scenario is vooral wat betreft de hoeveelheden in te laten water veel gunstiger dan de scenario's met een regulier of dynamisch peil met onderwaterdrains. In een gemiddelde zomer zijn de verschillen in inlaatwater respectievelijk -19% ten opzichte van het reguliere peil en -26% ten opzichte van het dynamische peil. De maaiveld daling liggen in al deze gevallen in dezelfde orde van grootte (van 6,2 tot 6,6 mm/jaar).
- Het optimale scenario is wat betreft de hoeveelheid in te laten water en de maaiveld daling goed te vergelijken met het scenario waarbij de onderwaterdrains zijn toegepast met 8% extra open water en een marge van +/- 5cm op het streefpeil van 50 cm -mv.

Algemeen

- De uitkomsten zijn weliswaar gebaseerd op een gebied dat kenmerkend is voor het westelijk veenweidegebied, maar door ruimtelijke verschillen in bodemopbouw, hydrologie, ed. mogen ze alleen in relatief opzicht worden geïnterpreteerd.
- De resultaten van dynamisch peilbeheer (NB. met de randvoorwaarden cq sturing zoals in deze studie gebruikt) geven aan dat meer water moet worden ingelaten en afgevoerd zonder dat dit evenredig bijdraagt aan een vermindering van de maaiveldddaling. Andere keuzes in randvoorwaarden, fluctuaties en referentieplekken voor grond- en oppervlaktewater zullen waarschijnlijk tot betere uitkomsten leiden als de beperking van de maaiveldddaling en het benodigde waterbeheer geoptimaliseerd zijn. De resultaten van dit modelonderzoek laten zien dat dit type waterbeheer in de praktijk alert moet worden toegepast.

De scenario's met onderwaterdrains zijn gunstig om de maaiveldddaling in veengebieden te verminderen, maar ze hebben wat betreft water toe- en afvoer ook minder gunstige bijkomstigheden. Soms is er veel extra inlaatwater nodig en moet er ook extra water worden afgevoerd, en het kan ook zijn dat er op ongunstige tijdstippen veel water in korte tijd moet worden ingelaten of afgevoerd. Zoals hiervoor aangegeven kan met goed peilbeheer een optimum worden gevonden, waarbij geen extra inlaatwater nodig is en waarbij de maaiveldddaling toch sterk wordt beperkt. Voor een resumé van de maaiveldddaling van de scenario's en de samenhang met de efficiëntie van waterinlaat en waterafvoer wordt verwezen naar de Tabel 1 in de samenvatting (pag. 11).

Literatuur

Akker, J.J.H. van den, J. Beuving, R.F.A. Hendriks en R.J. Wolleswinkel, 2007. *Maaiveldaling, afbraak en CO₂-emissie van Nederlandse veenweidegebieden*. In Leidraad bodembescherming, SDU, 's-Gravenhage.

Akker, J.J.H. van den, R.F.A. Hendriks en J.R. Mulder, 2008. *Invloed van infiltratiewater op de afbraak van veengrond. Helpdeskvraag HD2057*. Alterra rapport 1597, Wageningen.

Beers, W.F. van, 1976. *Computing drains spacings*. Bull. No. 15. ILRI, Wageningen.

Chow, V.T., 1959. *Open Channel Hydraulics*. Mc Graw-Hill Book Co. Inc., New York. 680 pp.

Hoving, I.E., G. André, J.J.H. van den Akker en M. Pleijter, 2008. *Hydrologische en landbouwkundige effecten van gebruik 'onderwaterdrains' op veengrond*. Rapport 102. Animal Sciences Group, Wageningen UR.

Jansen, P.C., E.P. Querner en C. Kwakernaak, 2007. *Effecten van waterpeil-strategieën in veenweidegebieden. Een scenariostudie rond Zegveld*. Alterra, Wageningen. Rapport 1516.

Querner, E.P., 1993. *Aquatic weed control within an integrated water management framework*. Proefschrift Universiteit Wageningen. Report 67, DLO Winand Staring Centrum (nu Alterra). 204 pp.

Stiboka, 1970. *Toelichting bij de bodemkaart van Nederland*, blad 31 oost. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.

Bijlage I. Het oppervlaktewatermodel SIMWAT

Met het oppervlaktewatermodel SIMWAT is het mogelijk om de verdeling van water te simuleren in tijden met een waterbehoefte en water af te voeren in tijden van wateroverschot. Een veranderend proces in de tijd, waarbij gemalen een zekere periode werken, inlaten open staan, etc. Hiervoor wordt het oppervlaktewaterstelsel geschematiseerd als een netwerk van waterlopen. Het oppervlaktewatermodel SIMWAT (simulatie waterbeweging in netwerken) maakt gebruik van de bewegingsvergelijking van Saint-Venant (CHOW, 1959). Voor een netwerk van waterlopen berekent deze vergelijking de waterstanden en de waterbeweging op elke plaats en tijd. Deze vergelijking is een benadering in de vorm van berekende waterstanden op een aantal plaatsen (de knooppunten). De waterbeweging in de waterlopen is een zeer langzaam veranderend proces in de tijd, waardoor de Saint-Venant vergelijking te vereenvoudigen is. In plaats van een dynamische golf rekent het model dan met een zogeheten 'diffusion wave type'. Dit heeft het voordeel dat voor de te kiezen tijdstap geen beperkingen gelden. Er gelden dan ook geen beperkingen voor de tijdstap, maar deze wordt alleen beperkt door hydraulische gegevens en gebiedskenmerken. Voor het verband tussen stromingsweerstand en stroomsnelheid kan gerekend worden met de formule van Manning of Chezy (Querner, 1993).

Waterbeweging

Het waterlopenstelsel wordt in het model SIMWAT geschematiseerd tot een stelsel van leidingen en knooppunten. In elk knooppunt kunnen meerdere leidingen samenkomen. In een knooppunt wordt een waterstand h_i berekend en voor een leiding volgt hieruit een debiet Q als:

$$Q_{ji} = K_{ji} (h_j - h_i) \quad (1)$$

de term K_{ji} omvat de ruwheid en geometrie van een leidingvak. Door gebruik te maken van de continuïteitsvergelijking en vergelijking (1) kan voor alle knooppunten in matrix vorm een vergelijking worden opgesteld in de vorm:

$$\{ T \} = [K] \{ h \} \quad (2)$$

hierin bevat de vector $\{T\}$ alle bekende termen en de matrix $[K]$ wordt beschouwd als de weerstands- en bergingsmatrix. Deze matrix omvat alle bijdragen van de stromingsweerstand tussen het beschouwde knooppunt en alle aanliggende knooppunten en de bergingscapaciteit van het knooppunt. Met behulp van matrixinversie wordt een stelsel van n -vergelijkingen met n -onbekenden opgelost. Omdat de weerstand afhankelijk is van de (onbekende) waterstand is het nodig om een aantal iteraties uit te voeren. De tijdstap kan in principe vrij gekozen worden, maar voor numerieke stabiliteit is het beperkt door factoren als leidinglengte, verandering debiet, geometrie, etc. In de praktijk wordt de tijdstap niet groter genomen als een kwart dag. In elk knooppunt wordt een uitwisseling met het grondwatersysteem mogelijk gemaakt. De flux is afhankelijk van de waterstand in de leiding ten opzichte van de grondwaterstand, drainage of infiltratie is dan ook mogelijk.

Het waterdoorvoerend vermogen van een waterloop wordt bepaald door de aanwezigheid van ruwheden over het natte profiel, meestal in de vorm van waterplanten. De remmende werking wordt meestal uitgedrukt in de ruwheidsparameter kM bij toepassing van de formule van Manning. Als er in de waterloop veel vernauwingen voorkomen, zoals bruggetjes en duikers, dan hebben deze ook een remmende werking op het debiet. Intree- en uittreeverliezen veroorzaken een waterstandsverschil over elk kunstwerk, die de afvoer afremt. In de waterlopen zijn veel duikers aanwezig. In het stromingsmodel is het onmogelijk om al deze duikers apart in

beschouwing te nemen. Daarom is voor de ruwheidsparameter kM een waarde van 25 aangehouden om de weerstand van alle duikers en bruggetjes te verdisconteren.

Interactie met het grondwatermodel

Een model van een netwerk wat het waterlopen patroon voorstelt, is in staat om het water te verdelen in tijden van waterbehoefte en water te verzamelen in tijden van wateroverschot. Infiltratie en drainage wordt in beschouwing genomen door het grondwatermodel per knooppunt aan het oppervlaktewater systeem te koppelen. Afhankelijk van een grondwaterstand ten opzichte van de waterstand in de waterloop treedt drainage of infiltratie op. Het grondwatersysteem wordt ook nog gevoed vanuit diepere lagen of er treedt wegzijging op. Daarnaast is er een stroming naar de onverzadigde zone door capillaire opstijging of percolatie als er veel neerslag valt.

Bij drainage of infiltratie in Simgro wordt het water direct naar een knooppunt van het oppervlaktewater in het model Simwat gekoppeld. In gebieden waar geen oppervlaktewaternetwerk aanwezig is wordt de standaard aanpak oppervlaktewater uit Simgro, bakjes concept, gebruikt.

Bijlage II. De drainageweerstand volgens Hooghoudt en Ernst

De drainageweerstand bestaat uit drie componenten: de verticale, de horizontale en de radiale drainageweerstand. Door Hooghoudt wordt de verticale drainageweerstand verwaarloosd. In deze beschouwing vullen we de drainageweerstand volgens Hooghoudt aan met de verticale drainageweerstand volgens Ernst. De drainageweerstand wordt dan:

$$R_{\text{tot}} = h/q = R_v + R_h + R_r = D_v/K_1 + (L - 1,4 D_2)^2/8K_2D_2 + (L/\pi K_2) \ln(0,7 D_2/r)$$

Waarin: R = drainageweerstand, totaal, verticaal, horizontaal en radiaal (dagen)
 h = opbolling grondwaterstand (m)
 q = specifieke afvoer ((afvoer in m^3/d)/(m^2 oppervlakte) = m/d)
 L = drainafstand (m)
 K_1 = verzadigde doorlatendheid van de laag boven de drains (m/d)
 K_2 = verzadigde doorlatendheid van de laag onder de drains (m/d)
 D_v = de gemiddelde dikte van de verzadigde laag boven de drains (m)
 D_2 = de dikte van de laag onder de drains die meedoet aan de (voornamelijk) horizontale doorstroming (m)
 r = straal van de drain (m)

Voor deze beschouwing wordt een homogeen profiel aangehouden, waarbij $K_1 = K_2$.

Voor D_2 wordt $\frac{1}{4} L$ aangehouden (bij een ondoorlatende laag dieper dan $\frac{1}{4} L$ onder de drains is dat een goede aanname (van Beers, 1976)). De drainafstand $L = 4$ m; $D_2 = \frac{1}{4} L = 1$ m; de straal r van de drain = 0,03 m.

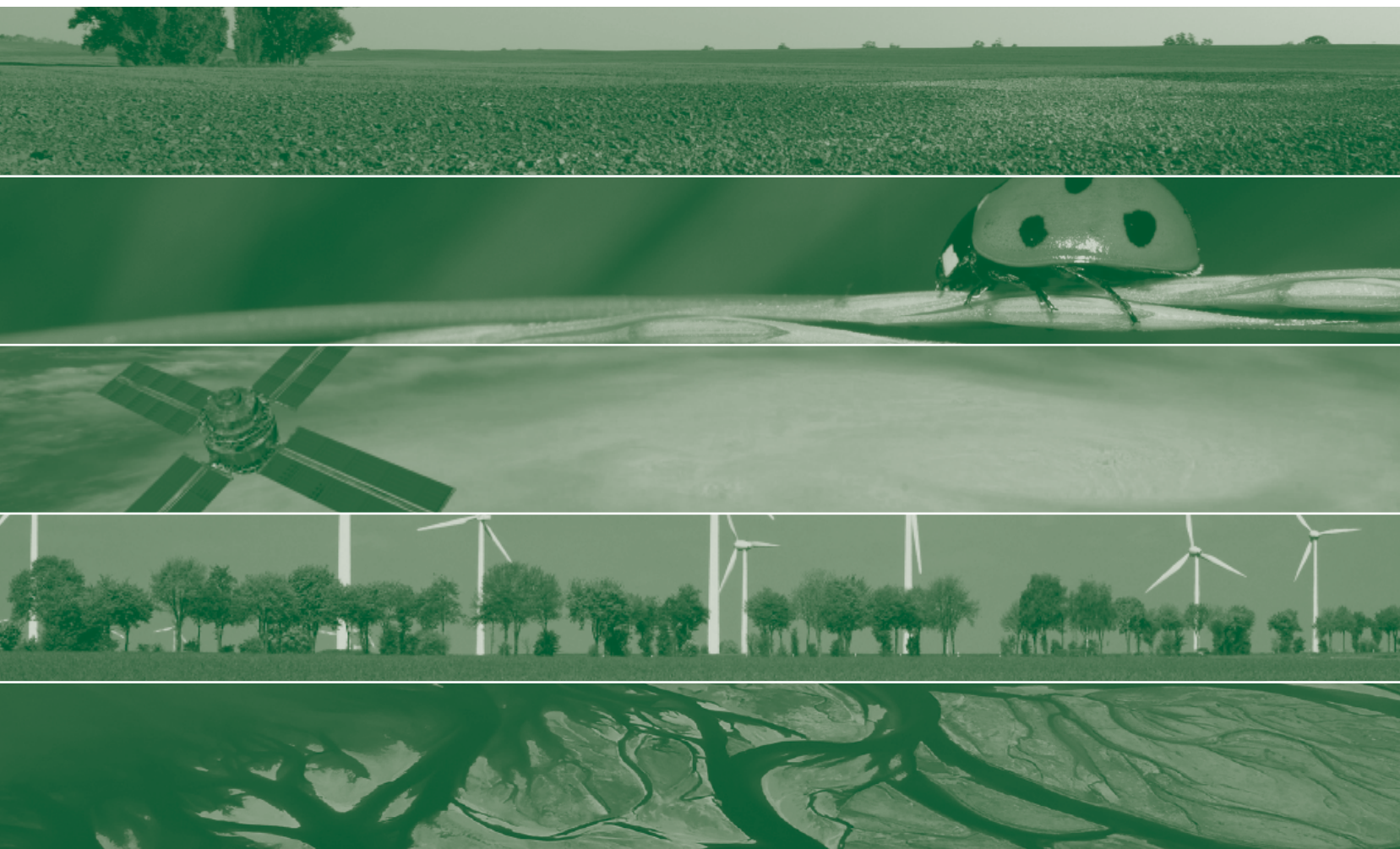
Uit de modelberekeningen volgt dat de GHG ca. 30 cm is, zodat de opbolling $h = 20$ cm en daarmee is D_v dan maximaal 20 cm. Door in de formule alle bekende waarden in te vullen en rekening houdende met de in het model aangehouden drainageweerstand van 27 dagen volgt dat de verzadigde doorlatendheid $K = 0,187$ m/d. Dit komt goed overeen met de verzadigde doorlatendheden die in de pilotstudie in Zegveld zijn gemeten, waarin waarden van K_{sat} in de range van 0,05 tot 0,80 en hoger werden gemeten.

Invullen van $K = 0,187$ m/d leert dat de drainageweerstand van 27 dagen kan worden opgedeeld in de verticale, horizontale en radiale componenten $R_v = 1,1$; $R_h = 4,5$ en $R_r = 21,4$ dagen. De radiale component levert het overgrote deel van de drainageweerstand. De verticale component kan bijna worden verwaarloosd.

Het verdubbelen van de drainafstand L naar $L = 8$ m en D_2 naar $D_2 = \frac{1}{4} L = 2$ m, levert een drainageweerstand van 62,3 dagen op, waarin $R_v = 1,1$; $R_h = 9,0$ en $R_r = 52,2$ dagen.

Uit de formule volgt direct dat het halveren van de verzadigde doorlatendheid een verdubbeling van elke component en van de totale drainageweerstand oplevert.

Gaat men ervan uit dat door dichtslibben alleen de radiale drainageweerstand toeneemt, dan wordt een verdubbeling van de drainageweerstand bereikt door een verlaging van de verzadigde doorlatendheid bij de drain naar $K_r = 0,083$ m/d.



Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

Meer informatie: www.alterra.wur.nl