



---

# Effecten van onderwaterdrains in peilvak 9 van polder Groot-Wilnis Vinkeveen

Modelstudie naar de effecten van onderwaterdrains op maaiveld­daling, waterbeheer, wateroverlast en waterkwaliteit in peilvak 9

R.F.A. Hendriks, J.J.H. van den Akker, P.C. Jansen en H.Th.L. Massop



ALTERRA  
WAGENINGENUR

---



---

# Effecten van onderwaterdrains in peilvak 9 van polder Groot-Wilnis Vinkeveen

Modelstudie naar de effecten van onderwaterdrains op maaiveld­daling, waterbeheer, wateroverlast en waterkwaliteit in peilvak 9

R.F.A. Hendriks, J.J.H. van den Akker, P.C. Jansen en H.Th.L. Massop

Dit onderzoek is uitgevoerd door Alterra Wageningen UR in opdracht van De Provincie Utrecht.

Alterra Wageningen UR  
Wageningen, juni 2014

---

Alterra-rapport 2480  
ISSN 1566-7197

---

Hendriks, R.F.A., J.J.H. van den Akker, P.C. Jansen en H.Th.L. Massop, 2014. *Effecten van onderwaterdrains in peilvak 9 van polder Groot-Wilnis Vinkeveen; Modelstudie naar de effecten van onderwaterdrains op maaiveldddaling, waterbeheer, wateroverlast en waterkwaliteit in peilvak 9*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2480. 124 blz.; 42 fig.; 13 tab.; 33 ref.

Dit rapport beschrijft een modelstudie naar de effecten van grootschalige toepassing van onderwaterdrains op de maaiveldddaling, het waterbeheer, wateroverlast en de waterkwaliteit in Peilvak 9 in polder Groot-Wilnis Vinkeveen. Bijzonder en belangrijk aan deze studie is dat de effecten over vijftig jaar zijn doorgerekend. Toepassing van onderwaterdrains halveert de maaivelddalingsnelheid in de gebiedsdelen waarin de drains zijn aangebracht tot 5 mm per jaar. In de rest van het peilvak neemt op de langere termijn de maaiveldddaling af met 17%. De gemiddelde maaivelddalingsnelheid in het peilvak bedraagt dan 6 mm per jaar. Veenbehoud kost water, vooral in een wegzijgingsgebied als Peilvak 9. Bij toepassen van onderwaterdrains neemt de waterinlaat op jaarbasis toe met 43 mm of 25% ten opzichte van de huidige situatie. Op de lange termijn wordt de inlaatbehoefte iets (5%) kleiner. De bemaling neemt bij toepassen van onderwaterdrains op de korte termijn toe met 11% ten opzichte van de situatie zónder drains; na veertig jaar is er geen verschil meer. De wateroverlast als inundatie van minstens 10% van het areaal van Peilvak 9 neemt bij toepassen van onderwaterdrains uitsluitend toe in de laaggelegen gebieden waarin geen drains liggen. Bij extreme buien verhogen onderwaterdrains pieken in het slootpeil met 1-2 cm. Door het waterbeheer aan te passen aan het verwachte weer kunnen mét drains pieken beter worden verlaagd. Het effect van onderwaterdrains op de fosfor-, stikstof- en sulfaatbelasting van het oppervlaktewater is op de korte termijn een lichte afname en op de lange termijn een afname met 10%-20% van de belasting. Het langetermijneffect komt vooral door een minder grotere afname van de wegzijging in de situatie mét onderwaterdrains dan in de situatie zónder onderwaterdrains.

Trefwoorden: ANIMO, bemaling, fosfor, maaiveldddaling, modelberekeningen, nutriëntenbelasting, onderwaterdrains, oppervlaktewater, stikstof, sulfaat, SWAP, veen, veenafbraak, veenweide, waterinlaat, waterkwaliteit, wateroverlast.

Dit rapport is gratis te downloaden van [www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra) (ga naar 'Alterra-rapporten' in de grijze balk onderaan). Alterra Wageningen UR verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2014 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl), [www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra). Alterra is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

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

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

---

# Inhoud

	<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
	<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>23</b>
	1.1 Achtergrond	23
	1.2 Probleemstelling	24
	1.3 Doelstelling	24
	1.4 Leeswijzer	25
<b>2</b>	<b>Methoden</b>	<b>27</b>
	2.1 Korte beschrijving modellen	27
	2.1.1 Waterhuishouding: SWAP	27
	2.1.2 Maaiveldddaling: empirische relatie	29
	2.1.3 Nutriëntenuitspoeling: ANIMO	29
	2.2 Gebiedsschematisering van Peilvak 9	31
	2.2.1 Korte, algemene gebiedsbeschrijving	31
	2.2.2 Schematisering	31
	2.3 Modelberekeningen voor Peilvak 9	35
	2.3.1 Doorgerekende scenario's	35
	2.3.2 SWAP als 'netwerkmodel'	36
	2.3.3 Parameterisatie van de modellen	38
<b>3</b>	<b>Resultaten maaiveldddaling</b>	<b>42</b>
	3.1 Huidige en toekomstige maaiveldddaling, maaiveldhoogte en drooglegging	42
	3.1.1 Maaiveldddaling	42
	3.1.2 Maaiveldhoogte	48
	3.1.3 Drooglegging	54
	3.1.4 Samenhang op deelgebiedsniveau	58
	3.2 Historische maaiveldddaling	60
<b>4</b>	<b>Resultaten waterkwantiteit</b>	<b>61</b>
	4.1 Toekomstopties	61
	4.1.1 Infiltratie en drainage, en inlaat en bemaling	61
	4.1.2 Wateroverlast	65
	4.2 Extreme buien	67
	4.2.1 Referentieberekening	68
	4.2.2 Scenario's van peilbeheer	71
<b>5</b>	<b>Resultaten waterkwaliteit</b>	<b>76</b>
	5.1 Toekomstoptie zónder onderwaterdrains: autonome ontwikkeling	76
	5.2 Toekomstoptie mét onderwaterdrains: effecten van drains	78

---

<b>6</b>	<b>Discussie, conclusies en aanbevelingen</b>	<b>81</b>
6.1	Discussie	81
6.1.1	Kanttekeningen bij de modelberekeningen	81
6.1.2	Betrouwbaarheid berekeningen maaiveldddaling	82
6.1.3	Gevolgen van remmen maaiveldddaling door toepassen van onderwaterdrains	84
6.2	Conclusies	85
6.3	Aanbevelingen	88
	<b>Literatuur</b>	<b>91</b>
	<b>Bijlage 1 Aanvullingen methoden</b>	<b>93</b>
	<b>Bijlage 2 Maaiveldddaling in de Demmeriksepolder op basis van historische gegevens</b>	<b>103</b>
	<b>Bijlage 3 Aanvullende resultaten waterkwantiteit</b>	<b>109</b>
	<b>Bijlage 4 Aanvullende resultaten waterkwaliteit</b>	<b>113</b>
	<b>Bijlage 5 Onzekerheid in stijghoogten</b>	<b>119</b>

---

# Woord vooraf

Voor het veenweidegebied van Groot Wilnis-Vinkeveen, waarvan Peilvak 9 een onderdeel is, is door een groot aantal partijen een convenant afgesloten met onder andere als doel het substantieel verminderen van de bodemdaling. Dit doel hangt samen met de doelstelling om het 'cultuurhistorische referentiebeeld van een open veenweidelandschap waarin de melkveehouderij zich kan blijven ontwikkelen' te behouden. Een middel daartoe is het halveren van de snelheid van maaiveld­daling.

Eén van de mogelijkheden om de nagestreefde vermindering van de maaiveld­daling te bereiken is de grootschalige aanleg van onderwaterdrains. Dit instrument kan echter ongewenste neven­effecten hebben op de benodigde hoeveelheid inlaatwater in de zomer, op de piekafvoeren en wateroverlast bij hevige neerslag, en op de waterkwaliteit van het oppervlaktewater. In diverse studies en een aantal pilots (praktijkproeven) is hier al onderzoek naar gedaan. Eén van die pilots was geïnitieerd en gecoördineerd door de provincie Utrecht en uitgevoerd door Alterra en Livestock Research met als doel om op semi-praktijkschaal een situatie met onderwaterdrains te onderzoeken naast een situatie zonder onderwaterdrains. Dit onderzoek is uitgevoerd op een viertal percelen van één bedrijf in Peilvak 9. Het onderzoek heeft veel inzicht en kennis op perceelsniveau opgeleverd. Maar de vraag bleef bestaan wat deze kennis voor een geheel peilvak betekent.

De pilot heeft ook simulatiemodellen opgeleverd die zijn geijkt op de verkregen meetgegevens. Daardoor bestond de mogelijkheid om op basis van de uit de pilot verkregen resultaten en modellen een verkenning voor het gehele Peilvak 9 uit te voeren. Met de gekalibreerde modellen kunnen positieve en negatieve effecten op bodemdaling, oppervlaktewaterkwaliteit, hoeveelheden inlaatwater en piekafvoeren worden berekend. De provincie Utrecht heeft Alterra de opdracht verleend om een modelstudie uit te voeren naar effecten van onderwaterdrains in Peilvak 9. De resultaten daarvan zijn beschreven in dit rapport.

Onze dank gaat uit naar Hans Mankor van de provincie Utrecht en Jacques van Alphen van Waternet die het onderzoek hebben begeleid en mede vormgegeven. Zij hebben actief bijgedragen aan het uitvoeren van de modelstudie en de totstandkoming van dit rapport.

Meer informatie over dit onderzoek is te verkrijgen van:

Rob Hendriks  
[rob.hendriks@wur.nl](mailto:rob.hendriks@wur.nl)  
tel.: 0317-486465

Jan van den Akker  
[janjh.vandenakker@wur.nl](mailto:janjh.vandenakker@wur.nl)  
tel.: 0317-486519





---

# Samenvatting

## 0.1 Inleiding

Voor Peilvak 9 in polder Groot Wilnis-Vinkeveen is een convenant afgesloten met als doel het halveren van de bodemdaling. Een van de mogelijkheden om dit te bereiken is de grootschalige aanleg van onderwaterdrains - drainbuizen die onder slootpeil liggen - waardoor de infiltratie van slootwater in de veenbodem toeneemt en de grondwaterpeilen in de percelen in droge tijden minder ver beneden slootpeil zakken. Hierdoor neemt de veenafbraak onder invloed van zuurstof (oxidatie) af met als gevolg dat de maaiveldddaling vermindert. Het leeuwendeel van de veenoxidatie treedt op onder droge omstandigheden tijdens perioden met lage grondwaterstanden.

Grootschalige toepassing van onderwaterdrains om maaiveldddaling in veenweiden te verminderen, kan ongewenste neveneffecten hebben op de waterkwaliteit van het oppervlaktewater, op de benodigde hoeveelheid inlaatwater in de zomer en op de piekafvoeren en wateroverlast bij hevige neerslag. Om een goede afweging mogelijk te maken tegen de positieve effecten op de maaiveldddaling in Peilvak 9 moesten de positieve effecten en de negatieve neveneffecten worden vastgesteld en gekwantificeerd.

Een dergelijke verkenning vooraf kon niet worden gedaan door meten, omdat onderwaterdrains nog niet grootschalig zijn toegepast in het peilvak. Wel was binnen Peilvak 9 een 'pilot onderwaterdrains' uitgevoerd op een viertal percelen van één bedrijf. Naast inzicht en kennis op perceelsniveau heeft deze pilot ook simulatiemodellen opgeleverd die zijn geijkt op de verkregen meetgegevens. Met de geijkte modellen kunnen positieve en negatieve effecten op bodemdaling, oppervlaktewaterkwaliteit, hoeveelheden inlaatwater en piekafvoeren worden berekend.

De doelstelling van het project was het aanleveren van gegevens voor het beantwoorden van een aantal vragen. De hoofdvraag was of het principe van de grootschalige aanleg van onderwaterdrains in Peilvak 9 er toe leidt dat de doelstelling van halvering van de bodemdaling behaald wordt, zonder al te grote ongewenste neveneffecten. Daarvoor zijn de volgende deelvragen opgesteld die zijn onderzocht in een modelonderzoek met bovengenoemde geijkte modellen:

- Welke delen van Peilvak 9 komen in aanmerking voor toepassing van onderwaterdrains?
- Wat voor effect heeft toepassing van onderwaterdrains op de maaiveldddaling op de korte (tien jaar) en lange (vijftig jaar) termijn?
- Wat voor effect heeft toepassing van onderwaterdrains op de waterinlaat en de wateroverlast op de korte en lange termijn?
- Wat voor effect heeft toepassing van onderwaterdrains op de oppervlaktewaterkwaliteit op de korte en lange termijn?

## 0.2 Methoden

De modelberekeningen die zijn gedaan om de deelvragen te beantwoorden vallen in drie delen uiteen:

1. De **waterhuishouding** is berekend met het agrohydrologische model SWAP. De grootheden die zijn berekend zijn de grondwaterstand, de slootwaterstand en de termen van de waterbalans, waaronder de bemaling, de inlaat, de wateruitwisseling tussen perceel en sloot, en de wegzijging naar het diepere grondwater.
2. De **maaiveldddaling** is berekend met een empirische relatie tussen de maaiveldddaling en de gemiddeldlaagste grondwaterstand op basis van de met SWAP berekende grondwaterstanden.
3. De **waterkwaliteit** is berekend met het nutriëntenuitspoelingsmodel ANIMO. Het gaat hierbij om de belasting van het oppervlaktewater met de nutriënten fosfor, stikstof en sulfaat door af- en uitspoeling vanaf en vanuit de veenbodem.

---

Om zoveel mogelijk rekening te houden met de wisselende omstandigheden binnen Peilvak 9 is het gebied opgedeeld in vijftien deelgebieden. Er is verondersteld dat binnen een deelgebied de omstandigheden gelijk zijn. Daardoor kon elk deelgebied als een aparte eenheid met een eigen modelinvoer worden doorgerekend. Op perceelsniveau kunnen soms wel afwijkingen bestaan. Door de randvoorwaarde van maximaal vijftien deelgebieden wijken sommige percelen op grond van een bepaald criterium - bijvoorbeeld drooglegging - af van de rest van het deelgebied. De criteria voor de indeling in deelgebieden waren:

1. De maaiveldhoogte en daarmee de drooglegging;
2. De mate van wegzijging;
3. De bodemsoort. Er is onderscheid gemaakt tussen veenbodems met en veenbodems zonder dunne (< 40 cm) afdekkende kleilaag.

Voor realistische resultaten was het van groot belang dat de samenhang tussen de afzonderlijke percelen in het peilvak werd meegenomen in de modellering. Alle percelen in het peilvak staan in verbinding met hetzelfde stelsel van sloten en waterlopen waarin het peil meestal overal nagenoeg gelijk is. Het peil bepaalt in hoge mate de waterhuishouding van elk perceel. Anderzijds beïnvloedt elk perceel het peil door wateruitwisseling tussen perceel en oppervlaktewaterstelsel. Door deze wisselwerking beïnvloeden percelen elkaar ook onderling via het oppervlaktewater. In de berekeningen is daarin voorzien door in SWAP de balans van het oppervlaktewater mee te berekenen in relatie met de waterbalans van de veenbodem.

Voor elk deelgebied is bepaald of het in aanmerking komt voor onderwaterdrains op grond van de volgende eisen aan de drooglegging met het oog op vooral de effecten op de waterkwaliteit (Figuur 0.1):

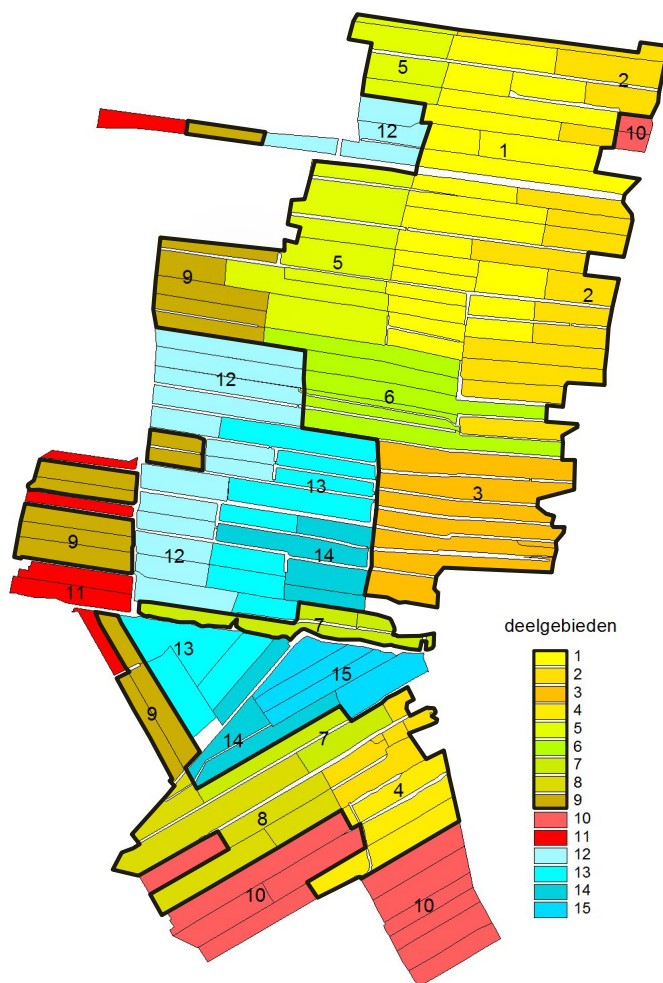
1. Een drooglegging tussen 35 cm en 60 cm **voldoet** voor toepassing van onderwaterdrains. Deelgebieden 1 t/m 9 (63% van de oppervlakte) zijn geschikt voor onderwaterdrains.
2. Een drooglegging groter dan 60 cm is **te groot** voor onderwaterdrains. Beneden de grondwaterpiegel bevat de veenbodem veel gemakkelijkuitspoelbare fosfor en stikstof die door drains die (te) diep liggen versneld kunnen worden afgevoerd. Deelgebieden 10 en 11 (12% van de oppervlakte) hebben een te grote drooglegging. Deelgebied 10 heeft een kleidek en daalt daardoor minder snel.
3. Een drooglegging kleiner dan 35 cm is **te klein** voor onderwaterdrains. Door de ondiepe grondwaterstanden zullen via de drains veel meststoffen versneld uitspoelen naar het oppervlaktewater. Dit zijn de deelgebieden 12 t/m 15 (25% van de oppervlakte). Volgens het gebiedsconvenant wordt de nieuwe (drasland)natuur in peilvak 9 zoveel mogelijk op deze laagst gelegen delen gerealiseerd.

Er zijn twee toekomstopties doorgerekend:

1. **Toekomstoptie zonder onderwaterdrains:** er worden nergens onderwaterdrains toegepast. De door het model berekende peilverlaging die bij elk peilbesluit wordt doorgevoerd is nagenoeg gelijk aan de geschatte huidige maaiveldddaling van circa 12 cm.
2. **Toekomstoptie onderwaterdrains:** er worden onderwaterdrains toegepast in de daarvoor in aanmerking komende deelgebieden. De door het model berekende peilverlaging die bij elk peilbesluit wordt doorgevoerd is nagenoeg gelijk aan de in het convenant afgesproken toegestane maaiveldddaling van 6 cm.

De twee toekomstopties zijn met de modellen doorgerekend voor een periode van vijftig jaar. Telkens is tien jaar doorgerekend, waarna een polderpeilverlaging is doorgevoerd. Hiermee is gesimuleerd dat elke tien jaar een nieuw peilbesluit wordt genomen. Het streefpeil is hiervoor in beide toekomstopties aangepast aan de door het model berekende gemiddelde daling van het maaiveld in de negen deelgebieden die in aanmerking komen voor onderwaterdrains. Voor deze berekeningen van de toekomstige vijftig jaar is gebruik gemaakt van neerslag- en verdampingsgegevens van de afgelopen vijftig jaar (1961 t/m 2010). Ook de gemeten stijghoogten in het 1<sup>e</sup>-watervoerende-pakket voor het berekenen van de wegzijging zijn van deze periode genomen. Startpunt van de berekeningen voor beide toekomstopties waren de huidige maaiveldhoogten en het nieuw in te stellen streefpeil van -2,60 m + NAP.

Voor de berekening van de waterbalans van het oppervlaktewaterstelsel zijn gegevens van Waternet gebruikt over peilbeheer en dimensies van waterlopen, zoals capaciteit van gemaal en waterinlaat, drempels rond streefpeil voor bemaling en waterinlaat, areaal aan oppervlaktewater, enz. Voor de eigenschappen van de veenbodems zijn gegevens ontleend aan de pilot en aan bestaande gegevensbestanden. Als landgebruik is voor het gehele peilvak grasland genomen.



**Figuur 0.1** Indeling van Peilvak 9 in vijftien deelgebieden; met donkergroen omrand de deelgebieden die in aanmerking komen voor onderwaterdrains. De rode gebieden zijn te droog en de blauwe te nat voor onderwaterdrains. Deelgebieden 4 en 10 hebben een dun (< 40 cm) kleidek; de overige deelgebieden niet.

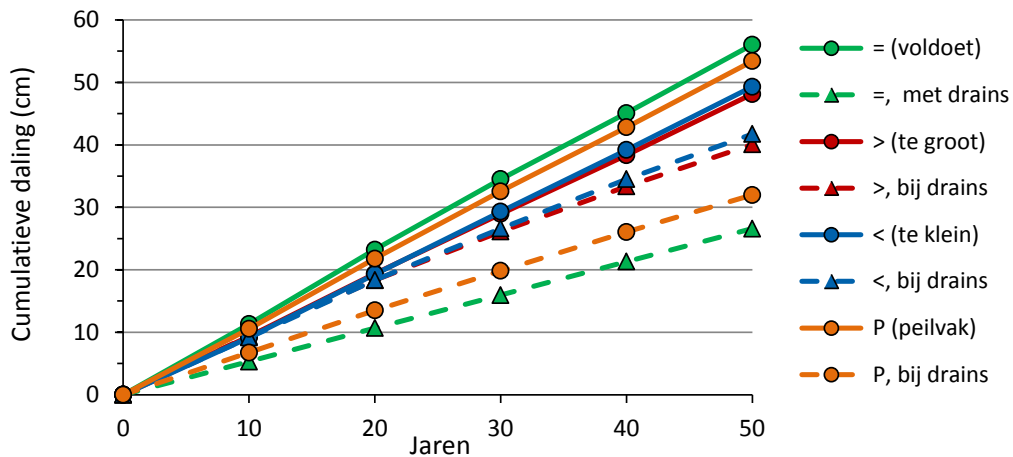
Om na te gaan of de gebruikte modellen realistische toekomstige maaiveld dalingen kunnen voorspellen, zijn hun uitkomsten getoetst aan historische maaiveld dalingen. Daartoe zijn vergelijkbare berekeningen als die van toekomstoptie 1 (geen drains) gedaan. Als startwaarden zijn historische maaiveld hoogten uit 1961 en 1968 gebruikt. Als invoer zijn historische streefpeilen genomen. De uitkomsten van de berekeningen zijn vergeleken met de huidige maaiveld hoogten.

Omdat het om een toekomstverkenning ging, waren gegevens over belangrijke randvoorwaarden niet beschikbaar. Het gaat hierbij vooral om toekomstige gegevens van het weer en van de stijghoogte die kwel/wegzijging bepaalt. Voor beide soorten gegevens zijn waarden uit het verleden gebruikt. Dit geeft een bepaalde onzekerheid rond de modeluitkomsten (zie verder 0.4 Discussie en conclusies).

## 0.3 Resultaten

### Maaiveld daling, maaiveld hoogte en drooglegging nu en in de toekomst

Met de modellen is berekend dat door grootschalige toepassing van onderwaterdrains in de daarvoor geschikte gebieden van Peilvak 9 de maaiveld dalingsnelheid in het gehele peilvak in de toekomst afneemt (Figuur 0.2). Gemiddeld over het peilvak is de afname van de maaiveld daling in vijftig jaar tijd 21 cm of 40% (van 53 cm naar 32 cm). Deze afname van de dalingsnelheid is in de vijftig



**Figuur 0.2** Verloop in de tijd van de berekende areaalgewogen gemiddelde maaivelddaling van de deelgebieden en van het totale Peilvak 9. Voor de deelgebieden is onderscheid gemaakt tussen de deelgebieden met een drooglegging die geschikt is voor onderwaterdrains, of die te groot is of te klein: Voldoet = drooglegging is geschikt voor onderwaterdrains; Te groot = drooglegging is te groot voor drains; Te klein = drooglegging is te klein en veenweiden zijn te nat voor drains. Doorgetrokken lijnen: toekomstoptie zónder drains; onderbroken lijnen: toekomstoptie mét drains.

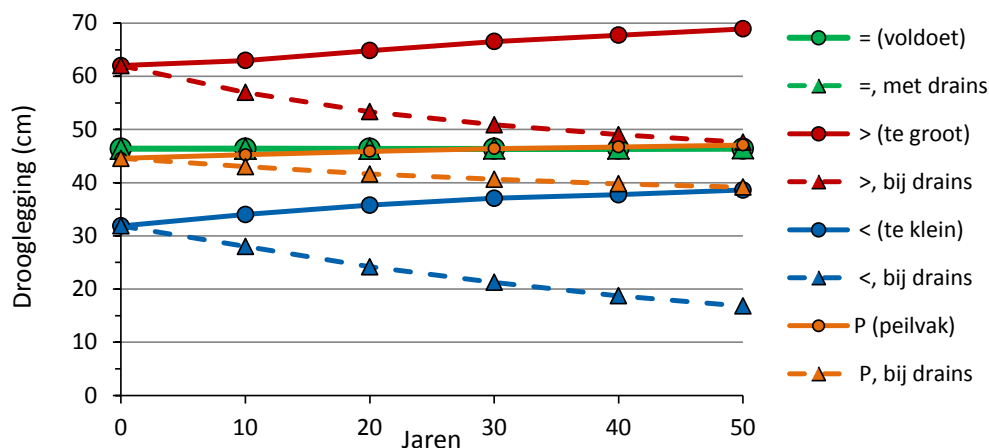
doorgerekende jaren vrijwel constant in de tijd en bedraagt 4,2 mm per jaar. De gebiedsgemiddelde maaivelddalingsnelheid komt daarmee op 6 mm per jaar.

In de deelgebieden waarin de onderwaterdrains liggen is de afname van de dalingsnelheid het grootst: een ruime halvering van gemiddeld 11 mm per jaar naar gemiddeld 5 mm per jaar. Deze halvering komt overeen met de praktijkervaringen die er momenteel zijn met onderwaterdrains. Ze is een direct gevolg van de verhoging van de diepste grondwaterstanden in droge tijden door de versnelde infiltratie van slootwater via de drains. De drooglegging wordt in de deelgebieden met onderwaterdrains gehandhaafd door het slootpeil elke tien jaar aan te passen aan het gedaalde maaiveld (Figuur 0.3). Daardoor is de afname van de maaivelddalingsnelheid constant in de tijd.

In de deelgebieden zónder onderwaterdrains neemt in de toekomstoptie mét onderwaterdrains gemiddeld over vijftig jaar de maaivelddalingsnelheid af met 1,5 mm per jaar (17%) ten opzichte van de optie zonder drains. Deze afname is niet constant, maar neemt toe van nihil naar 3 mm per jaar (30%) na vijftig jaar. De afname van de dalingsnelheid is in de deelgebieden zonder drains een indirect gevolg van de toepassing van de onderwaterdrains. Omdat ze sneller blijven dalen dan het slootpeil - dat immers wordt aangepast aan de daling van de deelgebieden mét drains - wordt hun drooglegging steeds kleiner (Figuur 0.3). Ze worden daardoor steeds natter en dalen daardoor steeds minder snel.

In de toekomstoptie zónder onderwaterdrains is na vijftig jaar de driedeling van het peilvak, in deelgebieden met juiste, te grote en te kleine maaiveldhoogten voor onderwaterdrains, veranderd in een tweedeling (Figuur 0.4). Dan heeft 88% van de oppervlakte een maaiveldhoogte tussen -2,80 m en -2,60 m + NAP. Deze hoogte komt dan overeen met een drooglegging van 36-53 cm, wat volgens de huidige criteria geschikt is voor onderwaterdrains. De overige 12% ligt zo'n 30 cm hoger met een drooglegging van 75 cm. Dit zijn de veenbodems met een kleidek die daardoor minder snel dalen. Het maximale verschil in maaiveldhoogte is in deze optie toegenomen van 30 cm naar 40 cm.

Ook in de toekomstoptie mét onderwaterdrains is, met het oog op de droogleggingscriteria voor toepassing van onderwaterdrains, na vijftig jaar een tweedeling in het peilvak ontstaan (Figuur 0.4). Geschikt voor onderwaterdrains is dan 70% van de oppervlakte met een drooglegging tussen 42-59 cm, die bestaat uit het gebied met drains en deelgebied 10 dat oorspronkelijk te hoog gelegen was voor drains. Het grootste deel hiervan (60 procentpunten) is vrij vlak met een maaiveldhoogte rond -2,40 m + NAP. De overige 10 procentpunten zijn de deelgebieden met een kleidek die langzamer

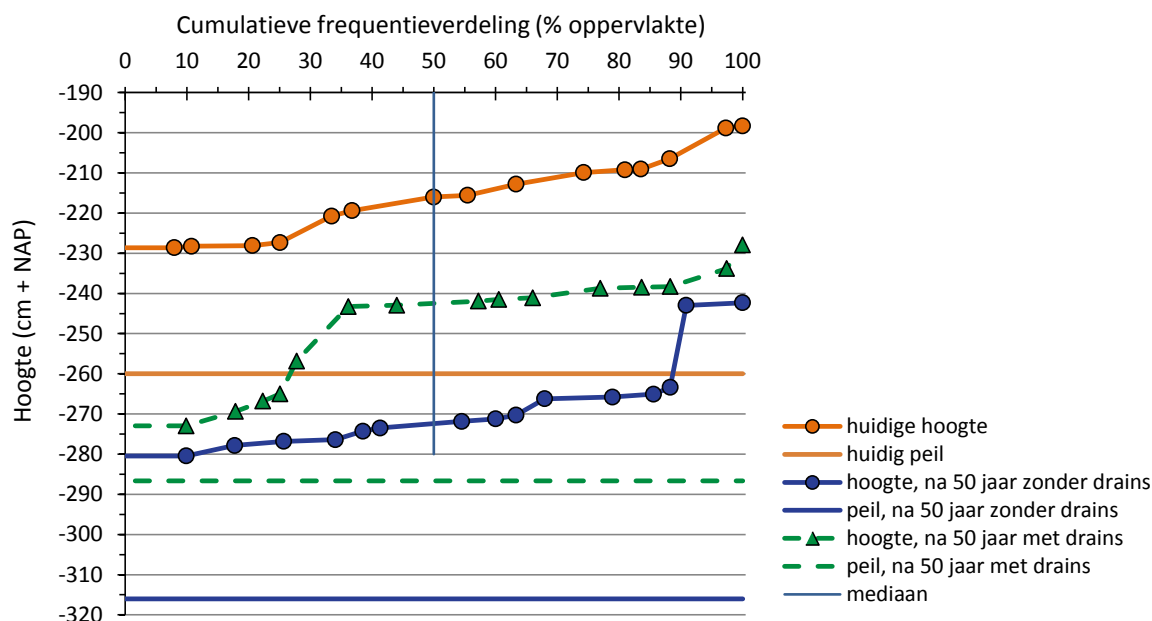


**Figuur 0.3** Verloop in de tijd van de berekende areaalgewogen gemiddelde drooglegging van de deelgebieden en van het totale peilvak, voor de toekomstoptie zónder drains (doorgetrokken lijnen) en de toekomstoptie mét drains (onderbroken lijnen).

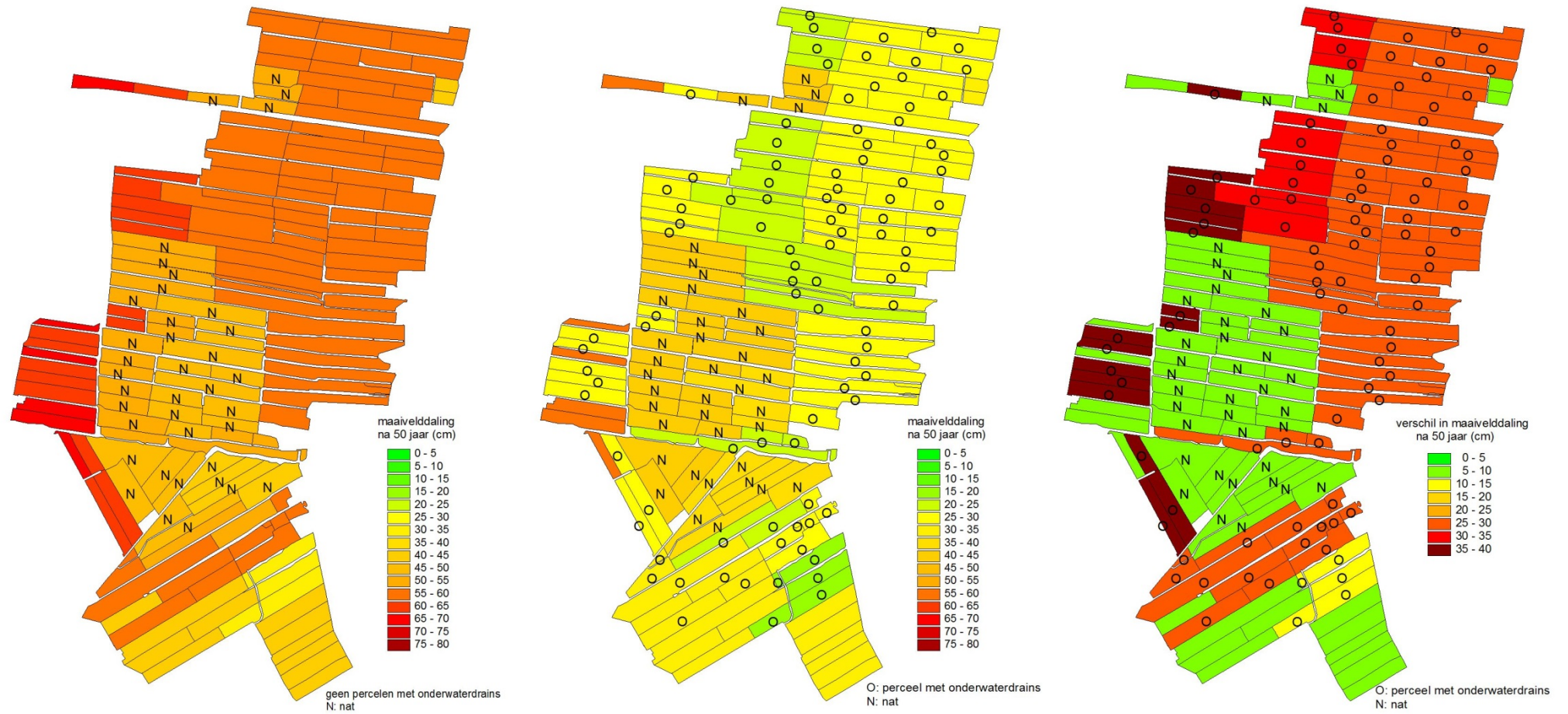
dalen. De resterende 28% van het peilvak is uitgesproken nat met een drooglegging van minder dan 30 cm, waarvan een derde met een drooglegging kleiner dan 15 cm.

Op een gegeven moment zal voor dit natte deel evenwicht bestaan tussen de drooglegging en de maaiveldvaling die dan gelijke tred houdt met de maaiveldvaling in het deel met onderwaterdrains. Het maximale verschil in maaiveldhoogte is in deze optie toegenomen van 30 cm naar ruim 40 cm.

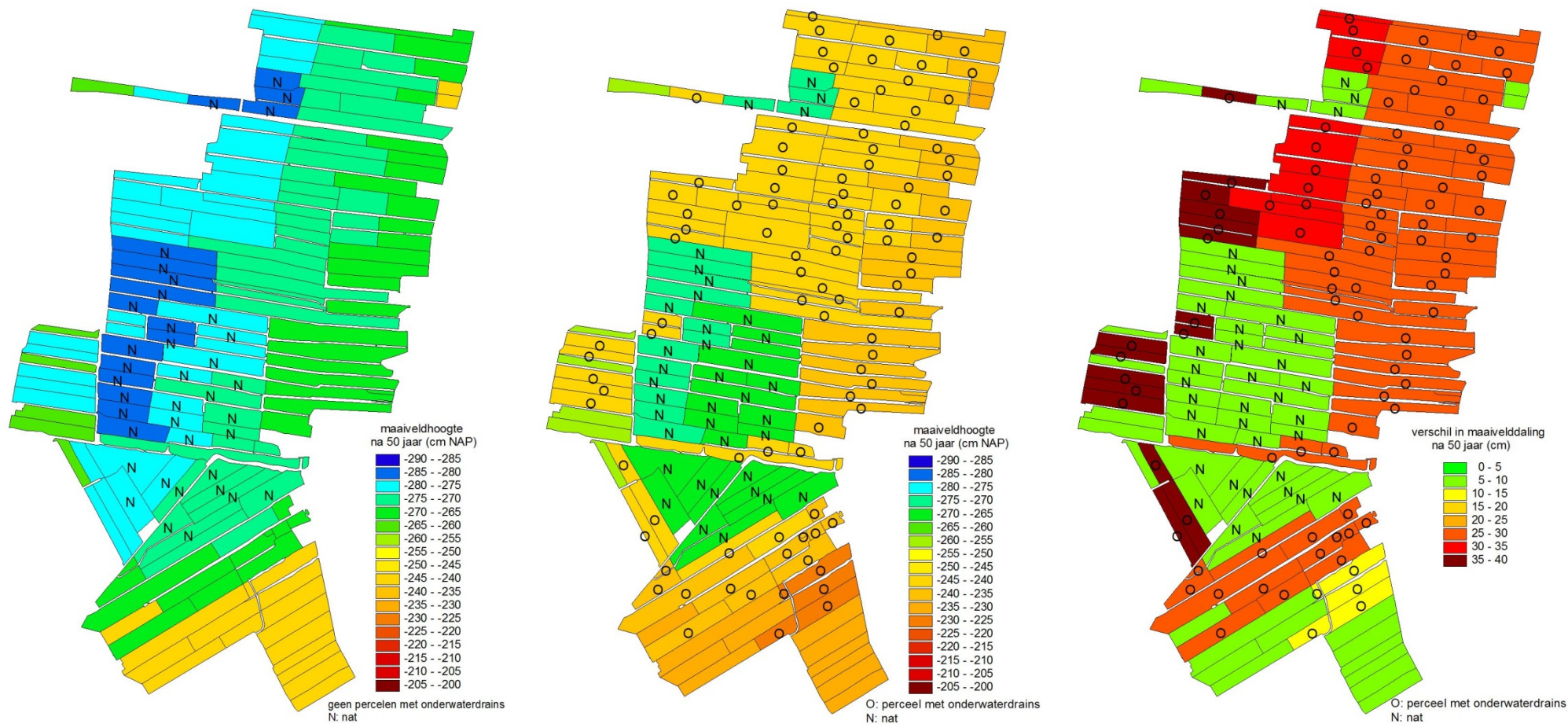
Figuren 0.5 en 0.6 geven kaarten van de ruimtelijke verdeling van de maaiveldvaling en de drooglegging na 50 jaar voor de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains en de verschillen daartussen.



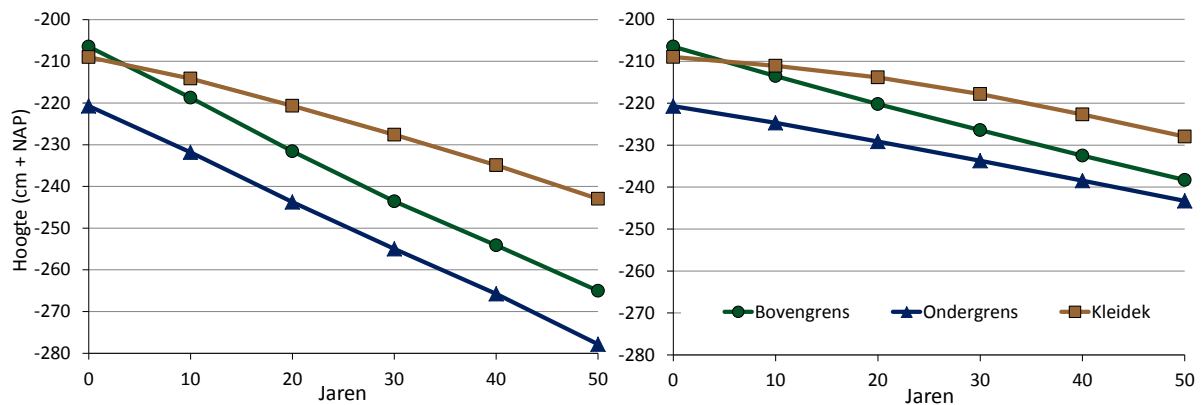
**Figuur 0.4** Cumulatieve frequentieverdeling van de berekende maaiveldhoogten in Peilvak 9 en bijbehorend slootpeil, voor de huidige situatie en voor de beide toekomstopties na vijftig jaar. De symbolen geven de vijftien deelgebieden aan; de horizontale afstand tot hun linkerbuurman is hun procentuele aandeel in het gebiedsareaal. De verticale blauwe lijn in het midden geeft de waarde van de mediaan.



**Figuur 0.5** Ruimtelijk beeld van de berekende maaiveldddaling in Peilvak 9 na vijftig jaar, in de toekomstopties zónder onderwaterdrains (links) en mét onderwaterdrains (midden), en het verschil tussen deze opties (rechts). Het verschil is: 'zonder drains' – 'met drains'. Grotere waarden van de verschilklassen betekenen dat zonder drains de maaiveldddaling groter is. Betekenis van de symbolen in de percelen is gegeven in de kaarten. Percelen zonder symbool in de kaarten midden en rechts zijn te droog voor drains, percelen met 'N' zijn te nat.



**Figuur 0.6** Ruimtelijk beeld van de berekende maaiveldhoogte in Peilvak 9 na vijftig jaar, in de toekomstopties zónder onderwaterdrains (links) en mét onderwaterdrains (midden), en het verschil tussen deze opties (rechts). Het verschil is weergegeven als 'met drains' - 'zonder drains' en is daarmee gelijk aan het verschil in maaiveldddaling en ook als verschil in maaiveldddaling weergegeven in de kaart. Grotere waarden van de verschilklassen betekenen dat mét drains de maaiveldhoogte groter is. Betekenis van de symbolen is gegeven in de kaarten. Percelen zonder symbool in de kaarten midden en rechts zijn te droog voor drains, percelen met 'N' te nat.



**Figuur 0.7** Verloop in de tijd van de bovengrens en ondergrens van de berekende maaiveldhoogten van de negen deelgebieden waarvan de drooglegging voldoet voor onderwaterdrains. Links de toekomstoptie zonder drains, rechts die met drains. De bovenste lijn geeft de maaiveldhoogte van het enige deelgebied (nummer 4) met een kleidek dat in aanmerking komt voor onderwaterdrains.

In de toekomstoptie mét onderwaterdrains groeien de maaiveldhoogten van de deelgebieden mét drains en zonder kleidek naar elkaar toe, zodat na vijftig jaar nog maar kleine onderlinge verschillen bestaan (Figuur 0.7). Dit in tegenstelling tot de toekomstoptie zónder onderwaterdrains waar de maaiveldhoogteverschillen tussen deelgebieden zonder kleidek nagenoeg gelijk blijven. Het verschil met het deelgebied met kleidek wordt vooral in deze optie steeds groter (zie daarvoor ook Figuur 0.4).

### Historische maaivelddaling

Met de modellen is de historische maaivelddaling van 1961 tot 2010 gesimuleerd. De resultaten zijn vergeleken met uit metingen geschatte historische maaivelddalingen voor deze periode. Daaruit blijkt dat de modellen gemiddeld voor het peilvak de historische maaivelddaling redelijk goed kunnen simuleren met een overschatting van 10%. Voor de afzonderlijke deelgebieden wijken de modelberekeningen meer af van de schattingen uit metingen. De conclusie is dat gezien het globale doel en de randvoorwaarden van de modelstudie de berekende huidige en toekomstige maaivelddalingsnelheden voldoende nauwkeurig zijn.

### Waterbalans

Voor de waterbalans van Peilvak 9 zijn twee zaken, die onderling verweven zijn, van belang:

- De ontwikkeling in de toekomst die samenhangt met de maaivelddaling;
- Het effect van onderwaterdrains daarop en op de waterbalans in het algemeen.

Door de voortdurende maaivelddaling en het aanpassen van het slootpeil daaraan zakt de grondwaterspiegel in de percelen steeds dieper. Hij komt daardoor steeds dichterbij de stijghoogte van het diepe grondwater in het 1<sup>e</sup>-watervoerende-pakket te liggen. Daardoor wordt het drukverschil steeds kleiner en neemt de wegzijging af, of slaat het drukverschil zelfs om van richting en verandert wegzijging in kwel. In welke mate hierdoor, en door de peildalingen in de omgeving, de stijghoogte zelf daalt - wat een dempend effect heeft op de afname van de wegzijging - is onzeker. Hierop wordt ingegaan in de discussie van paragraaf 0.4. Gebaseerd op de historische stijghoogtedaling is in de modellering een daling van de stijghoogte van 7 cm in veertig jaar tijd aangenomen.

De verandering van de wegzijging in de tijd als gevolg van de maaivelddaling in de twee toekomstopties is gegeven in Tabel 0.1. In de uitgangssituatie bedraagt de wegzijging gemiddeld per jaar 89 mm, voor beide opties. Wel is de verdeling over het jaar verschillend in de twee opties: in de optie mét drains meer in de zomer en minder in de winter in vergelijking met de optie zónder drains. Na veertig jaar is door de maaivelddaling in de toekomstoptie mét drains de wegzijging afgenomen met 79% tot 19 mm per jaar. In de optie zónder drains is de maaivelddaling twee keer zo groot en het effect op de wegzijging dan ook veel groter: 89 mm wegzijging per jaar is omgeslagen naar 46 mm kwel per jaar; een 'afname van de wegzijging' met ruim 150%.



Tabel 0.1

*Berekende termen van de waterbalans van Peilvak 9 voor de toekomstopties zónder (geen dr.) en mét drains na vijf jaar en na vijfenveertig jaar (berekend als gemiddelden van jaar 1-10 en van jaar 41-50) en het verschil daartussen, en gemiddeld voor de periode van vijftig jaar. Alle termen zijn in mm voor de totale oppervlakte land én water van het peilvak per jaar.*

Situatie	Kwel (positief)/wegzijing				Inlaathoeveelheid				Bemalingshoeveelheid			
	geen dr.	drains	verschil		geen dr.	drains	verschil		geen dr.	drains	verschil	
Na 5 jaar	-89	-89	0	0%	172	215	43	25%	347	385	38	11%
Na 45 jaar	46	-19	-65	-141%	130	207	77	59%	469	474	5	1%
Verschuif absoluut	135	70	-65	-48%	-42	-8	34	-81%	122	89	-33	-27%
Verschuif relatief	152%	79%	-	-	-24%	-4%	79%	-	35%	23%	-87%	-
Gemiddelde 50	-18	-54	-36	-200%	150	212	62	41%	412	430	18	4%

De veel geringere uitstroming over de onderrand van het peilvak heeft grote gevolgen voor de hoeveelheid inlaat en bemaling. De inlaatbehoefte neemt af en de bemaling van overtollig neerslagwater neemt toe. In de optie zónder onderwaterdrains zijn deze veranderingen fors: -24% voor de inlaat en +35% voor de bemaling. Voor de optie mét onderwaterdrains zijn de veranderingen veel kleiner, vooral voor de inlaat die met slechts 4% afneemt. De geringere afname van de wegzijing in deze optie is hiervan niet de enige oorzaak.

Onderwaterdrains zijn bedoeld om de grondwaterstand zo dicht mogelijk bij slootpeil te houden. Omdat de wateruitwisseling tussen sloot en perceel met drains sneller gaat, treden correcties van de grondwaterstand door infiltratie van slootwater en drainage naar de sloot sneller op. Hierdoor is er meer wateruitwisseling, wat resulteert in zowel meer inlaat als meer bemaling van water. Omdat Peilvak 9 een wegzijgingsgebied is, neemt door drains vooral de inlaatbehoefte in het zomerhalfjaar toe: snellere infiltratie in die periode betekent ook meer weglekken van water naar het diepere grondwater. Vooral in wegzijgingsgebieden kost veenbehoud water!

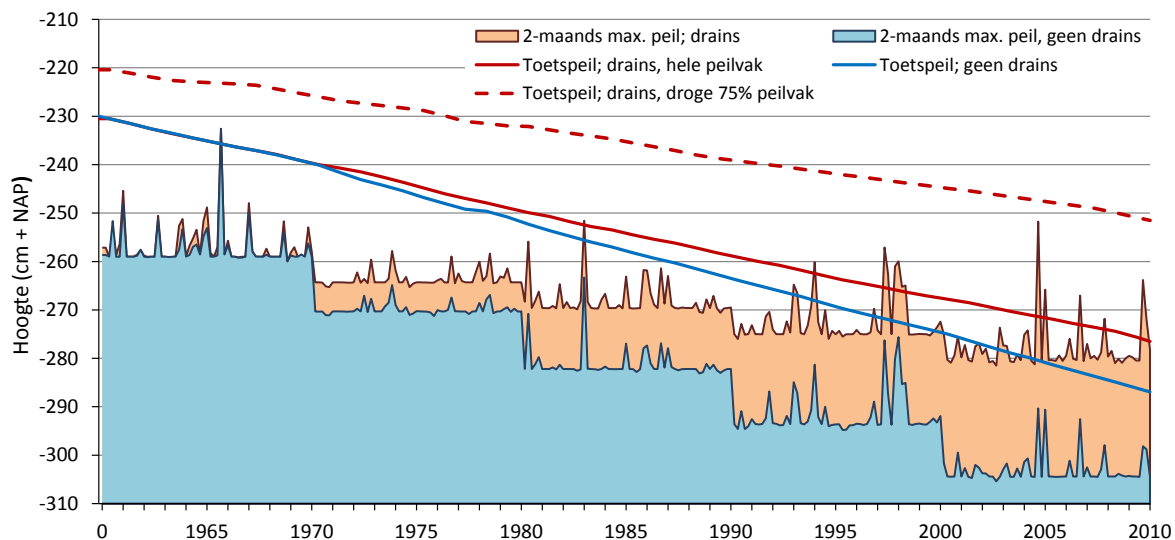
De extra inlaat door toepassing van onderwaterdrains neemt toe in de tijd van 25% naar 59%. De stijging van het verschil in de tijd komt echter doordat in de optie zónder drains de inlaat in de tijd fors daalt. Absoluut gezien neemt ook in de optie mét drains de inlaat iets af in de tijd zodat na veertig jaar de inlaat op jaarbasis 8 mm of 4% kleiner is. Daarom is vooral de toename van de inlaat ten opzichte van de huidige situatie relevant voor het waterbeheer, die neerkomt op 43 mm per jaar of 25%.

De extra bemaling door toepassing van onderwaterdrains is absoluut en vooral relatief veel kleiner dan de extra inlaat: gemiddeld over vijftig jaar 18 mm op jaarbasis of 4%. De extra bemaling wordt ook steeds kleiner: van 11% na vijf jaar tot slechts 1% na vijfenveertig jaar. In de optie met drains blijft de wegzijing langer een alternatieve afvoervorm voor bemaling dan in de optie zonder drains.

### Wateroverlast

In deze studie is wateroverlast gedefinieerd als de situatie waarin minstens 10% van de oppervlakte van het gehele peilvak onder water staat. Het waterpeil waarbij die situatie ontstaat, heet het 'toetspeil'; 10% van het peilvak ligt lager dan dit peil. Voor de toekomstoptie mét onderwaterdrains is nog een tweede toetspeil gedefinieerd: het peil waarbij 10% van het droge deel van het peilvak onder water staat. In dit droge deel, dat 75% van het areaal beslaat (deelgebieden 1-11, Figuur 0.1), blijft volgens het convenant de functie landbouw bestaan. Een apart toetspeil hiervoor is dan ook nuttig. Omdat het maaiveld voortdurend zakt, zakken ook de toetspeilen in de tijd. Dit gaat sneller in de toekomstoptie zónder drains dan in de optie mét drains. Dit laat Figuur 0.8 duidelijk zien.

Ook in Figuur 0.8 aangegeven is het verloop van het slootpeil in de tijd als het hoogste (maximum) peil van elke twee maanden. Dit geeft goed inzicht in het optreden van pieken in het slootpeil. Op alle momenten dat een piek uitsteekt boven het toetspeil is er sprake van wateroverlast. De breedte van de piek op de hoogte waar hij wordt doorsneden door de lijn van het toetspeil is een kwalitatieve indicatie van de duur van de wateroverlast. De totale duur van alle overschrijdingen van het toetspeil in een jaar, alsmede de maximale piekhoogte en het gemiddelde en maximale areaal dat onder water staat (geïndundeerd is) zijn gegeven in Tabel 0.2.



**Figuur 0.8** Verloop in de tijd van de toetspeilen en van het 'tweemaands-maximum-peil' gedurende de 50-jarige simulatieperiode, berekend voor de toekomstopties zónder en mét drains. Het 'tweemaands-maximum-peil' is het hoogste slootpeil van elke twee maanden. In dit figuur heeft elk jaar dus zes maxima, waaronder het absoluuthoogste peil van dat jaar. Omdat het gemaal aanslaat bij streefpeil plus 1 cm, is de basislijn van het maximum peil van elk decennium ruwweg gelijk aan streefpeil + 1 cm. Op de x-as zijn de **weerjaren** gegeven; weerjaar 1961 is jaar 1 van de toekomst. De jaaraanduiding op de x-as markeert het einde van het jaar.

In Figuur 0.8 en Tabel 0.2 is te zien dat in de toekomstoptie zónder onderwaterdrains slechts eenmaal, in weerjaar 1966, een piek optreedt die boven het toetspeil uitsteekt. Ook in de optie mét drains treedt op dat moment wateroverlast op in het peilvak. Hoogte van de piek en duur van de wateroverlast zijn nagenoeg gelijk voor beide toekomstopties. Het toetspeil van de droge 75% van het peilvak in de optie mét onderwaterdrains wordt nooit overschreden. De drooglegging in dit deel is, en blijft in de toekomst, groot genoeg om de pieken in het peil op te vangen.

Na de gezamenlijke wateroverlast van weerjaar 1966 gaan, voor het gehele peilvak, de twee opties volledig uit elkaar lopen. In de optie zónder drains treedt geen wateroverlast meer op, terwijl er wel regelmatig hoge pieken in het slootpeil voorkomen. In de optie mét drains zijn er, na zeventien jaar, nog acht jaren met wateroverlast in het gehele peilvak die optreedt in totaal dertien gebeurtenissen en totaal 640 uur (26,7 dag) beslaat. Opvallend verschil tussen de twee opties is dat in de optie mét drains het toetspeil van het gehele peilvak sneller daalt in de tijd dan het slootpeil. In de optie zónder drains gaat de daling van deze twee peilen vrijwel gelijk op. (Dit geldt ook voor het toetspeil van de droge 75% van het peilvak in de optie mét onderwaterdrains).

Daarmee is de oorzaak van de grotere gevoeligheid voor wateroverlast in het gehele peilvak van de optie mét drains aangegeven. In deze optie wordt het verschil tussen het slootpeil en het toetspeil van het gehele peilvak steeds kleiner, waardoor pieken in het slootpeil steeds vaker en langer boven het toetspeil uitsteken. Het zijn dus niet zozeer de pieken zelf die het verschil tussen de opties veroorzaken. Pieken zijn in de optie mét drains wel regelmatig hoger dan de pieken in de optie zónder drains. Maar het omgekeerde (in weerjaren 1983 en 1998-1999) en (nagenoeg) even hoge pieken als in de optie mét drains (in weerjaren 1994, 2005, 2007, 2008) komen in de optie zónder drains ook regelmatig voor.

Het is de laaggelegen, natte 25% van het areaal dat in de optie mét onderwaterdrains het toetspeil van het gehele peilvak bepaalt. Dit deel bevat géén drains en daalt daardoor sneller dan het deel mét drains, waaraan het slootpeil wordt aangepast. Het toetspeil zakt daardoor steeds sneller dan het slootpeil. Met als gevolg een steeds geringere drooglegging in de natte 25% en steeds meer kans op wateroverlast in dit deel van het peilvak. Het gaat hierbij uitsluitend om deelgebieden waar volgens het convenant de natuurdoelen in Peilvak 9 bij voorkeur gerealiseerd kunnen worden. Als op deze percelen de landbouwfunctie verdwijnt, ontstaat er bij toetsing aan NBW-normen geen probleem.

Tabel 0.2

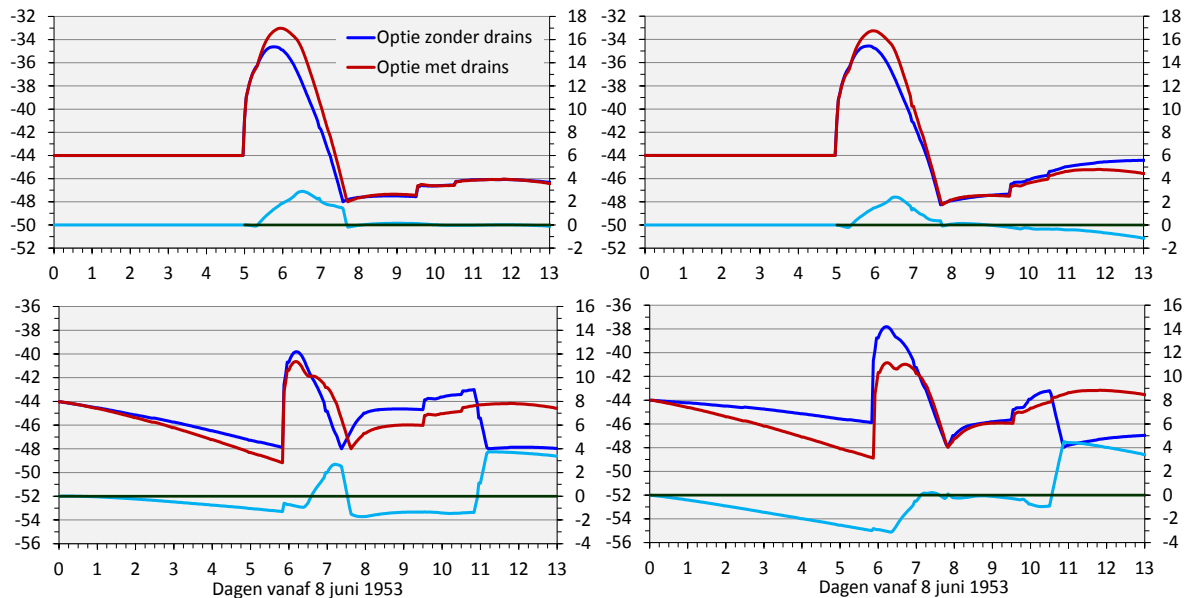
**Weerjaren met overschrijding van het toetspeil, aantal overschrijdingen per jaar, de totale duur daarvan, het toetspeil en het maximale peil tijdens overschrijding en het verschil hiertussen, en het gemiddelde en maximale areaal dat is geïnundeerd, berekend voor de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains in Peilvak 9. Alle overschrijdingen van het toetspeil vinden plaats in de laaggelegen natte gebieden zonder onderwaterdrains. Weerjaar 1961 is toekomstjaar 1.**

Toekomstoptie voor drains	Weer-jaar	Aantal (per jaar)	Duur (uur)	Toetspeil (cm + NAP)	Max. peil (cm)	Max. peilverschil (cm)	Geïnundeerd areaal (%) gemid.	max.
geen	1966	1	45	-235,4	-232,7	2,7	11,4	12,2
wel	1966	1	46	-235,4	-232,6	2,8	11,5	12,2
wel	1983	1	8	-251,8	-251,6	0,2	10,3	10,3
wel	1994	1	49	-261,8	-260,1	1,7	10,3	10,3
wel	1998	4	203	-265,4	-257,1	8,3	11,9	14,4
wel	1999	1	24	-266,3	-265,0	1,3	10,3	10,3
wel	2005	2	123	-271,1	-251,8	19,3	15,1	26,3
wel	2007	1	45	-272,8	-267,0	5,8	11,8	13,1
wel	2008	1	25	-273,6	-271,8	1,8	10,6	10,6
wel	2010	2	163	-275,6	-263,8	11,8	12,6	18,7

### Extreme buien

Het effect van onderwaterdrains op pieken in het slootpeil door extreme buien is onderzocht voor een zeer extreme bui uit juni 1953 waarin 37,5 mm neerslag in één uur valt (intensiteit is 900 mm per dag). Als voor de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains het beginpeil gelijk is aan streefpeil op het moment dat de extreme bui valt, dan berekent het model een piek die in de optie mét drains 1,5 cm groter is: 10,7 tegen 9,2 cm boven streefpeil (Figuur 0.9). In dat geval zijn mét drains de bemalingshoeveelheid en -tijd 4% groter dan zónder drains (1 mm en 3 uur meer). Dit geldt voor de huidige maaiveldhoogte. Bij toekomstige maaiveldhoogte na vijftig jaar zijn de verschillen 1,2 cm en 1% meer.

Als een periode voorafgaand aan de bui wordt doorgerekend dan is sterk bepalend wat in die periode gebeurt. In een berekening waarin bij de optie mét drains vlak voor de bui water is ingelaten en bij de optie zónder drains niet, is het beginpeil op het moment dat de bui valt bij drains 3,5 cm hoger waardoor de piek in het peil 3 cm hoger is dan in de optie zónder drains. De bemalingshoeveelheid en -tijd



**Figuur 0.9** Verloop in de tijd van het berekende slootpeil in Peilvak 9 tijdens een extreme bui (37,5 mm in één uur) uit juni 1953 voor de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains, en de verschillen daartussen. Boven bij gelijk peil tijdens start van de bui; onder met voorgeschiedenis van het peilverloop. Links bij huidige maaiveldhoogte; rechts bij toekomstige maaiveldhoogte over vijftig jaar. Linker y-as: hoogte in cm t.o.v. maaiveld; rechter y-as: peilverschil in cm. Streefpeil is 44 cm beneden maaiveld.

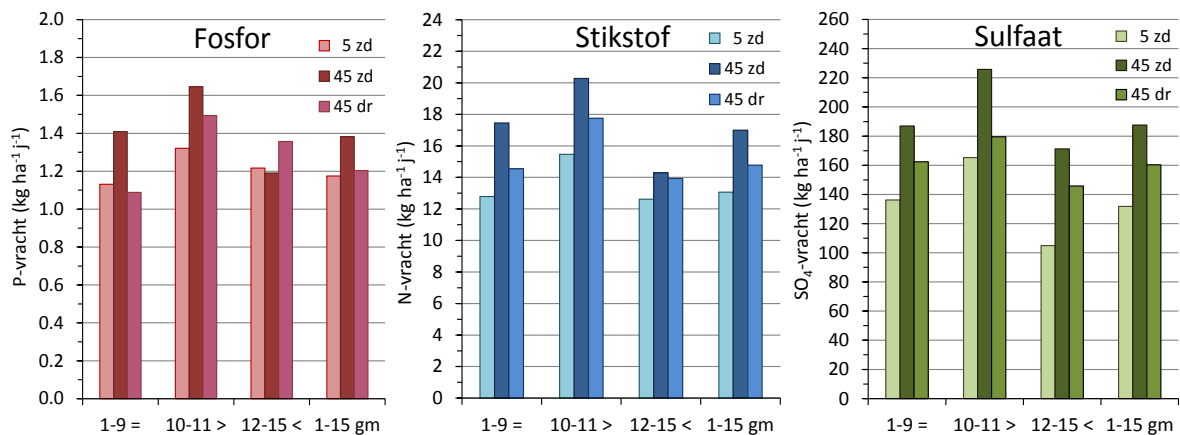
zijn dan 14% groter bij drains. Wordt echter zes dagen voor de bui geen water ingelaten in beide opties, bijvoorbeeld omdat de bui wordt verwacht, dan zakt bij huidige maaiveldhoogten door de grotere infiltratie het peil bij drains 1,3 cm dieper uit (Figuur 0.9). De piek is daardoor in de optie mét drains 1 cm lager en de bemaling 7% kleiner dan in de optie zónder drains. Ook hoeft binnen de week na de piek niet extra te worden bemalen. In de optie zónder drains is dat wel het geval.

In dezelfde berekening maar met de toekomstige maaiveldhoogten na vijftig jaar zijn de effecten van onderwaterdrains veel gunstiger: een ruim 3 cm lagere piek en 17% minder bemaling (Figuur 0.9). In de optie mét drains bestaat dan nog steeds wegzijging, terwijl in de optie zónder drains wegzijging is omgeslagen in kwel. In de optie zónder drains moet daarom een veel groter deel van de bui worden verwerkt door bemaling in vergelijking met de optie mét drains.

## Waterkwaliteit

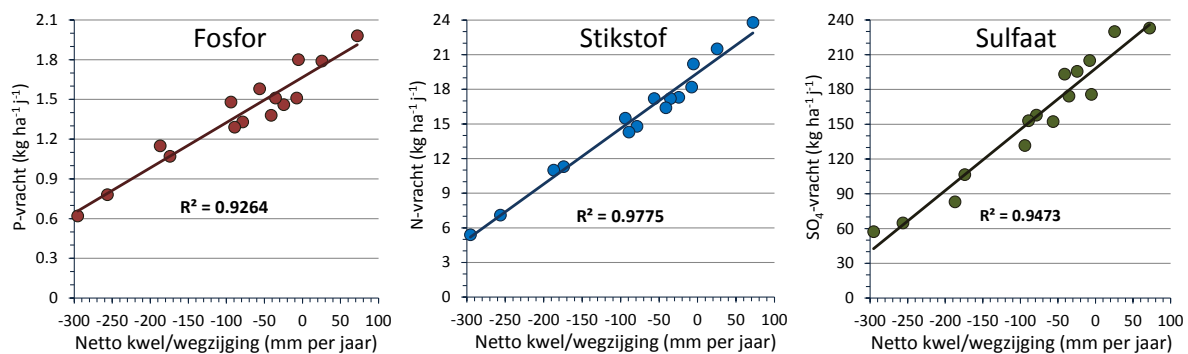
De effecten van onderwaterdrains op de waterkwaliteit zijn onderzocht als de effecten van drains op de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Onderwaterdrains versnellen de wateruitwisseling tussen perceel en sloot. Het gevaar bestaat dat ze daarmee ook de uitspoeling van nutriënten uit mest en uit de veenbodem versnellen.

Figuur 0.10 toont de uitkomsten van de modelberekeningen als netto uitspoelingsvrachten (uitspoeling min infiltratie) naar het oppervlaktewater voor de huidige situatie als gemiddelden van de eerste tien jaar (decennium) zonder drains, en voor de toekomst na veertig jaar als gemiddelden van het vijfde decennium voor de opties zónder en mét onderwaterdrains. Onderscheid is gemaakt tussen de drie gebieden die geschikt, te droog en te nat zijn voor onderwaterdrains.



**Figuur 0.10** Berekende netto belasting van het oppervlaktewater van Peilvak 9 met fosfor, stikstof en sulfaat in de 'huidige' situatie na vijf jaar zónder onderwaterdrains (5 zd) en in de toekomstopties na vijfenveertig jaar zónder (45 zd) en na vijfenveertig jaar mét onderwaterdrains (45 dr). Onderscheid is gemaakt tussen de deelgebieden geschikt voor drains (1-9 =), deelgebieden met te grote drooglegging voor drains (10-11 >), deelgebieden met te kleine drooglegging voor drains (12-15 <), en het peilvak-gemiddelde (1-15 gm). De vrachten zijn de areaalgewogen jaargemiddelden van de twee decennia (jaren 1-10 en 41-50). Ze zijn uitgedrukt in kg per ha totale oppervlakte: land plus water.

Het eerste dat opvalt is dat na veertig jaar de nutriëntenbelasting in het algemeen is toegenomen met 10%-30% (met enkele uitzonderingen bij fosfor). Het basismechanisme hierachter is de maaiveld-daling, waardoor wegzijging afneemt en de wateruitstroming naar het oppervlaktewater toeneemt. Een grotere waterbelasting van de sloot betekent ook een grotere nutriëntenbelasting. Dat er een sterk verband bestaat tussen de omvang van de nutriëntenbelasting en de grootte van de wegzijging toont Figuur 0.11. Dit verband is omgekeerd evenredig: meer wegzijging betekent een evenredig lagere belasting van het oppervlaktewater met nutriënten.



**Figuur 0.11** Verband tussen de berekende netto fosfor-, stikstof- en sulfaatvrachten naar het oppervlaktewater en de netto onderrandflux in de vorm van netto kwel (positief) en wegzijging in Peilvak 9. Vrachten en fluxen zijn de jaargemiddelden van de vijftien deelgebieden in het peilvak in de optie zónder drains in het eerste decennium.  $R^2$  is een maat voor de sterkte van het verband, maximaal = 1,0.

Omdat in de toekomstoptie mét onderwaterdrains door een geremde maaiveldaling de wegzijging minder afneemt, is in deze optie de toename van de nutriëntenbelasting (meer dan) de helft kleiner dan in de optie zónder drains. Dit 'watervrachteffect' is een basaal mechanisme dat voornamelijk het langetermijneffect van onderwaterdrains op de nutriëntenbelasting bepaalt. Daarnaast spelen andere, meer directe effecten van onderwaterdrains op de nutriëntenprocessen in de veenbodem. Dat blijkt uit de resultaten voor deelgebieden 1-9 waarin de drains liggen. De verhouding tussen de vracht van rekenresultaat '45 dr' mét onderwaterdrains en de vrachten van rekenresultaten '5 zd' en '45 zd' zónder drains, is bij alle nutriënten verschillend. Dit terwijl het watervrachteffect voor alle nutriënten gelijk is. Dit kan alleen als bij elk nutriënt bij toepassing van onderwaterdrains verschillende andere processen van belang zijn.

In het eerste decennium, als de maaiveldhoogte in beide toekomstopties nog gelijk is, neemt door toepassing van onderwaterdrains bij alle nutriënten de belasting enigszins af in de deelgebieden waarin de drains liggen en daardoor gemiddeld over het gehele peilvak. Want in de deelgebieden zonder drains treedt geen verandering op (niet in Figuur 0.10).

In het vijfde decennium zijn in de toekomstoptie mét drains de netto nutriëntenvrachten gemiddeld voor het peilvak circa 15% en in de deelgebieden waarin de drains liggen 13% (sulfaat) tot 23% (fosfor) kleiner dan in de optie zónder drains. Bij fosfor daalt in de deelgebieden met onderwaterdrains de belasting tot onder het huidige niveau. In de deelgebieden waarin geen drains liggen, is de verlaging groter voor sulfaat dan voor fosfor en stikstof. Vooral in de natte deelgebieden 12-15 zonder drains zijn de effecten van drains voor fosfor en stikstof minder gunstig. De fosforbelasting neemt in deze natte delen met 14% toe door toepassing van drains. Dit komt vooral door toename van de uit- en afspoeling van meststoffen en aan het bodemcomplex van de toplaag gebonden fosfor.

## 0.4 Discussie en conclusies

### Discussie

Deze verkennende modelstudie had een beperkte omvang en moest daarom voldoen aan een aantal randvoorwaarden. Zo was het maximale aantal rekeneenheden in de vorm van deelgebieden op vijftien gesteld en was er weinig ruimte om meer gedetailleerde gebiedsinformatie te verzamelen voor invoer in de modellen. De modelresultaten geven daarom vooral de grote lijn voor de effecten van toepassen van onderwaterdrains in het peilvak.

Van de vijftien deelgebieden komen negen in aanmerking voor onderwaterdrains, omdat hun gemiddelde drooglegging kleiner is dan 60 cm en groter dan 35 cm. Dit komt overeen met 63% van het areaal van het peilvak. Deelgebieden zijn rekeneenheden waarbinnen alle omstandigheden gelijk

---

moeten zijn. Elk deelgebied heeft één maaiveldhoogte en daardoor één drooglegging. Percelen binnen een deelgebied kunnen wel verschillen vertonen in drooglegging, maar die worden 'weggemiddeld'. In de praktijk zal de mogelijkheid om onderwaterdrains aan te leggen echter per perceel worden beoordeeld. Dan blijkt dat ruim 70% van het gebied geschikt is om onderwaterdrains aan te leggen.

Voor de maaiveldddaling geldt bovengenoemde beperking naar verwachting het minst. De berekende maaiveldddaling is getoetst aan historische maaiveldddalingen die zijn geschat uit historische metingen van de maaiveldhoogte. Het model overschat deze geschatte maaiveldddaling gemiddeld voor het peilvak met 10%. Dit heeft geen gevolgen voor de berekende, relatieve effecten van onderwaterdrains op de maaiveldddaling. Voor de afzonderlijke deelgebieden wijken de modelberekeningen meer af van de schattingen. Oorzaken kunnen zijn dat het model niet precies genoeg is, de historische peilen niet nauwkeurig genoeg, te weinig ruimtelijke spreiding in het model is ingebracht en dat de beschikbare meetgegevens van historische maaiveldhoogten afwijken van de werkelijke waarden en de werkelijke ruimtelijke verdeling van de maaiveldhoogten niet voldoende representeren.

Een onzekerheid in de modelberekeningen zijn de aannamen voor de toekomstige waarden van de bovenrandvoorwaarden neerslag en verdamping, en van de onderrandvoorwaarde stijghoogte van het diepere grondwater dat mede wegzijging en kwel bepaalt. Door gebruik te maken van gegevens van de laatste vijftig jaar is er voor gekozen om geen klimaatscenario mee te nemen. Dit kan wel heel interessant zijn omdat hogere temperaturen en drogere zomers met hevigere neerslagbuien zullen leiden tot grotere (tot 50%) maaiveldddaling, grotere waterbehoefte en meer wateroverlast. Het is een aanbeveling om klimaatscenario's door te rekenen voor veenweidegebieden als Peilvak 9.

In het verloop van de stijghoogten van het diepere grondwater is in de modelberekeningen een daling van 7 cm in veertig jaar tijd opgenomen. Dat ligt in de orde van grootte van de verwachte daling ten gevolge van meer water uitmalen in het peilvak en omliggende veenweidegebieden. Wat de stijghoogte in de toekomst doet, vooral onder invloed van een veranderend klimaat, is moeilijk te voorspellen. Theoretisch behoren zowel een stijging als een daling tot de mogelijkheden.

In de modelstudie was niet voorzien in het berekenen van onzekerheidsintervallen rond de modelresultaten, met het oog op onzekere invoer als weer en stijghoogten.

De modelberekeningen laten een tweedeling in de maaiveldhoogten van het gebied zien na vijftig jaar toepassing van onderwaterdrains: een deel van 70% van het areaal met een goede drooglegging en het resterende deel met een kleine drooglegging van 15-30 cm. Toepassing van onderwaterdrains in het natte deel vanaf het begin zou de maaiveldddaling daar zo remmen dat het natte deel in maaiveldhoogte en drooglegging veel sneller zou toegroeien naar het overige deel. Naar verwachting zou die toestand in ongeveer 30-40 jaar zijn bereikt. Door vermindering van de bemesting zou in de aanlooptijd met (te) geringe drooglegging de extra uitspoeling van mestnutriënten naar de sloot kunnen worden beperkt.

Anderzijds biedt deze tweedeling mogelijkheden voor natte natuur naast landbouwgebied. Bij hevige neerslag kan dit natuurgebied inunderen wat een mogelijkheid voor extra waterberging geeft.

Uit de berekeningen voor een extreme bui kan worden geconcludeerd dat met kennis van het toekomstige weer kan worden bespaard op water uitmalen en inlaten. Hiermee kunnen eventueel negatieve effecten van onderwaterdrains op het polderpeil door extreem natte of droge omstandigheden worden verminderd of voorkomen. Door de snellere wateruitwisseling tussen perceel en sloot kan daarbij met onderwaterdrains effectiever gebruik worden gemaakt van de veenbodem als buffer en reservoir van water. Om hier adequaat gebruik van te maken vergt maatwerk.

Minder diep uitmalen vlak na de bui geeft wisselende resultaten in de modelberekeningen, maar kan een interessante beheeroptie zijn vóór droge perioden. Als er na een bui droog weer verwacht wordt, moet later immers weer worden ingelaten. Bij toepassing van drains kan het peil ook wat langer hoog blijven, omdat met de drains de grondwaterstand sneller kan worden verlaagd. Zo kan met een tijdelijk wat hoger peil toch snel een beweid- en berijdbaar perceel worden verkregen.

---

## Conclusies

*Welke delen van Peilvak 9 komen in aanmerking voor toepassing van onderwaterdrains?*

Op grond van resultaten uit eerdere modelstudies naar de effecten van onderwaterdrains op de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater is een droogleggingstraject van 35-60 cm vastgesteld waarbinnen onderwaterdrains veilig kunnen worden toegepast. Uitgaande van de deelgebieden - de rekeneenheden in de modelstudie - valt 63% van het areaal van Peilvak 9 hierbinnen. In de praktijk zal de mogelijkheid om onderwaterdrains aan te leggen echter per perceel worden beoordeeld. Dan blijkt dat ruim 70% van het gebied geschikt is om onderwaterdrains in aan te leggen.

De volgende conclusies zijn afgeleid uit de resultaten van de modelberekeningen voor Peilvak 9.

*Wat voor effect heeft toepassing van onderwaterdrains op de maaiveldddaling op de korte (tien jaar) en lange (vijftig jaar) termijn?*

Het toepassen van onderwaterdrains in Peilvak 9 geeft een ruime halvering van de maaiveldddaling tot 5 mm per jaar in de percelen waarin de drains zijn ingebracht. In de rest van het peilvak vermindert de maaiveldddaling met 17%. Gemiddeld in het peilvak neemt de maaiveldddaling af met 40% tot een daling van 6 mm per jaar. Dit geldt zowel op de korte als de lange termijn.

*Wat voor effect heeft toepassing van onderwaterdrains op de waterinlaat en de wateroverlast op de korte en lange termijn?*

Veenbehoud kost water, vooral in een wegzijgingsgebied als Peilvak 9. Bij toepassen van onderwaterdrains neemt de waterinlaat op jaarbasis toe met 43 mm of 25% ten opzichte van de huidige situatie. Op de lange termijn wordt de inlaatbehoefte iets kleiner, zo'n 5% na veertig jaar.

De bemaling neemt bij toepassen van onderwaterdrains op de korte termijn toe met 11% ten opzichte van de optie zónder drains; na veertig jaar is er geen verschil meer. Dan is wel in beide toekomstopties de bemaling toegenomen met 35% ten opzichte van de huidige situatie door afname van de wegzijging.

De wateroverlast als inundatie van minstens 10% van het areaal van Peilvak 9 neemt bij toepassen van onderwaterdrains uitsluitend toe in de laaggelegen gebieden waarin geen drains liggen. Hun drooglegging wordt steeds kleiner, omdat ze sneller dalen dan het slootpeil. Hierdoor worden ze steeds gevoeliger voor inundatie. Het verdient aanbeveling om de natuurverbinding door Peilvak 9 zoveel mogelijk op deze lage percelen te realiseren.

Onderwaterdrains geven een verhoging van pieken in het slootpeil bij extreme buien in de orde van 1-2 cm. Door het waterbeheer aan te passen aan het verwachte weer kunnen mét drains pieken beter worden verlaagd, omdat dan beter gebruik kan worden gemaakt van de bergingscapaciteit van de veenbodem zonder dat dat leidt tot percelen die langdurig te nat of te droog zijn.

Bij de eind-maaiveldhoogten na vijftig jaar in plaats van de huidige maaiveldhoogten zijn de effecten van onderwaterdrains bij piekbuien gunstiger door de grotere wegzijging die dan bestaat in de optie mét drains in vergelijking met de optie zónder drains. In dit verband bieden onderwaterdrains een beter toekomstperspectief voor het opvangen van extreme buien dan de optie zónder onderwaterdrains.

*Wat voor effect heeft toepassing van onderwaterdrains op de oppervlaktewaterkwaliteit op de korte en lange termijn?*

Het effect van onderwaterdrains op de waterkwaliteit in het peilvak in termen van de fosfor-, stikstof- en sulfaatbelasting van het oppervlaktewater is op de korte termijn een lichte afname en op de lange termijn een afname met circa 15% van de belasting ten opzichte van de situatie zónder drains. Wel treedt er een toename in de tijd op van de belasting omdat de wegzijging in de loop der tijd vermindert door het dalende maaiveld. Maar deze toename is minder dan de helft van de toename als er géén drains worden toegepast.

Een belangrijke conclusie uit de afname van de belasting op de korte termijn bij alle nutriënten is dat de gehanteerde drooglegging van 44 cm uit het oogpunt van nutriëntenbelasting zeer gunstig is. De optimale drooglegging verschilt sterk tussen de drie nutriënten, maar de gehanteerde drooglegging blijkt een goed compromis.





---

# 1 Inleiding

Voor veenweidegebied Peilvak 9 in polder Groot Wilnis-Vinkeveen in het westelijke veenweidegebied van Utrecht (Figuur 1.1) is voorgenomen om de bodemdaling sterk te verminderen. Een van de mogelijkheden om dit te bereiken is de grootschalige aanleg van onderwaterdrains. Onderwaterdrains zijn een instrument om de maaiveldddaling in veenweiden effectief te vertragen; een halvering van de dalingsnelheid lijkt haalbaar (Woestenburg, 2009). Onderwaterdrains lijken ook een goed middel om een rendabele bedrijfsvoering van de melkveehouderij te verenigen met milieudoelstellingen (Hoving *et al.*, 2008, 2009, 2011 en 2013).

Wel zijn er bedenkingen over de gevolgen van toepassing van onderwaterdrains voor waterkwantiteit en waterkwaliteit. Deze gevolgen zijn onderzocht in verschillende modelstudies (Jansen *et al.*, 2009 en 2010; Van den Akker *et al.*, 2010; Hendriks en Van den Akker, 2012) en in enkele pilots (Hoving *et al.*, 2009, 2011 en 2013; Van den Akker *et al.*, 2013; Hendriks *et al.*, 2013) waaronder één in Peilvak 9 (Hendriks *et al.*, 2013). Als grootste gemene deler komt daaruit dat de waterinlaatbehoefte toeneemt, maar dat voor de grootte van deze toename en de overige gevolgen de heersende omstandigheden en randvoorwaarden sterk bepalend zijn. Daarom heeft de provincie Utrecht besloten een verkennende modelstudie te laten uitvoeren met als doel de positieve en negatieve effecten, op de lange en korte termijn, van grootschalige toepassing van onderwaterdrains in Peilvak 9 meer onderbouwd te kunnen afwegen.

## 1.1 Achtergrond

Voor het gebied van Groot Wilnis-Vinkeveen, waarvan Peilvak 9 een onderdeel is, is een convenant afgesloten met onder andere als doel het substantieel verminderen van de bodemdaling (Projectgroep Groot Wilnis-Vinkeveen, 2010). Van belang voor deze studie staat in het convenant:

*'De ambitie van de convenantpartijen is om de bodemdaling in Groot Wilnis – Vinkeveen substantieel te verminderen. Uitgangspunt is het cultuurhistorische referentiebeeld van een open veenweidelandschap waarin de melkveehouderij zich kan blijven ontwikkelen. Dit betekent dat een zekere mate van drooglegging geaccepteerd moet worden, en daarmee ook een zekere bodemdaling.*

*Om de bodemdaling in de toekomst te beperken en verdere versnippering van het watersysteem tegen te gaan, spreken partijen af dat in 2020 de bodemdaling in het gebied is teruggebracht tot maximaal 6 mm per jaar. Dit wordt bereikt door de peilverlagingen in het gebied te beperken tot 6 mm/jaar en op termijn het peilvak met de snelst dalende gronden (peilvak 9) te koppelen aan de omliggende peilvakken.*

*Een andere strategie waarop wordt ingezet is de aanleg van natuur in de laagst gelegen delen van het projectgebied. Op deze plaatsen volstaat vanaf dat moment een geringere drooglegging, waardoor ter plaatse de bodem minder snel daalt.*

*In peilvak 9, waar de gevoeligheid voor bodemdaling het grootst is, wordt op deze manier circa 20% van het landoppervlak omgevormd tot natuur. De drooglegging van deze allerlaagste gronden is (substantieel) minder dan 30 cm. De rest van peilvak 9 kan met aanvullende maatregelen een agrarische functie behouden.'*

Eén van de mogelijkheden om de nagestreefde vermindering van de maaiveldddaling te bereiken is de grootschalige aanleg van onderwaterdrains. Dit zijn drainbuizen die onder slootpeil liggen, waardoor de infiltratie van slootwater in de veenbodem toeneemt en de grondwaterpeilen in de percelen in droge tijden minder ver beneden slootpeil zakken. Hierdoor neemt de veenafbraak onder invloed van zuurstof (oxidatie) af met als gevolg dat de maaiveldddaling vermindert. Het leeuwendeel van de veenoxidatie treedt op onder droge omstandigheden tijdens perioden met lage grondwaterstanden (Van den Akker *et al.*, 2008).

---

Grootschalige toepassing van onderwaterdrains om maaiveldddaling in veenweiden te verminderen, kan ongewenste neveneffecten hebben op de benodigde hoeveelheid inlaatwater in de zomer, op de piekafvoeren en wateroverlast bij hevige neerslag, en op de waterkwaliteit van het oppervlaktewater. Om een goede afweging mogelijk te maken tegen de positieve effecten op de maaiveldddaling in Peilvak 9 moesten de positieve effecten en de negatieve neveneffecten worden vastgesteld en gekwantificeerd.

Om de voordelen van toepassing van onderwaterdrains te kunnen afwegen tegen de nadelen, was een verkennend onderzoek naar de positieve en negatieve effecten gewenst. Een dergelijke verkenning vooraf kon niet worden gedaan door meten, omdat onderwaterdrains nog niet grootschalig zijn toegepast in het peilvak. Wel was binnen Peilvak 9 door Alterra en Livestock Research een 'pilot onderwaterdrains' uitgevoerd op een viertal percelen van één bedrijf (Hendriks *et al.*, 2013). Naast inzicht en kennis op perceelsniveau heeft deze pilot ook simulatiemodellen opgeleverd die zijn gekalibreerd (geijkt) op de verkregen meetgegevens. Daardoor bestond de mogelijkheid om op basis van de uit de pilot verkregen resultaten en modellen een verkenning voor het peilvak uit te voeren. Met de gekalibreerde modellen kunnen positieve en negatieve effecten op bodemdaling, oppervlaktewaterkwaliteit, hoeveelheden inlaatwater en piekafvoeren worden berekend.

Uit de pilot is gebleken dat het van groot belang is om dergelijke berekeningen te doen voor een peilvak als geheel. Berekeningen voor alleen losstaande percelen zeggen niet genoeg over de samenhang tussen de diverse gebiedsdelen met verschillende eigenschappen. Alle percelen in het peilvak staan in verbinding met hetzelfde stelsel van sloten en waterlopen waarin het peil meestal overal nagenoeg gelijk is. Het peil bepaalt in hoge mate de waterhuishouding van elk perceel. Anderzijds beïnvloedt elk perceel het peil door wateruitwisseling tussen perceel en oppervlaktewaterstelsel. Door deze wisselwerking beïnvloeden percelen elkaar ook onderling via het oppervlaktewater. Voor het onderzoeken van voornoemde effecten van onderwaterdrains op veenbodem- en oppervlaktewatersysteem was het daarom noodzakelijk het peilvak als één bodem-water-systeem met de modellen door te rekenen.

## 1.2 Probleemstelling

Toepassing van onderwaterdrains om maaiveldddaling in veenweiden te verminderen, kan ongewenste neveneffecten hebben op de benodigde hoeveelheid inlaatwater in de zomer, op de piekafvoeren en wateroverlast bij hevige neerslag, en op de waterkwaliteit van het oppervlaktewater (o.a. Jansen *et al.*, 2009; Van den Akker *et al.*, 2011; Hendriks en Van den Akker, 2012; Van den Akker *et al.*, 2013; Hendriks *et al.*, 2013). Om een goede afweging mogelijk te maken tegen de positieve effecten op de maaiveldddaling moesten deze negatieve neveneffecten worden vastgesteld en gekwantificeerd. Hiervoor was het noodzakelijk een geijkt instrument te gebruiken dat de verschillende gebiedsdelen in hun onderlinge samenhang via het oppervlaktewater kan doorrekenen.

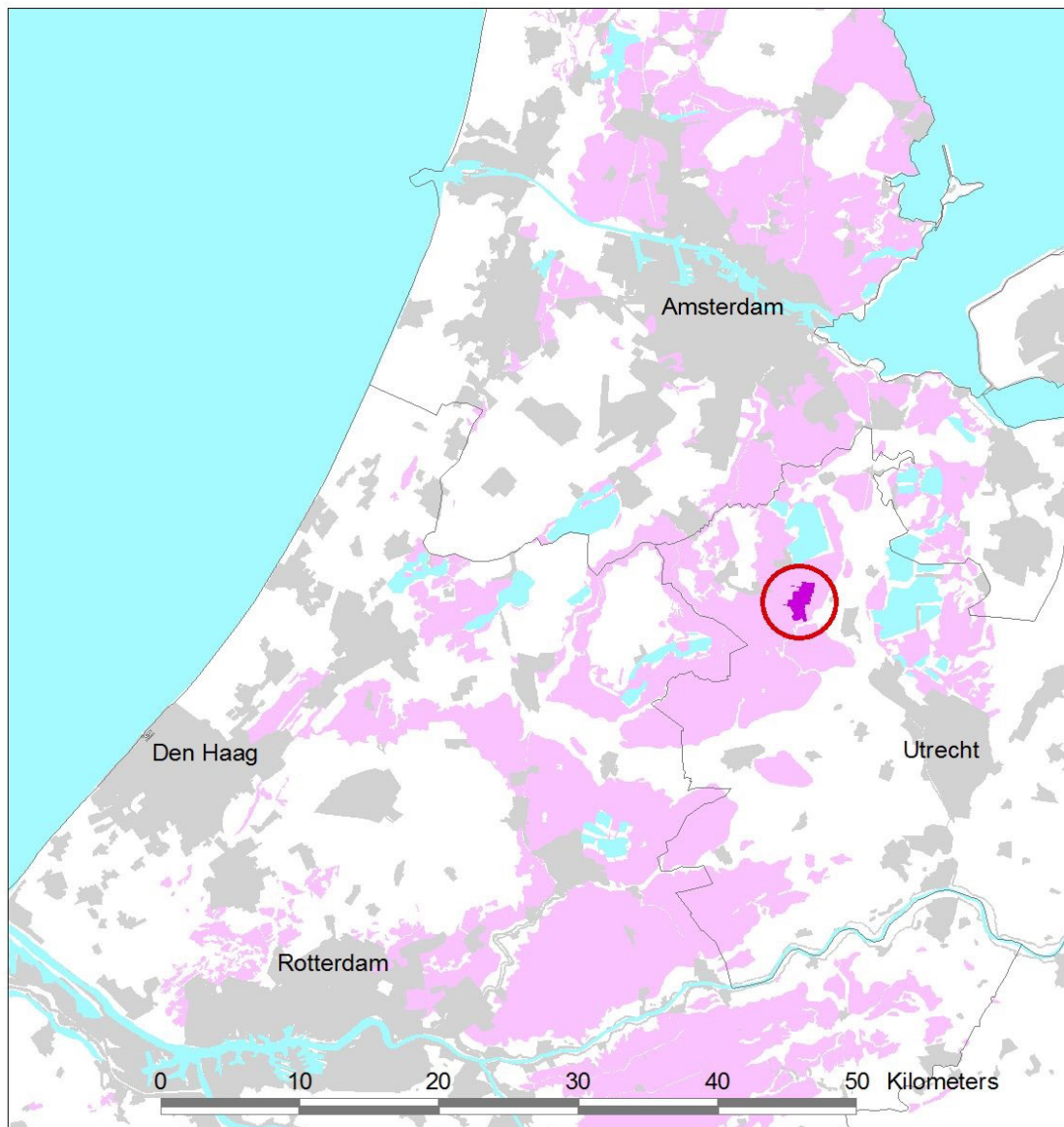
## 1.3 Doelstelling

De doelstelling van het project was het aanleveren van gegevens voor het beantwoorden van een aantal vragen. De antwoorden op deze vragen moesten helpen om een afgewogen keuze te maken tussen de voor- en nadelen van het principe van grootschalige toepassing van onderwaterdrains in Peilvak9.

De hoofdvraag was of grootschalige aanleg van onderwaterdrains in Peilvak 9 er toe leidt dat de doelstelling van halvering van de bodemdaling behaald wordt, zonder al te grote ongewenste neveneffecten.

Daarvoor zijn de volgende deelvragen opgesteld die zijn onderzocht in dit onderzoek:

- Welke delen van Peilvak 9 komen in aanmerking voor toepassing van onderwaterdrains?
- Wat voor effect heeft toepassing van onderwaterdrains op de maaiveldddaling op de korte (tien jaar) en lange (vijftig jaar) termijn?



**Figuur 1.1** Ligging van Peilvak 9 (donker paars) in het West-Nederlandse veenweidegebied (licht paars).

De onderwerpen van de deelvragen zijn onderzocht met modelberekeningen. Hiervoor zijn de modellen uit de bovengenoemde pilot gebruikt die zijn gekalibreerd voor de proefpercelen in Peilvak 9. Dit zijn agrohydrologisch model SWAP en nutriëntenuitspoelingsmodel ANIMO. Omdat dit beide puntmodellen zijn, is een nieuwe manier ontwikkeld en toegepast om de SWAP-modellen van de verschillende gebiedsdelen via het oppervlaktewater aan elkaar te koppelen.

## 1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de toegepaste methoden en modellen beschreven. Hoofdstukken 3, 4 en 5 bevatten de resultaten van de modelberekeningen. Hoofdstuk 3 behandelt de berekende maaiveld-daling, hoofdstuk 4 beschrijft de effecten van onderwaterdrains op de aspecten van de waterkwantiteit en hoofdstuk 5 geeft de resultaten van de waterkwaliteitsberekeningen. In hoofdstuk 6 worden de resultaten bediscussieerd en de conclusies en aanbevelingen gegeven.



---

## 2 Methoden

In dit hoofdstuk worden de methoden en modellen besproken die zijn gebruikt voor de berekeningen om de deelvragen voor Peilvak 9 van hoofdstuk 1 te beantwoorden. Paragraaf 2.1 geeft een korte beschrijving van de gebruikte modellen, paragraaf 2.2 behandelt de gebiedsschematisering van Peilvak 9 - de indeling van het peilvak die noodzakelijk is voor de modelberekeningen - en paragraaf 2.3 beschrijft de manier waarop de modelberekeningen van Peilvak 9 zijn uitgevoerd.

### 2.1 Korte beschrijving modellen

De uitgevoerde berekeningen zijn te verdelen in drie groepen met ieder een eigen model:

1. De **waterhuishouding** is berekend met het (agro)hydrologische simulatiemodel SWAP. De berekeningen met dit model vormen de basis van alle berekeningen. Direct geven de berekeningsuitkomsten informatie voor het beantwoorden van de vragen over waterkwantiteit; indirect vormen de berekende grondwaterstanden en waterbalanstermen de grondslag voor de berekeningen met beide andere modellen. De berekende grootheden zijn de grondwaterstand, de slootwaterstand en de termen van de waterbalansen van veenbodem en oppervlaktewater, waaronder de bemaling, de waterinlaat, de wateruitwisseling tussen perceel en sloot, en de wegzijging naar het diepere grondwater.
2. De **maaielddaling** is berekend met een empirische 'model' in de vorm van relaties tussen grondwaterstanden en maaivelddalingsnelheden op basis van de met SWAP berekende grondwaterstanden.
3. De **waterkwaliteit** is berekend met het nutriëntenuitspoelingsmodel ANIMO. De effecten van onderwaterdrains op de waterkwaliteit zijn onderzocht als de effecten op de belasting van het oppervlaktewater met de nutriënten fosfor, stikstof en sulfaat door af- en uitspoeling vanaf en vanuit de veenbodem. Onderwaterdrains versnellen de wateruitwisseling tussen perceel en sloot. Het gevaar bestaat dat ze daarmee ook de uitspoeling van nutriënten uit mest en uit de veenbodem versnellen en zo de belasting vergroten. ANIMO maakt voor deze berekeningen gebruik van de waterbalanstermen en grondwaterstanden berekend door SWAP voor de veenbodem.

#### 2.1.1 Waterhuishouding: SWAP

SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant) is een gedetailleerd, dynamisch bodemfysisch model voor simulatie van verticaal transport van water, warmte en opgeloste stoffen in een afwisselend waterverzadigde en -onverzadigde bodemkolom op veldschaal (Van Dam *et al.*, 2008). Lateraal transport door de bodem naar drainagemiddelen zoals sloten en (onderwater)drains berekent het model met een pseudo-tweedimensionale benadering. In dit onderzoek is een subversie van SWAP versie 3.2 (Kroes *et al.*, 2008) gebruikt die is aangepast voor simultane berekening van de waterbalansen van de veenbodem en de veensloot zoals beschreven in Hendriks en Van den Akker (2012). De toepassing van SWAP in veenweiden met onderwaterdrains is onder andere beschreven in Hendriks *et al.* (2008) en Hendriks en Van den Akker (2012). Hieronder volgt een zeer korte beschrijving van het model. Uitgebreide(re) beschrijvingen zijn gegeven in de genoemde literatuur.

#### **Waterstroming en -balans**

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

---

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

### **Balans oppervlaktewater**

Belangrijk voor deze studie was de optie van SWAP om de waterbalans van het oppervlaktewaterstelsel gelijktijdig en in interactie met de waterbalans voor de bodem te berekenen. Dit was nodig om de effecten van onderwaterdrains op de oppervlaktewaterbalans te kwantificeren en daarmee op de hoeveelheden bemaling en inlaatwater. Omgekeerd was dit nodig om de invloed van het verloop van het oppervlaktewaterpeil op de waterbalans van de veenbodem te berekenen. SWAP modelleert het oppervlaktewater als één bak. De waterbalans van de bak komt tot stand door neerslag op en verdamping uit het wateroppervlak, wateruitwisseling met de veenbodem, directe kwel/wegzijging door de bodem van de bak en bergingsverandering door peilverandering (zie Bijlage, B1.4). Voor het talud van de bak kan een taludhelling worden ingevoerd waardoor per eenheid peilstijging de bergingstoename groter is naarmate het peil hoger staat in de bak.

### **Modelinvoer en -uitvoer**

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

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

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

### **Modelaanpassingen**

Het model is ten opzichte van de versie van Hendriks en Van den Akker (2012) op een aantal punten van de oppervlaktewaterbak aangepast om het geschikt te maken voor berekeningen voor Peilvak 9. Dit zijn vooral aanpassingen aan het peilbeheer: voor zowel inlaat als bemaling is een aparte drempel voor aanslag en een aparte drempel voor afslag ingebouwd. Voor het gemaal is een begrensde capaciteit opgenomen; voor de inlaat bestond die al. Een belangrijke aanpassing voor de manier waarop SWAP hier is toegepast, is de mogelijkheid om een extra, extern inkomend of uitgaand debiet op te leggen.

### 2.1.2 Maaiveldddaling: empirische relatie

De maaiveldddaling is in deze studie met empirische relaties berekend uit de laagste grondwaterstanden die met SWAP zijn gesimuleerd. Er was/is wel een SWAP-ANIMO-model dat de maaiveldddaling procesmatig kan berekenen uit de gesimuleerde veenafbraak (Hendriks *et al.*, in prep.), maar daar was te weinig ervaring mee - het model was nog te weinig getoetst aan veldmetingen - om het in deze studie betrouwbaar te kunnen inzetten.

De gebruikte empirische relaties zijn afgeleid uit veldmetingen van langjarige maaiveldddaling en grondwaterstandreeksen (Van den Akker *et al.*, 2007). Ze zijn afgeleid voor situaties zónder (onderwater)-drains. Maar omdat onderwaterdrains juist direct ingrijpen op de grondwaterstand zijn ze voor het doel van deze studie uitermate geschikt. Relaties tussen drooglegging en maaiveldddaling, die ook vaak worden gebruikt, gelden alleen voor de drainage/infiltratie-omstandigheden waarvoor ze zijn afgeleid.

Van den Akker *et al.* (2007) geven twee vormen (vergelijken 1 en 2) van relaties tussen laagste grondwaterstand en maaivelddalingsnelheid, die verschillen in de manier waarop de laagste grondwaterstand is bepaald. Beide vormen hebben twee varianten: a) voor een veenbodem zónder dun kleidek (< 40 cm) en b) voor een veenbodem mét een dun kleidek:

$$D_{mv} = 23,54 \cdot GLG - 6,68 \quad (1a)$$

$$D_{mv} = 23,54 \cdot GLG - 10,47 \quad (1b)$$

$$D_{mv} = 34,19 \cdot GLG8 - 17,15 \quad (2a)$$

$$D_{mv} = 34,19 \cdot GLG8 - 19,39 \quad (2b)$$

$D_{mv}$  = maaiveldddaling (mm per jaar);  
 $GLG$  = gemiddeld laagste grondwaterstand vorm 1 (m);  
 $GLG8$  = gemiddeld laagste grondwaterstand vorm 2 (m).

$GLG$  en  $GLG8$  worden normaal afgeleid uit gemeten grondwaterstanden. De  $GLG$  wordt verkregen door middeling van de LG3's van minstens acht hydrologische jaren. De LG3 wordt per hydrologisch jaar (van 1 april t/m 31 maart) berekend als het gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden uit een meetreeks van tweewekelijkse grondwaterstandsopnamen. De  $GLG8$  is gedefinieerd als het gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden uit een meetreeks van tweewekelijkse opnamen in acht hydrologische jaren. De  $GLG8$  is daarmee duidelijk lager dan de  $GLG$ . De  $GLG8$  is geïntroduceerd omdat wordt aangenomen dat diepe grondwaterstanden die af en toe in een langere reeks van jaren optreden, een onevenredig grote invloed op de maaiveldddaling hebben omdat dan 'vers' veen wordt aangesneden (Van den Akker *et al.*, 2007).

### 2.1.3 Nutriëntenuitspoeling: ANIMO

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

#### **Behoud van massa en transport**

Hart van ANIMO is de 'Conservation and Transport Equation' (CTE-vergelijking), de wiskundige vergelijking die behoud van massa en verticaal transport van opgeloste stoffen beschrijft. ANIMO lost de CTE-vergelijking numeriek op met een semi-analytische benadering (Groenendijk *et al.*, 2005).

---

Deze benadering maakt grote tijdstappen mogelijk van 1-10 dagen (één dag in deze studie). Waterbalansgegevens nodig voor oplossen van de CTE-vergelijking worden op dagbasis per compartiment aangeleverd door SWAP. Verblijftijdspreiding en reistijdverdeling over de modelcompartimenten worden bepaald door de verdeling van de drainagefluxen over de modelcompartimenten die volgt uit het pseudo-2D-stromingsconcept. Randdomeinen zijn dezelfde drie als die van SWAP.

### **Kringlopen van organische stof/koolstof, stikstof en fosfor**

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

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

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

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

### **Omgevingsfactoren**

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

### **Modelinvoer en -uitvoer**

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

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



---

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

## 2.2 Gebiedsschematisering van Peilvak 9

### 2.2.1 Korte, algemene gebiedsbeschrijving

Peilvak 9 is ruim 280 ha groot en heeft een maaiveldhoogte tussen -2,30 m + NAP en -2,00 m + NAP. De huidige maaiveldalingsnelheid wordt geschat op 12 mm per jaar (Projectgroep Groot Wilnis-Vinkeveen, 2010). Het oppervlaktewater beslaat 13,3% van het areaal. Circa 5% van het landoppervlak is verhard. Het landgebruik in het peilvak is uitsluitend grasland. De bodem bestaat voor het grootste deel uit koopveengronden op bosveen of eutroof broekveen met een toemaakdek (Stiboka, 1969). In het zuiden ligt ongeveer 32 ha (10%) weideveengrond op bosveen of eutroof broekveen met een toemaakdek (zie Bijlage 1). Dit zijn veengronden met een dun dek van zware klei met een dikte van 30-35 cm (Stiboka, 1969). Door de aanwezigheid van dit dek, dat niet dunner kan worden door veenafbraak, is bij gelijke drooglegging de maaiveldalingsnelheid in dit deel van het peilvak 3-4 mm per jaar kleiner dan in de rest van het peilvak. De veendikte is ongeveer zes meter.

Door de nabijheid van de circa vier meter dieper gelegen polder Groot Mijdrecht ten westen van het peilvak is Peilvak 9 een typisch wegzijgingsgebied met een gemiddelde wegzijging van circa 0,25-0,5 mm per dag (bij een streefpeil van 2,40 m -mv; Zaadnoordijk *et al.*, 2008). Bij het huidige streefpeil van 2,60 m + NAP is de drooglegging tussen 25 en 65 cm. De grondwatertrap is overwegend II tot in het zuiden II\*. Het peilbeheer vindt plaats door een gemaal en een inlaat.

### 2.2.2 Schematisering

Voor de modelberekeningen was het nodig om het peilvak op te delen in uniforme eenheden met gelijke omstandigheden en kenmerken, zodat deze 'deelgebieden' als aparte eenheden met een eigen modelinvoer konden worden doorgerekend. Om zoveel mogelijk rekening te houden met de verschillende omstandigheden binnen Peilvak 9 is het gebied opgedeeld in vijftien deelgebieden. Dit aantal was het maximale dat binnen deze studie mogelijk was. Door deze randvoorwaarde kunnen op perceelsniveau soms wel afwijkingen bestaan. Sommige percelen wijken op grond van een bepaald criterium - bijvoorbeeld drooglegging - af van de rest van het deelgebied. De indeling in deelgebieden is daarom schematisch.

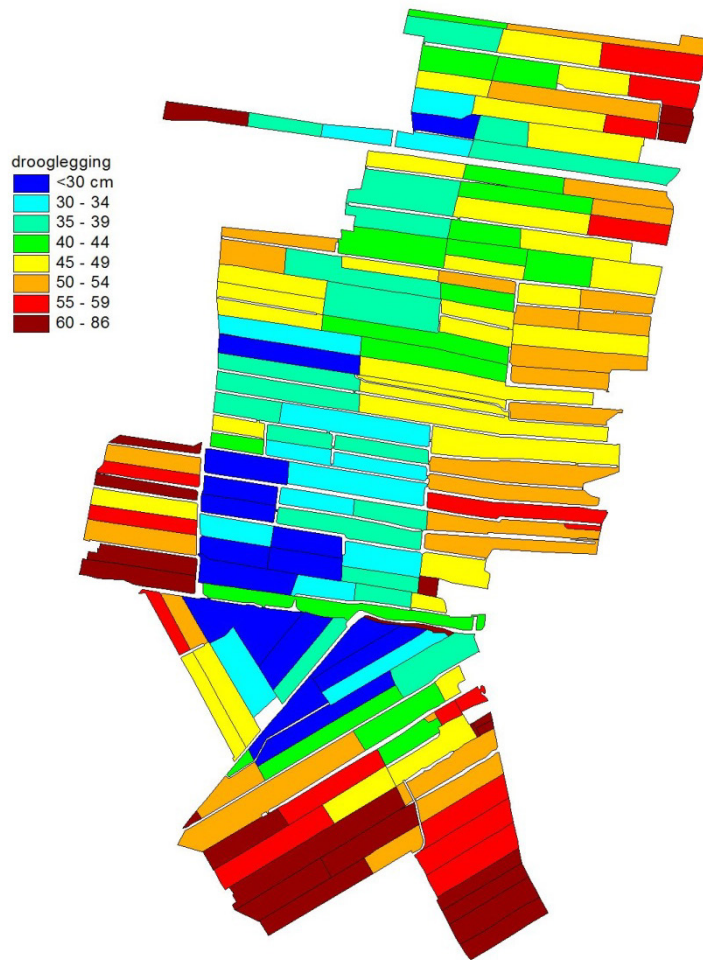
Voor het landgebruik is in het gehele peilvak grasland genomen. De criteria voor de indeling in deelgebieden die overbleven waren:

1. De maaiveldhoogte en daarmee de drooglegging;
2. De mate van wegzijging;
3. De bodemsoort. Er is onderscheid gemaakt tussen veenbodems met en veenbodems zonder dunne (< 40 cm) afdekkende kleilaag.

#### 2.2.2.1 Maaiveldhoogte en drooglegging

De maaiveldhoogten zijn verkregen van het AHN2 waarvan de opnamen van de hoogten van het peilvak stammen uit het jaar 2010. De hoogte is vastgesteld voor gridcellen van 5 m x 5 m. Na correcties voor oppervlaktewater en hoge objecten is voor elk perceel een gemiddelde maaiveldhoogte berekend. Deze gemiddelde perceelsmaaiveldhoogten zijn als een drooglegging bij het nieuw in te stellen huidige streefpeil van -2,60 m + NAP weergegeven in Figuur 2.1.

De gemiddelde droogleggingen - en dus maaiveldhoogten - vormden de basis voor de indeling in deelgebieden. Omdat de drooglegging het criterium was om te beoordelen of percelen wel of niet in aanmerking kwamen voor toepassen van onderwaterdrains, was hierbij belangrijk om deelgebieden (zoveel mogelijk) samen te stellen uit percelen die óf wel óf niet voldeden aan het criterium. Daarnaast is de drooglegging sterk bepalend voor de waterbalans van de veenbodem en (dus) voor de maaiveldaling en het effect van onderwaterdrains hierop (zie verder 2.2.2.4).



**Figuur 2.1** Ruimtelijk beeld van de beschikbare recentste maaiveldhoogte per perceel in Peilvak 9 die geldt voor 2010. De maaiveldhoogte is uitgedrukt als perceelsgemiddelde drooglegging in cm bij het 'huidige' streefpeil van  $-2,60\text{ m} + \text{NAP}$ ;  $\text{maaiveldhoogte (m} + \text{NAP)} = \text{drooglegging (cm)} / 100 - 2,6$ .

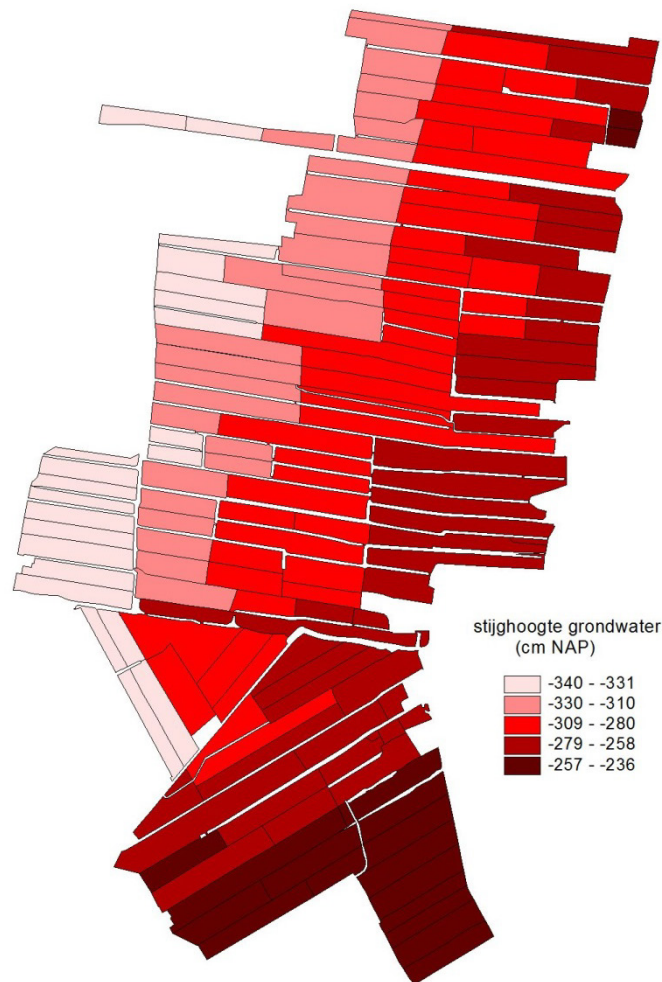
### 2.2.2.2 Wegzijing

De mate van wegzijing heeft grote invloed op de waterbalans van de veenbodem en daarmee ook op de effecten van onderwaterdrains op deze waterbalans en de daarvan afhankelijke grootheden die het onderwerp zijn van deze studie. Binnen een deelgebied moest de wegzijing ruimtelijk zoveel mogelijk uniform zijn. Daarnaast was het cruciaal dat de wegzijing niet als vaste onderrandflux werd ingevoerd, maar afhankelijk was van de grondwaterstand die door SWAP wordt berekend. Onderwaterdrains hebben immers grote invloed op de grondwaterstand en daarmee op de mate van wegzijing (of kwel).

In deze studie is de wegzijing per deelgebied berekend met SWAP uit de berekende grondwaterstanden en ingevoerde stijghoogten en weerstand tegen verticale stroming. Bijlage 1 behandelt de toekenning van tijdreeksen van stijghoogten aan deelgebieden. Een stap daarin was het maken van een globaal isohypsenpatroon. Dit patroon is gebruikt bij het vormen van deelgebieden. Verder was de stijghoogte 'volgend' bij de indeling van deelgebieden: aan deelgebieden zijn reeksen van ruimtelijk gemiddelde stijghoogten toegekend (zie verder 2.2.2.4). Figuur 2.2 laat zien hoe die toekenning heeft geleid tot een ruimtelijk stijghoogtepatroon. De waarden van de getoonde stijghoogteklassen zijn de gemiddelden in de tijd van de meetreeksen uit de periode 1961-2010 (zie verder Bijlage 1, B1.1).

### 2.2.2.3 Bodem

Van de bodem is vooral van belang het wel of niet voorkomen van een dun kleidek op de veenbodem. Een kleidek neemt niet af in dikte door afbraak van veen of andere organische stof. Daarom draagt het kleidek niet bij aan de maaiveldddaling. Deelgebieden moesten dus vooral uniform zijn voor dit aspect van de bodem.



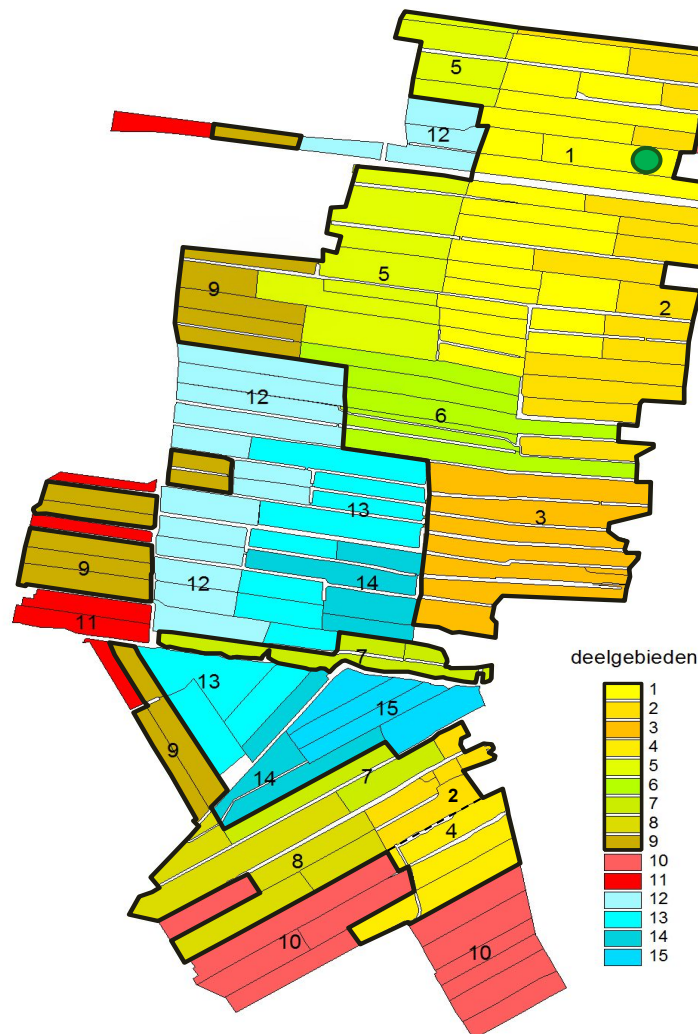
**Figuur 2.2** Ruimtelijk beeld van de gemiddelde stijghoogten van de periode 1961-2010 per perceel op basis van de deelgebieden (Figuur 2.3) in Peilvak 9.

Het onderscheid 'wel of niet een kleidek' is om die reden mede bepalend geweest voor het vormen van deelgebieden. Omdat in het gehele peilvak eutroof bosveen of broekveen voorkomt, is verder geen onderscheid gemaakt in de veensoort. In Bijlage B1.2 is het voorkomen van verschillende bodemsoorten in Peilvak 9 verder uitgewerkt.

#### 2.2.2.4 Deelgebieden

Deelgebieden zijn samengesteld uit percelen die zoveel mogelijk dezelfde eigenschappen hebben, vooral wat betreft drooglegging en voorkomen van een kleidek. Het streven was om binnen een deelgebied het maximale verschil in maaiveldhoogte tussen de percelen beneden de 10 cm te houden. Hierop is vooral goed gelet bij het samenstellen van deelgebieden met een bepaalde drooglegging die wel of niet voldoet aan het criterium voor toepassen onderwaterdrains. Verder moesten de percelen van elk deelgebied bij voorkeur aaneengesloten zijn. Omdat het isohypsenpatroon een sterke oost-west-gerichte gradiënt vertoont (Figuur B1.2 in Bijlage 1), is de breedte (de afstand van oost- naar westgrens) van de deelgebieden zo beperkt mogelijk gehouden: deelgebieden zijn zoveel mogelijk 'langgerekt'. Hoe smaller de deelgebieden, des te kleiner is het verloop in gradiënt en dus het verschil in wegzijging binnen een deelgebied.

Figuur 2.3 laat de indeling van Peilvak 9 in vijftien deelgebieden zien, Figuur 2.4 de verdeling van de maaiveldhoogten over de deelgebieden. Met het beperkte aantal van vijftien is het niet altijd gelukt om aan de eisen van uniformiteit van percelen binnen een deelgebied te voldoen. Vooral als het gaat om de drooglegging is daar noodzakelijkerwijs wel van afgeweken. Zo komen in de vier natte deelgebieden 12 tot en met 15 min of meer geïsoleerde percelen voor waarvan de drooglegging wél groot genoeg is voor onderwaterdrains. Het maximale verschil in maaiveldhoogte tussen percelen binnen een deelgebied

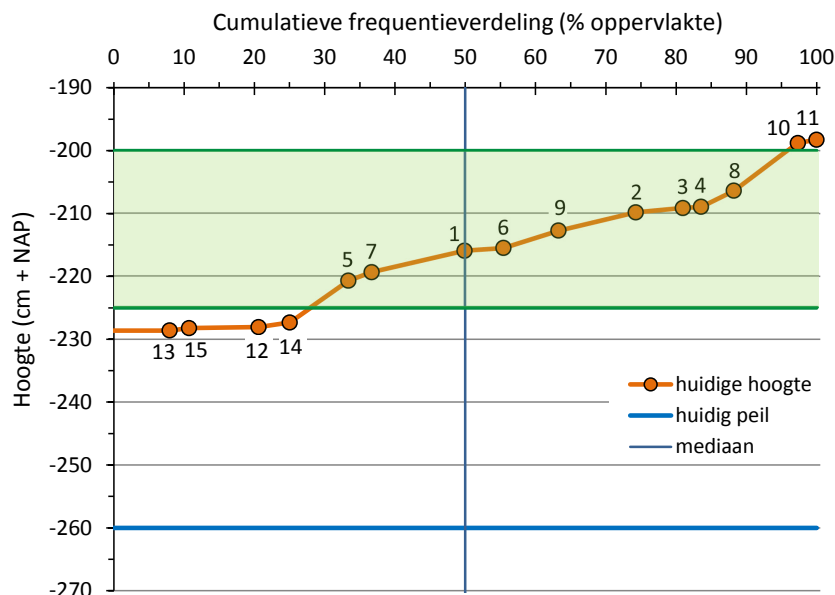


**Figuur 2.3** Indeling van Peilvak 9 in deelgebieden. De deelgebieden die in aanmerking komen voor onderwaterdrains zijn omrand. De rode deelgebieden zijn te droog voor onderwaterdrains en de blauwe te nat. Deelgebieden 4 en 10 zijn weideveengronden (met dun kleidek), de overige koopveengronden (geen kleidek). De groene stip geeft de locatie aan van de pilot 'onderwaterdrains Demmeriksekade' (Hendriks et al., 2013).

is in deze natte deelgebieden 11-14 cm. Voor het gehele peilvak is dat gemiddeld 10,5 cm. Met meer deelgebieden was het mogelijk geweest meer detail aan te brengen in de gebiedsschematisering.

Voor elk deelgebied is bepaald of het in aanmerking komt voor onderwaterdrains op grond van de volgende eisen aan de drooglegging met het oog op vooral de effecten op de waterkwaliteit die zijn afgeleid uit Hendriks en Van den Akker (2012) (zie voor het resultaat Figuren 2.3 en 2.4):

1. Een drooglegging tussen 35 cm en 60 cm **voldoet** voor toepassing van onderwaterdrains. Deelgebieden 1 t/m 9 (63% van de oppervlakte) zijn geschikt voor onderwaterdrains.
2. Een drooglegging groter dan 60 cm is **te groot** voor onderwaterdrains. Beneden de grondwater-spiegel bevat de veenbodem veel gemakkelijkuitspoelbare fosfor en stikstof die door drains die (te) diep liggen versneld kunnen worden afgevoerd. Deelgebieden 10 en 11 (12% van de oppervlakte) hebben een te grote drooglegging. Deelgebied 10 heeft een kleidek en daalt daardoor minder snel.
3. Een drooglegging kleiner dan 35 cm is **te klein** voor onderwaterdrains. Door de ondiepe grondwater-standen zullen via de drains veel meststoffen versneld uitspoelen naar het oppervlaktewater. Dit zijn de deelgebieden 12 t/m 15 (25% van de oppervlakte). Volgens het gebiedsconvenant (Projectgroep Groot Wilnis-Vinkeveen, 2010) wordt de nieuwe (drasland)natuur in peilvak 9 zoveel mogelijk op deze laagste gelegen delen gerealiseerd.



**Figuur 2.4** Cumulatieve frequentieverdeling van de maaiveldhoogten in Peilvak 9 over de vijftien deelgebieden, en bijbehorend slootpeil, voor de huidige situatie. De symbolen met nummers geven de vijftien deelgebieden aan; de horizontale afstand tot hun linkerbuurman is hun procentuele aandeel in het gebiedsareaal. Het groene vlak geeft het hoogtetraject waarvan de maaiveldhoogte geschikt is voor onderwaterdrains.

## 2.3 Modelberekeningen voor Peilvak 9

### 2.3.1 Doorgerekende scenario's

Met de modellen zijn drie soorten scenario's doorgerekend:

1. Twee **toekomstopties** om positieve en negatieve effecten van onderwaterdrains af te tasten over een toekomstige periode van vijftig jaar.
2. Berekeningen van de **historische** maaiveldddaling, eveneens voor een periode van vijftig jaar, om te toetsen of de door het model berekende maaiveldddalingen realistisch zijn.
3. Een korte, **extreme regenbui** binnen een periode van ongeveer twee weken, om na te gaan wat de effecten van onderwaterdrains zijn bij hevige neerslag.

#### 2.3.1.1 Toekomstopties

De twee toekomstopties die zijn doorgerekend, zijn:

1. **Toekomstoptie zonder onderwaterdrains:** er worden nergens onderwaterdrains toegepast. De door het model berekende maaiveldddaling is in de orde van grootte van de geschatte huidige maaiveldddaling van circa 12 mm per jaar.
2. **Toekomstoptie onderwaterdrains:** er worden onderwaterdrains toegepast in de daarvoor in aanmerking komende deelgebieden. De door het model berekende maaiveldddalingsnelheid is verlaagd door de toepassing van onderwaterdrains.

De vijftigjarige modelsimulaties van de toekomstopties zijn doorgerekend met de reeks van werkelijke weerjaren 1961-2010. Startpunt van de berekeningen van de toekomstopties waren de huidige maaiveldhoogten en het nieuw in te stellen streefpeil van -2,60 m + NAP. De vijftigjarige periode is onderverdeeld in vijf blokken van tien jaar (decennia). Naast om praktische redenen (zie 2.3.2) was dit noodzakelijk om een polderpeilverlaging te simuleren die nodig was om de maaiveldddaling te compenseren. In werkelijkheid wordt ook om de ongeveer tien jaar een nieuw peilbesluit genomen.

Hiervoor is het streefpeil elk decennium aangepast aan de door het model berekende ruimtelijk-gemiddelde maaiveldddaling in de negen deelgebieden die in aanmerking komen voor onderwaterdrains.

---

De maaiveldddaling is berekend na elk decennium met de empirische vergelijkingen van 2.1.2. De manier waarop dat is gedaan is uitgelegd in 2.3.3.2. Na elk decennium is de maaiveldhoogte van elk deelgebied aangepast met de berekende maaiveldddaling van dat deelgebied. Hiermee en met het aangepaste streefpeil is de modelrun voor het volgende decennium ingezet.

Voor de effecten van onderwaterdrains op de waterkwaliteit zijn met model ANIMO het eerste en het vijfde decennium uit de vijftigjarige periode doorgerekend. Hierbij zijn de twee nutriëntentema's 'afwenteling' en 'waterkwaliteit' beschouwd die Hendriks en Van den Akker (2012) onderscheiden. 'Afwenteling' gaat om de netto nutriëntenbelasting op jaarbasis; 'waterkwaliteit' om de netto nutriëntenbelasting in het zomerhalfjaar inclusief de nutriëntenvoorraad in het oppervlaktewater aan het einde van de winter. De 'netto belasting' is de nutriëntenvracht vanuit de veenbodem naar de sloot verminderd met de vracht vanuit de sloot de veenbodem in. De berekening van de nutriëntenbelasting van beide thema's is verder behandeld in Bijlage 1, B1.3.

### **2.3.1.2 Historische maaiveldddaling**

De vijftigjarige modelsimulaties van de historische maaiveldddaling zijn in beginsel op dezelfde manier uitgevoerd als de vijftigjarige simulaties van de toekomstopties. Het belangrijkste verschil is dat aan het begin van elk decennium een historisch streefpeil werd opgelegd in plaats van een berekend streefpeil uit de gesimuleerde maaiveldddaling. De historische streefpeilen zijn in perioden van tien jaar opgedeeld; waar dat niet kon zijn tijdgewogen gemiddelde streefpeilen voor het decennium gebruikt.

De uitgangspunten van de historische berekeningen waren het historische streefpeil en de ingeschatte historische maaiveldhoogten van het peilvak in 1961. Bijlage 2 beschrijft de manier waarop de historische maaiveldhoogten van 1961 zijn verkregen.

### **2.3.1.3 Extreme bui**

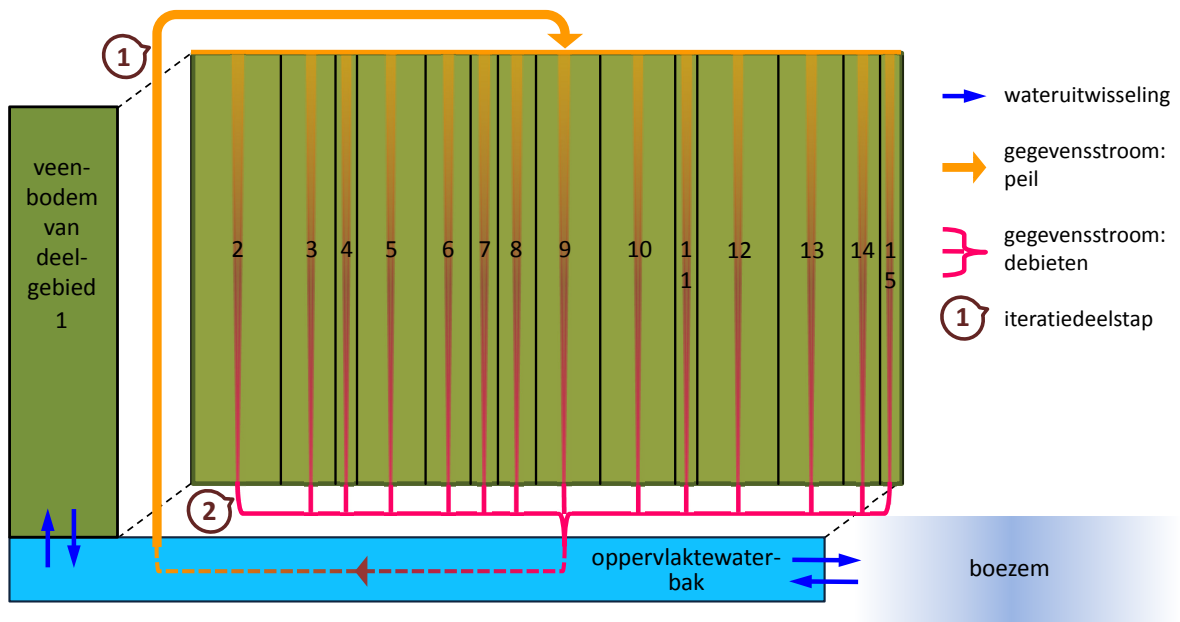
De extreme bui die is doorgerekend is een bui uit een buienreeks ('r2050.rks') van HH Schieland en de Krimpenerwaard, de eerste uit de rangorde van grootste buien (Van den Akker *et al.*, 2013). Het betreft - met weglating van kusteffect en klimaateffect - een bui van 37,5 mm binnen één uur op 13 juni 1953 in het 22<sup>ste</sup> uur. Dit is een neerslagintensiteit van 900 mm per dag. Met SWAP is voor deze bui de periode 9-21 juni 1953 doorgerekend, zodat een aanlooptijd en uitlooptijd beschikbaar waren.

## **2.3.2 SWAP als 'netwerkmodel'**

Voor realistische resultaten was het van groot belang dat de samenhang tussen de afzonderlijke deelgebieden in het peilvak werd meegenomen in de modellering. Alle percelen in het peilvak staan in verbinding met hetzelfde stelsel van sloten en waterlopen waarin het peil meestal overal nagenoeg gelijk is. Het peil bepaalt in hoge mate de waterhuishouding van elk perceel. Anderzijds beïnvloedt elk perceel het peil door wateruitwisseling tussen perceel en oppervlaktewaterstelsel. Door deze wisselwerking beïnvloeden percelen elkaar ook onderling via het oppervlaktewaterstelsel.

Belangrijk voorbeeld van deze onderlinge beïnvloeding is toepassing van onderwaterdrains in slechts een deel van het peilvak. Het is cruciaal om te weten wat de onderwaterdrains teweeg brengen in het deel van het peilvak zonder onderwaterdrains en wat het voor de werking van onderwaterdrains betekent als een deel van het peilvak géén onderwaterdrains heeft. Daarom was voor deze modelstudie een 'netwerkmodel' nodig in de zin van een netwerk van rekeneenheden die onderling zijn verbonden door een systeem waardoor ze elkaar onderling beïnvloeden op een realistische manier. Dat systeem is het oppervlaktewaterstelsel; de rekeneenheden zijn de veenbodems van de deelgebieden.

SWAP is een puntmodel voor de bodem met een pseudo-2D-benadering voor het laterale transport van water en opgeloste stoffen naar drainagemiddelen als sloten. SWAP en soortgelijke modellen zijn en worden veelvuldig gebruikt in regionale studies waarin ze in een netwerkmodel van het oppervlaktewatersysteem worden 'gehangen'. Hetzelfde geldt voor ANIMO en oppervlaktewaterkwaliteitsmodellen. Een dergelijke aanpak was in deze, in omvang beperkte, modelstudie niet mogelijk. Bovendien gaat het dan vaak om een echte 'koppeling op afstand' zonder terugkoppeling tussen bodem- en oppervlaktewatersysteem. Zo'n koppeling is niet afdoende getuige de aanbeveling uit het rapport van de pilot Demmeriksekade (Hendriks *et al.*, 2013): '... is voor realistische berekeningen een terugkoppeling tussen bodem- en oppervlaktewatersysteem op kleine tijdschaal ( $\leq 1$  uur) onontbeerlijk'.



**Figuur 2.5** SWAP gebruikt als 'netwerkmodel'. Schematische weergave als bovenaanzicht van de gebruikte methode. De groene vlakken zijn de veenweidebodems van de vijftien deelgebieden en de blauwe oppervlaktewaterbak verbeeldt het totale oppervlaktewater van Peilvak 9. Alle oppervlakten zijn in de juiste verhoudingen weergegeven. De veenbodem van deelgebied 1 en de oppervlaktewaterbak zijn intern gekoppeld in het SWAP-model. De koppeling tussen de oppervlaktewaterbak en de veenbodems van de overige veertien deelgebieden is op afstand. De oranje en rode pijlen geven de richtingen aan van de gegevensstromen in deze koppeling op afstand. Zie verder de hoofdstekst.

Daarom is voor een nieuwe aanpak gekozen waarin de oppervlaktewaterbak van SWAP centraal staat. Van deze bak berekent SWAP de volledige waterbalans (zie Bijlage 1, B1.4). Het hele oppervlaktewaterstelsel van Peilvak 9 is beschreven door één oppervlaktewaterbak. Deze bak is gekoppeld aan deelgebied 1 en wordt simultaan met de veenbodem van deelgebied 1 doorgerekend. Deelgebied 1 is het grootste (13,2%) deelgebied (Figuren 2.3-2.5), heeft de gemiddelde (mediane) maaiveldhoogte van het peilvak (Figuur 2.4) en heeft ook ongeveer de gemiddelde stijghoogte (Bijlage 1, Figuur B1.3, onder).

Deelgebied 1 en de oppervlaktewaterbak zijn intern gekoppeld: hun waterbalansen en onderlinge wateruitwisseling worden gezamenlijk berekend. In de nieuwe methode is de koppeling tussen de oppervlaktewaterbak en de overige veertien deelgebieden op afstand (Figuur 2.5). De waterbak geeft het oppervlaktewaterpeil door aan deze deelgebieden en ontvangt van hen areaalgewogen gemiddelde drainage- of infiltratiedebieten terug. In een aantal iteraties (herhalingen) worden peilen en debieten met elkaar in overeenstemming gebracht. Elke iteratiestap bestaat uit twee deelstappen (Figuur 2.5).

In de eerste deelstap wordt deelgebied 1 met oppervlaktewaterbak doorgerekend. Het peil dat daaruit resulteert wordt op uurbasis opgeslagen in een peilbestand. In de tweede deelstap worden deelgebieden 2-15 achter elkaar doorgerekend, waarbij ze de peilen uit het peilbestand gebruiken om drainage naar en infiltratie uit het oppervlaktewater te berekenen (zónder oppervlaktewaterbak). Van elk deelgebied worden de uitwisselingsdebieten (drainage of infiltratie) met het oppervlaktewater op uurbasis opgeslagen in een debietbestand. Vervolgens worden de debieten van de veertien debietbestanden met het relatieve areaal van hun deelgebieden omgerekend tot één areaalgewogen gemiddelde drainage- of infiltratiedebiet per uur. In de daarop volgende nieuwe iteratiestap leest SWAP bij het doorrekenen van deelgebied 1 met oppervlaktewaterbak deze debieten in als extra, 'externe' - want niet afkomstig van deelgebied 1 - term van de waterbalans van de oppervlaktewaterbak.

De nieuwe berekende peilen komen dus mede tot stand door deze externe debieten. En de peilen bepalen voor een belangrijk deel deze externe debieten. In een aantal iteraties 'groeien' peilen en debieten naar elkaar toe tot ze met elkaar in overeenstemming zijn. Of deze 'convergentie' in voldoende mate is bereikt, wordt getoetst door de peilreeksen van twee opeenvolgende iteratiestappen

met elkaar te vergelijken in een foutenfunctie (zie Bijlage 1, B1.4). Per jaar bevatten beide peilreeksen  $24 * 365,25 = 8766$  uurwaarden die onderling moeten worden vergeleken en in het beste geval samen moeten vallen. In tien jaar tijd gaat het om 87 660 uurwaarden. Het limiteren van de maximale simulatieperiode tot tien jaar was een manier om dit aantal uurwaarden beperkt te houden.

Over deze periode van tien jaar bedroeg de gemiddelde fout tussen de twee optimale peilreeksen na convergentie 0,26 tot 0,41 cm (Bijlage 1, B1.4). Dit is een alleszins goed resultaat, vooral omdat de pieken bijna altijd samenvielen. Het aantal iteraties dat nodig was om een optimaal resultaat te behalen - binnen het maximale van 99 - wisselde sterk: van 28 tot 98. De fout en het aantal iteraties was gemiddeld groter bij de berekeningen met drains, wat aangeeft dat in die simulaties de dynamiek groter was (Bijlage 1, B1.4).

Bij de berekeningen van de extreme buien bedroeg het aantal uurwaarden slechts 360. Daarmee haalde het model altijd het scherpe convergentiecriteria van  $10^{-3}$  cm, in 10-15 (geen drains) tot 15-20 (drains) iteraties. Praktisch kwam dat er op neer dat beide peilreeksen exact op elkaar lagen.

Het nadeel van deze nieuwe methode is dat in de oppervlaktewaterbak maar één peil bestaat. Dit komt niet overeen met de werkelijkheid. Op het moment dat water wordt uitgemalen of ingelaten ontstaat een verhang dat noodzakelijk is om het water te transporteren door de waterlopen en sloten. Door het grote aandeel oppervlaktewater van 13,3% van het areaal met brede sloten van 8 m bovenbreedte zal het peilverschil bij het grootste debiet dat kan optreden - 13,8 mm per dag ( $0,45 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) tijdens bemaling - maximaal in de orde van enkele centimeters zijn. Gezien het globale karakter van deze modelstudie was dat zeker acceptabel.

### 2.3.3 Parameterisatie van de modellen

#### 2.3.3.1 SWAP

De parameterisatie van SWAP is hieronder gegeven in de drie groepen van modelinvoer uit 2.1.1.

##### 1. initiële toestand

Voor de berekeningen van de toekomst is uitgegaan van een beginstreefpeil van -2,60 m + NAP en van de maaiveldhoogten van Figuren 2.3 en 2.4. Voor de berekeningen van de historische maaivelddaling is een gebiedsgemiddelde maaiveldhoogte in 1961 geschat uit de metingen van 1961 en 1968 (Bijlage 2) van -1,76 m + NAP. Het beginpeil in 1961 bedroeg -1,85 m + NAP.

##### 2. Modelparameters

De meeste belangrijke modelparameters voor de veenbodem zijn verkregen uit de pilot 'onderwater-drains Demmeriksekade' (Hendriks *et al.*, 2013). Ze omvatten in de eerste plaats de uit metingen

Tabel 2.1

Gemeten waarden van organischestof- en lutumgehalten, van metingen afgeleide waarden van VanGenuchten-parameters en van Hendriks en Van den Akker (2012) overgenomen anisotropiefactoren voor de onderscheiden bodemhorizonten zoals gebruikt in SWAP (uit: Hendriks *et al.*, 2013). De waarden van het kleidek zijn uit Hendriks en Van den Akker (2012).

Bodem horizont			Gehalten (massa-%) <sup>1</sup>		VanGenuchten-parameters						Anisotropiefactor
Num-mer	Omschrijving	Diepte (cm)	Organische stof	Lutum	ORES ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ )	OSAT ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ )	ALFA ( $\text{cm}^{-1}$ )	NPAR (-)	KSAT ( $\text{cm d}^{-1}$ )	LEXP (-)	(-)
1	wortelzone	0- 25	35,4	20,9	0,00	0,665	0,0104	1,266	3,00	-1,23	2
2	geoxid. veen	25- 40	72,6	19,2	0,00	0,760	0,0090	1,232	2,01	-2,41	2
3	geoxid. veen	40- 65	73,7	12,0	0,00	0,848	0,0075	1,197	1,66	-4,41	3
4	geoxid. veen	65- 80	75,1	11,4	0,00	0,883	0,0117	1,346	2,98	-4,60	1
5	gereduc. vn	80-375	74,4	8,1	0,00	0,898	0,0234	1,344	2,98	-3,70	0,5
1	kleidek	0- 30	18,0	80,0	0,34	0,634	0,0240	1,320	2,90	3,00	2

<sup>1</sup> van droge stof, ook voor lutum

ORES = residueel volumetrisch vochtgehalte	NPAR = vormfactor n
OSAT = verzadigd volumetrisch vochtgehalte	KSAT = verzadigde doorlatendheid
ALFA = vormfactor $\alpha$	LEXP = exponent in doorlatendheidsfunctie



afgeleide bodemfysische eigenschappen van de onderscheiden horizonten van de veenbodem (Tabel 2.1). De waarden voor het kleidek zijn overgenomen van Hendriks en Van den Akker (2012), want op de percelen van de pilot kwam geen kleidek voor.

De SWAP-parameters voor de veenbodem die waren gekalibreerd in de pilot zijn de drainage- en infiltratieweerstanden voor sloten, drains en greppels (Tabel 2.2). De waarden voor de onderwater-drains (drains) gelden voor een drainafstand van 6 m. Dat betekent dat in deze modelstudie de drainafstand eveneens 6 m bedraagt. Deze waarden voor de weerstanden zijn voor het gehele peilvak overgenomen. Voor de weerstand tegen verticale stroming is na overleg met de opdrachtgever besloten één waarde voor het hele peilvak te nemen. Deze waarde is geschat op 750 dagen uit Zaadnoordijk et al. (2008) en Hendriks en Van den Akker (2012).

**Tabel 2.2**

*Gekalibreerde weerstanden van SWAP voor de vier gebruikte drainagemiddelen van de proefvelden van Demmeriksekade (uit: Hendriks et al., 2013). Alle waarden in dagen. De drempelwaarde voor runoff (oppervlakte-afstroming) tussen haakjes in mm.*

Proces	Sloot	Drains	Greppel	Runoff
Drainage	235	51	40	1 (drempel: 5 mm)
Infiltratie	250	60	-	-

Het oppervlaktewatersysteem is in SWAP gemodelleerd met de invoerwaarden van Tabel 2.3. Niet in de tabel genoemde kenmerken van het oppervlaktewaterstelsel zoals dimensies van hoofdwaterlopen spelen geen rol in het eenvoudige model van het oppervlaktewater.

**Tabel 2.3**

*Gebruikte waarden voor parameters die het oppervlaktewatersysteem in SWAP beschrijven, met bron.*

Onderdeel	Parameter	Waarde	Eenheid	Bron
Oppervlaktewaterstelsel	oppervlakte	375 000	m <sup>2</sup>	Waternet
	totaal aandeel	13,3	% totale oppervlakte	Waternet
	slootbreedte	8	m op maaiveld	Waternet
	helling talud sloot	1 : 3,13	-	Hendriks et al. (2013)
	perceelsbreedte	52	m	Waternet
Bemaling	capaciteit gemaal	13,8	mm totale oppervlakte per dag	Waternet
	aanslag gemaal	+1	cm boven streefpeil	Waternet
	afslag gemaal	-4	cm boven streefpeil	Waternet
Inlaat	capaciteit inlaat	4	mm totale oppervlakte per dag	Waternet
	aanslag inlaat	-4	cm + strfpl; na uitmalen 1 dag wachten	Waternet
	afslag inlaat	0	cm boven streefpeil	Waternet

### **3. randvoorwaarden**

De randvoorwaarden die in dit verband relevant zijn, zijn de bovenrand en de onderrand. De zijrand is de drainagebasis in de vorm van het slootpeil. Dit wordt dynamisch door het model berekend zoals behandeld in 2.3.2.

Voor de vijftigjarige berekeningen is gebruik gemaakt van neerslag- en verdampingsgegevens van de afgelopen vijftig jaar (1961 t/m 2010) van weerstation De Bilt. Er is gebruik gemaakt van de optie om de verdamping (bodemverdamping en gewastranspiratie) te berekenen met 'Penman-Monteith'. Voor de neerslag is gebruik gemaakt van de optie om met dagsommen en de dagduur te rekenen. Het model berekent hieruit een neerslagintensiteit. Voor de extreme bui zijn de neerslaggegevens van de bui genomen en voor de overige dagen van de doorgerekende periode de neerslaggegevens van De Bilt van die tijd. Omdat het KNMI voor 1953 geen verdampingsgegevens kan leveren, is voor alle dagen een lage gemiddelde verdamping van 2 mm per dag als referentiegewasverdamping aangenomen. Hierdoor wordt de extremiteit van deze bui versterkt.

---

De onderrandfluxen als wegzijging en kwel zijn berekend uit de reeksen van stijghoogten per deelgebied zoals behandeld in 2.2.2.2 en Bijlage 1, B1.1. Voor de toekomstoptie zijn de gecorrigeerde reeksen gebruikt en voor de historische run de ongecorrigeerde. Voor de extreme bui zijn de stijghoogten van dezelfde periode uit 1987 genomen, als een gemiddeld jaar in de stijghoogtenreeks.

### **2.3.3.2 Empirische vergelijkingen maaiveldaling**

De empirische vergelijkingen van de maaiveldalingsnelheid bevatten geen modelparameters waarvoor waarden moeten worden ingevoerd. Wel bevatten beide vormen van empirische relaties de variabelen *GLG* of *GLG8* die door het model SWAP moesten worden gegenereerd (zie 2.1.2). Daarnaast is besloten hoe de twee vormen van relaties te gebruiken.

#### **Gebruik van de twee empirische relaties**

De relatie met de *GLG8* geeft een wat hogere maaiveldalingsnelheid en zal ook een wat sterker effect van onderwaterdrains geven dan de relatie met de *GLG*. Maar als het gaat om het relatieve effect van onderwaterdrains ontlopen beide relaties elkaar niet veel. Beide relaties zijn afgeleid voor situaties zonder onderwaterdrains. En met beide is ook geen ervaring opgedaan met toepassen op een situatie met onderwaterdrains. Vanwege deze onzekerheid is besloten beide relaties te gebruiken en hun uitkomst te middelen.

#### **Grondwaterstanden van SWAP**

*GLG* en *GLG8* zijn berekend uit de met SWAP gesimuleerde grondwaterstanden conform de berekening van deze grootheden uit gemeten grondwaterstanden. Omdat de vijftigjarige berekeningen in deze studie zijn uitgevoerd in vijf blokken van tien jaar (decennia; zie 2.3) zijn voor de berekening van *GLG* en *GLG8* niet acht maar tien hydrologische jaren genomen binnen elk decennium. De *GLG* is verkregen door middeling van de LG3's van de tien jaren. De LG3 is per hydrologisch jaar (van 1 april t/m 31 maart) berekend als het gemiddelde van de drie laagste tweewekelijkse grondwaterstanden in dat jaar. Voor de tweewekelijkse grondwaterstanden zijn de grondwaterstanden van de 14<sup>e</sup> en de 28<sup>e</sup> dag van de maand genomen. De *GLG8* is berekend als het gemiddelde van de drie laagste tweewekelijkse grondwaterstanden in de tien hydrologische jaren. De maaiveldalingsnelheid is per decennium verkregen door middelen van de uitkomsten van de *GLG* en *GLG8* relaties.

#### **Berekening toetspeil bij wateroverlast**

Voor het berekenen van een continu verlopend toetspeil voor het toetsen van wateroverlast (zie 4.1.2) is jaarlijks vastgesteld wat de 10% laagstgelegen delen van het areaal van het peilvak zijn. De bovengrens van de maaiveldhoogten van die 10% is het toetspeil. Hoewel de maaiveldaling werd berekend op het niveau van deelgebieden (zie 2.3.1.1) was voor de berekening van het toetspeil het perceel de kleinste eenheid. De maaiveldhoogte van het perceel is berekend uit de initiële maaiveldhoogten van het AHN2 (Figuur 2.1) en de maaiveldaling van het perceel. De laatste is afgeleid uit de maaiveldaling van het deelgebied waarin het perceel ligt, en het relatieve areaal en de relatieve maaiveldhoogte van elk perceel ten opzichte van areaal en maaiveldhoogte van het deelgebied. Daarmee is de maaiveldaling van het deelgebied verdeeld over de percelen van het deelgebied op basis van de jaarlijkse *GLG* en *GLG8* van het deelgebied, gebruikmakend van vergelijkingen (1) en (2).

Hoewel de empirische relaties in principe gelden voor een periode van minstens 8 jaar is voor het berekenen van een continu verlopend toetspeil een schatting gemaakt van de maaiveldaling op jaarbasis. Dit is gedaan door de tienjarige maaiveldaling te verdelen over de tien jaren op basis van de jaarlijkse *GLG* en *GLG8*, gebruikmakend van vergelijkingen (1) en (2).

### **2.3.3.3 ANIMO**

De parameterisatie van ANIMO wordt hieronder beschreven in de vier groepen van modelinvoer die zijn onderscheiden in 2.1.3.

#### **1. initiële toestand**

De initiële toestand is overgenomen van de pilot die weer is gebaseerd op de berekeningen van Hendriks en Van den Akker (2012). De globale kalibratie die in de pilot heeft plaatsgevonden, betrof vooral waarden van de initiële toestand omdat deze niet lokaalspecifiek waren en dus onzeker. Hierbij

zijn vooral de initiële stikstof-, fosfor- en sulfaatconcentraties in het permanent verzadigde veen onder de GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand) bijgesteld (Hendriks *et al.*, 2013).

## 2. modelparameters

Ook de parameterisatie van de modelparameters is overgenomen van de pilot en is gebaseerd op Hendriks en Van den Akker (2012). Waarden van belangrijke modelparameters zijn daarbij afgeleid uit metingen die zijn uitgevoerd in de pilot. Deze zijn samengevat in Tabel 2.4.

Tabel 2.4

Waarden van fysische en chemische bodemkenmerken van de onderscheiden horizonten zoals gebruikt voor het beschrijven van de veenbodemkolommen in ANIMO (uit: Hendriks *et al.*, 2013). Alle waarden zijn resultaten van metingen.

Horizont Num- mer	Diepte (cm)	Volumie- ke massa (kg m <sup>-3</sup> )	Afbraaksnelheid		Organische stof		Oxalaatextraheerbaar		Pyriet (%) <sup>2</sup>	pH- H <sub>2</sub> O (-)
			Constante <sup>1</sup> (d <sup>-1</sup> )	Q <sub>10</sub> (-)	N (kg kg <sup>-1</sup> )	P (kg kg <sup>-1</sup> )	P (mmol kg <sup>-1</sup> )	Al + Fe (mmol kg <sup>-1</sup> )		
1	0- 25	570	0,019	3,6	0,040	0,00190	77	458	1,0	5,9
2	25- 40	380	0,024	3,2	0,032	0,00070	7	293	3,0	6,0
3	40- 65	213	0,020	3,0	0,028	0,00052	4	229	5,2	5,7
4	65- 80	131	0,025	2,8	0,024	0,00034	1	164	7,4	4,4
5	80-375	127	0,026	2,4	0,023	0,00045	2	114	6,5	4,3

<sup>1</sup> Bij 10 °C; <sup>2</sup> massa-% van de droge stof.

## 3. randvoorwaarden

De randvoorwaarden die in dit verband relevant zijn, zijn de bovenrand in de vorm van bemesting en atmosferische depositie van stikstof en fosfor, de onderrand in de vorm van concentraties van stoffen in het kwelwater voor de berekeningen waarin wegzijging omslaat in kwel, en de zijrand in de vorm van de concentraties van stoffen in het slotwater voor de situaties met infiltratie van slotwater. De eerste twee zijn verkregen van Hendriks en Van den Akker (2012), de laatste uit de pilot.

Voor de bemesting zijn de landelijke gegevens van het LEI uit het modelinstrumentarium STONE (Wolf *et al.*, 2003) genomen die representatief zijn voor de Zuid-Hollandse veenweiden in de periode 2000-2010.

Aan alle deelgebieden is dezelfde bemesting opgelegd, behalve aan deelgebieden 12-15 die aan het einde van de vijftigjarige rekenperiode een zeer geringe drooglegging hebben. Voor de berekeningen van het vijfde decennium is in de modelberekeningen de fosfor- en stikstofbemesting van deze dan zeer natte deelgebieden gehalveerd, voor zowel de berekeningen zonder als die met onderwaterdrains. De reden is dat natte veenweiden en bemesting vanuit het oogpunt van nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater een slechte combinatie vormen (Hendriks, 1997 en 2003; Hendriks *et al.*, 2008). Het is niet realistisch om onder die natte omstandigheden nog de volledige bemesting toe te passen.

## 4. hydrologische gegevens

Deze zijn voor elk deelgebied op dagbasis aangeleverd door SWAP. Dat betekent dat de waterhuishouding in de berekeningen van het eerste decennium geldt voor de aanvangsmaaiveldhoogten en in de berekeningen van het vijfde decennium voor de veertig jaar lang gedaalde maaiveldhoogten.

---

## 3 Resultaten maaiveldddaling

In dit hoofdstuk worden de resultaten beschreven van de modelberekeningen van de maaiveldddaling in Peilvak 9 en de gevolgen daarvan voor maaiveldhoogte en drooglegging. In paragraaf 3.1 worden de huidige en toekomstige maaiveldddaling besproken en in paragraaf 3.2 de historische maaiveldddaling.

### 3.1 Huidige en toekomstige maaiveldddaling, maaiveldhoogte en drooglegging

In deze paragraaf worden de resultaten van de modelberekeningen van de huidige en toekomstige maaiveldddaling gepresenteerd en besproken. Eerst wordt de maaiveldddaling zelf behandeld (3.1.1), vervolgens de daar direct uit voortvloeiende maaiveldhoogte (3.1.2) en drooglegging (3.1.3). Tenslotte wordt de samenhang tussen deze drie aspecten op deelgebiedsniveau na vijftig jaar getoond en besproken (3.1.4).

Bij de berekeningen van de maaiveldddaling is de tijdseenheid de periode van tien jaar (decennium). Na elk decennium zijn de maaiveldddalingen tijdens dat decennium berekend en zijn daarmee de maaiveldhoogten aangepast voor de berekeningen van het volgende decennium. Alle resultaten worden daarom getoond en besproken op basis van de vijf doorgerekende decennia.

#### 3.1.1 Maaiveldddaling

Figuur 3.1 laat het verloop in de tijd van de cumulatieve maaiveldddaling zien, als absolute waarden voor de toekomstopties zonder en met onderwaterdrains, en als de verschillen daartussen. In het figuur is onderscheid gemaakt tussen het gemiddelde van het peilvak en de drie droogleggingsklassen van deelgebieden waarvan de drooglegging voldoet voor onderwaterdrains, te groot is voor onderwaterdrains of te klein is voor onderwaterdrains.

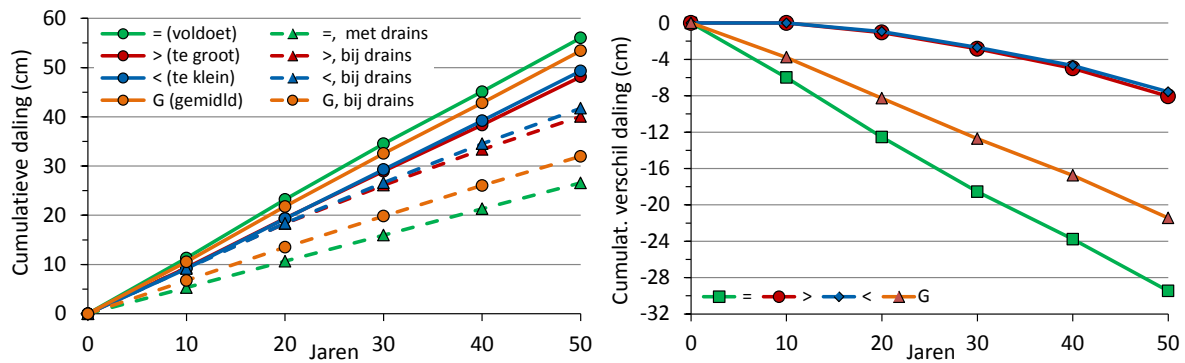
##### **Toekomstoptie zónder onderwaterdrains**

In deze optie is de totale maaiveldddaling in vijftig jaar gemiddeld voor het peilvak 54 cm. Dit is een gemiddelde dalingsnelheid van 10,8 mm per jaar. De grootste dalingsnelheid hebben de deelgebieden van droogleggingsklasse 'voldoet': 56 cm in vijftig jaar of gemiddeld 11,2 mm per jaar. De deelgebieden van klassen 'te groot' en 'te klein' dalen minder snel: 48-49 cm in vijftig jaar of gemiddeld 9,6-9,8 mm per jaar. Ze brengen daarmee het gemiddelde van het peilvak naar beneden. Dat deze klassen op nagenoeg dezelfde gemiddelde maaivelddalingsnelheid uitkomen berust op toeval. De oorzaken van hun geringer dan gemiddelde dalingsnelheid zijn namelijk totaal verschillend. Bij klasse 'te groot' gaat het om de aanwezigheid van een afdekkend kleidek bij deelgebied 10 dat 72% van het areaal van de klasse beslaat, bij klasse 'te klein' om een nattere veenbodem door een geringere drooglegging.

De dalingsnelheid is niet constant - de lijn van cumulatieve daling is niet recht - maar neemt geleidelijk af door het natter worden van de percelen. Dit geldt vooral voor de deelgebieden van klasse 'voldoet' die het snelst dalen. De percelen worden natter omdat de wegzijging afneemt naarmate het maaiveld en daardoor het peil meer is gedaald (zie Figuur 3.4). Na circa dertig jaar is de wegzijging in het peilvak zelfs omgeslagen naar kwel (zie Figuur 4.1).

##### **Toekomstoptie mét onderwaterdrains**

In deze toekomstoptie is de totale peilvakgemiddelde maaiveldddaling in vijftig jaar 32 cm of gemiddeld 6,4 mm per jaar. De deelgebieden van klasse 'voldoet' waarin de onderwaterdrains liggen, hebben met 27 cm in vijftig jaar of gemiddeld 5,4 mm per jaar niet langer de grootste maaivelddalingsnelheid maar de kleinste. De maaivelddalingsnelheden van de klassen 'te groot' en 'te klein' zijn nu groter, maar nemen langzaam af in de tijd van 9,2-9,3 mm per jaar naar 6,7-7,2 mm per jaar.



**Figuur 3.1** Verloop in de tijd van de cumulatieve, areaalgewogen gemiddelde maaiveld­daling van de drie droogleggingsklassen van deelgebieden en van Peilvak 9 (gemiddld). Links: absoluut, de toekomst­opties zónder en mét onderwaterdrains; rechts: het verschil tussen de toekomst­opties zónder en mét onderwaterdrains. De symbolen met omschrijving geven aan of de drooglegging van de klasse geschikt is voor onderwaterdrains, of te groot of te klein:  
 Voldoet = drooglegging is geschikt voor onderwaterdrains;  
 Te groot = drooglegging is te groot voor drains;  
 Te klein = drooglegging is te klein en weiden zijn te nat voor drains.

Voor de deelgebieden mét onderwaterdrains is de gemiddelde maaiveld­dalings­nelheid constant in de tijd. Hier is na vijftig jaar de afnemende trend in de dalings­nelheid als gevolg van verminderde wegzijging nog niet merkbaar ingezet.

### Effecten van onderwaterdrains

Door toepassing van onderwaterdrains neemt de gemiddelde maaiveld­dalings­nelheid in het peilvak af met 40%. Bij de deelgebieden van klasse 'voldoet' waarin de drains liggen is de dalings­nelheid teruggebracht met 52%. Deze ruime halvering van de maaiveld­dalings­nelheid komt overeen met de praktijkervaringen die er momenteel zijn met onderwaterdrains (Van den Akker *et al.*, 2013). Ze is een direct gevolg van de grondwater­stand­verhogende werking van de drains.

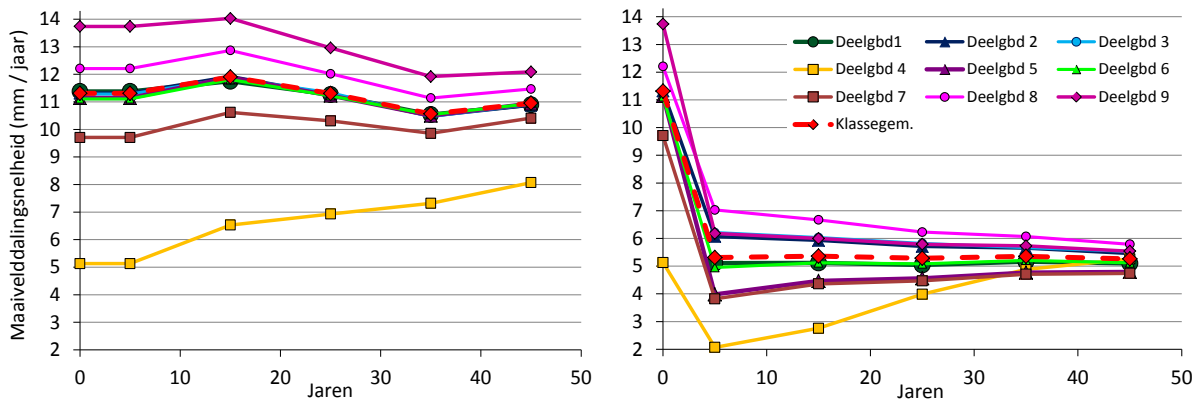
Opmerkelijk is dat ook bij de deelgebieden van de twee andere droogleggings­klassen, die geen onderwaterdrains bevatten, de maaiveld­dalings­nelheid afneemt in de tijd door toepassing van onderwaterdrains in het grootste (63%) deel van het peilvak. Deze afname wordt geleidelijk groter in de tijd. Na tien jaar is er nog geen verschil met de toekomst­optie zonder onderwaterdrains; na vijftig jaar is dat verschil in totaal 8 cm of 3 mm per jaar, een gemiddelde afname van de dalings­nelheid in de vijftig toekomstige jaren met 1,5 mm per jaar of 17%. Deze afname is bijna eenderde van de afname van de dalings­nelheid van de klasse 'voldoet' met drains.

De oorzaak van de afnemende maaiveld­dalings­nelheid van de deelgebieden zónder drains is een indirect effect van de onderwaterdrains. Aanvankelijk blijven deze deelgebieden even snel dalen als in de toekomst­optie zonder onderwaterdrains. Het sloot­peil daalt echter niet meer even snel mee; dat wordt immers aangepast aan de minder snel dalende deelgebieden mét de onderwaterdrains. De drooglegging in de deelgebieden zónder drains wordt daardoor geleidelijk steeds kleiner, de deelgebieden worden steeds natter en hun maaiveld­dalings­nelheid neemt steeds meer af.

### Deelgebieden van klasse 'voldoet'

Om alle deelgebieden met onderwaterdrains onderling te vergelijken is in Figuur 3.2 de ontwikkeling van de maaiveld­dalings­nelheid in de tijd voor de toekomst­opties mét en zónder onderwaterdrains getoond voor de afzonderlijke deelgebieden van droogleggings­klasse 'voldoet'. Een andere reden om dit te doen was het grote aandeel (63%) van deze deelgebieden in de oppervlakte van het peilvak.

De grafieken laten verschillen tussen de deelgebieden zien, maar ook tussen de decennia. De trend is voor elk deelgebied duidelijk herkenbaar maar verloopt niet volgens een rechte lijn. Sommige decennia – bijvoorbeeld het tweede (jaar 15) – zijn gunstiger (vergro­terend) voor maaiveld­daling en andere – bijvoorbeeld het vierde (jaar 35) – ongunstiger. Dit is vooral het gevolg van verschillen in weersomstan-



**Figuur 3.2** Gebiedsgemiddelde maaiveldalingsnelheden van de negen deelgebieden in de droogleggingsklasse 'voldoet' (voor drains) en van deze klasse gemiddeld (Klassegem.), over de rekenperiode van vijftig jaar. Links de toekomstoptie zónder onderwaterdrains, rechts de toekomstoptie mét onderwaterdrains. De maaiveldalingsnelheden zijn de gemiddelden van de vijf doorgerekende decennia. Ze gelden per decennium en zijn daarom als punt in het midden van de vijf decennia geplaatst. De lijnen zijn aangebracht om de samenhang tussen punten te verduidelijken maar geven niet het tijdsverloop tussen punten. De punten bij jaar 0 zijn de beginwaarden, zonder onderwaterdrains. Voor de maaiveldalingsnelheden zijn deze geschat als de gemiddelde waarden van decennium 1 zonder drains.

digheden op jaarbasis, waarvan de neerslaghoeveelheden en -intensiteiten, en de temperaturen in het zomerhalfjaar de belangrijkste zijn. Ook kunnen verschillen in stijghoogten tussen de jaren een rol spelen. Omdat de getoonde maaiveldalingsnelheden gemiddelden zijn van een decennium, worden effecten van uitgesproken weerjaren voor een groot deel uitgemiddeld. Daardoor zijn relatief gezien de afwijkingen van de trend in maaiveldalingsnelheid per decennium klein (max. 5%).

In de optie zónder onderwaterdrains vertoont de gebiedsgemiddelde maaiveldalingsnelheid van de klasse 'voldoet' een licht afnemende trend (gemiddeld 0,02 mm per jaar). Deze gemiddelde trend is het resultaat van twee deelgebieden (8 en 9) met een duidelijk afnemende maaiveldalingsnelheid, één deelgebied (4) met een duidelijk toenemende dalingsnelheid en vier deelgebieden waarvan de dalingsnelheid nagenoeg constant is. Het meest in het oog springt deelgebied 4 waarvan de verandering in de tijd niet alleen het sterkst is maar ook als enige toenemend: gemiddeld 0,07 mm per jaar. Oorzaak hiervan is de toenemende drooglegging van dit deelgebied doordat de maaiveldaling achterblijft door het kleidek. De afnemende dalingsnelheid van deelgebieden 8 en 9 is het gevolg van het natter worden van deze gebieden door het afnemen van de wegzijging. De maaiveldalingsnelheden van de negen deelgebieden groeien langzaam naar elkaar toe. Hierbij valt vooral de snelle stijging van deelgebied 4 met kleidek op.

In de optie mét onderwaterdrains is de gemiddelde maaiveldalingsnelheid van de klasse ruim gehalveerd. Dit geldt ook voor de dalingsnelheid van de meeste deelgebieden. De gemiddelde dalingsnelheid van de klasse is nagenoeg constant in de tijd. De trends van alle deelgebieden zijn met drains rechtlijniger: de invloed van de afwijkende decennia is geringer. De drains hebben een duidelijk nivellerend effect op de maaiveldalingsnelheid. Dat komt vooral tot uitdrukking in het sterk naar elkaar toe groeien van de dalingsnelheden. Na vijftig jaar is het maximale verschil in dalingsnelheid tussen de negen deelgebieden nog maar zeer klein: van 5 mm per jaar in het eerste decennium naar 1 mm per jaar in het vijfde decennium. Opvallend is weer deelgebied 4 met kleidek, waarvan de maaiveldalingsnelheid snel stijgt om na vijftig jaar gelijk te zijn aan de gemiddelde snelheid. Bij een circa 10 cm grotere maaiveldhoogte (Figuur 3.5) en dus drooglegging heeft dit deelgebied met drains een nieuw evenwicht gevonden tussen drooglegging en maaiveldalingsnelheid.

### Ruimtelijk beeld na 10 en 50 jaar

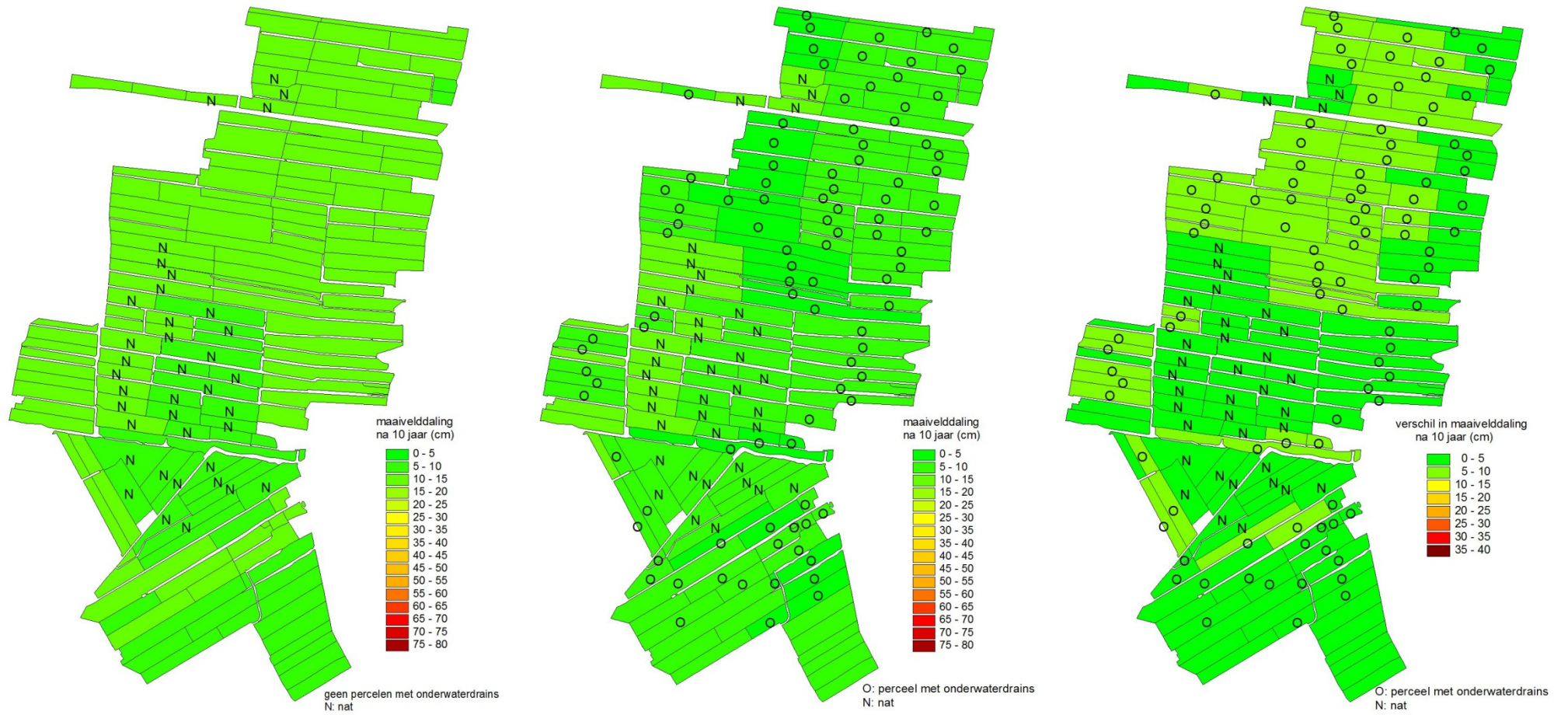
Figuur 3.3 geeft kaarten van het peilvak met de maaiveldalingsnelheid per deelgebied voor de toekomstopties zonder en met onderwaterdrains en het verschil daartussen, na tien jaar en na vijftig jaar.

---

In de kaarten van de optie zónder onderwaterdrains zijn zowel na tien als na vijftig jaar de deelgebieden met de geringste maaiveldddaling duidelijk te herkennen: de gebieden met een geringere drooglegging (gemarkeerd met 'N') en de gebieden met een kleidek in het zuiden van het peilvak. Bij de overige deelgebieden zijn de verschillen in maaiveldddaling gering. De deelgebieden in het uiterste westen hebben de grootste maaiveldddaling als gevolg van de grootste wegzijging.

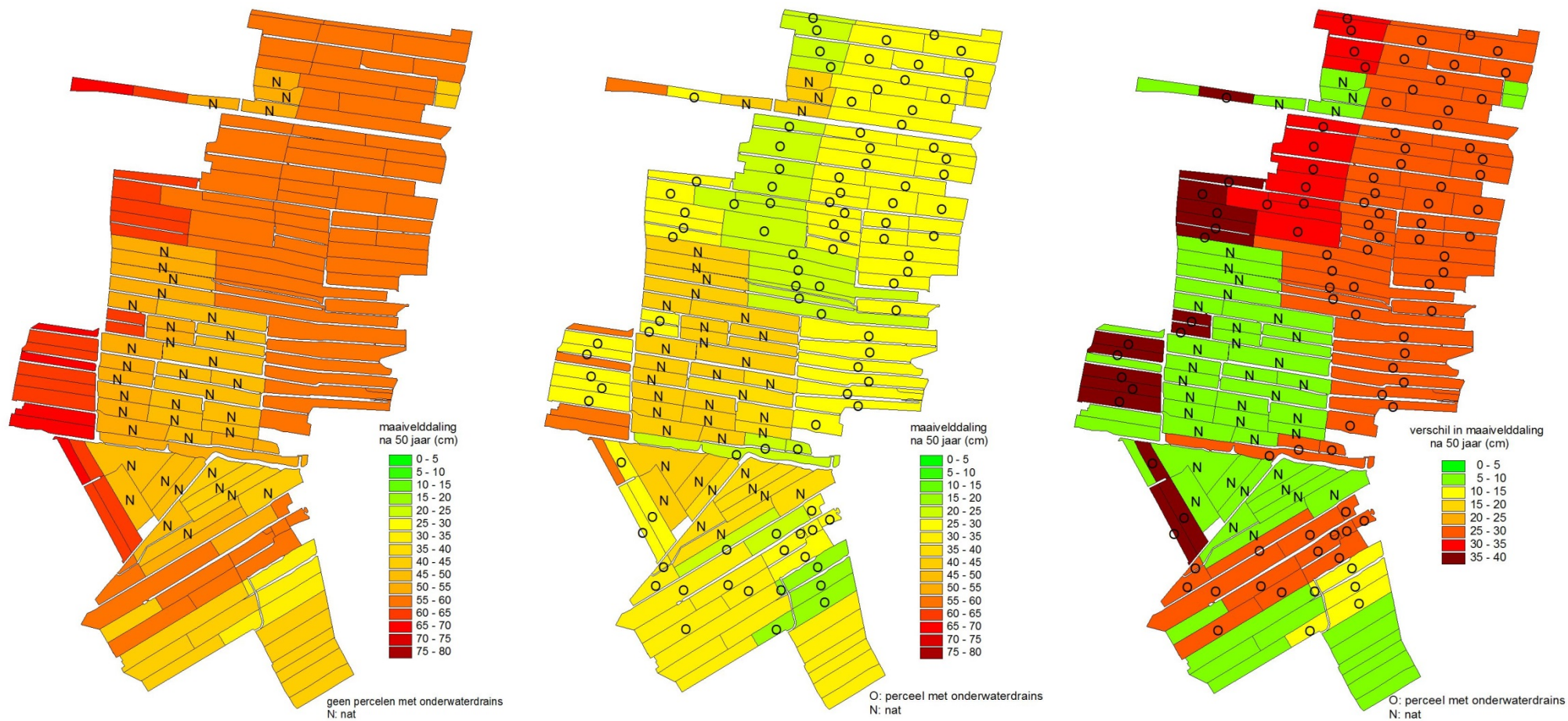
De kaarten van de optie mét onderwaterdrains tonen vooral na vijftig jaar enorme verschillen met de kaarten van de optie zónder drains voor de deelgebieden die de onderwaterdrains bevatten (gemarkeerd met 'O'). Na vijftig jaar zijn er in deze deelgebieden verschillen in de orde van 5-8 klassen van 5 cm klassebreedte ontstaan door het toepassen van onderwaterdrains. Deze 25-40 cm vermindering van de maaiveldddaling over vijftig jaar zijn ook duidelijk herkenbaar in de verschilkaart van vijftig jaar. De grootste afname van de maaiveldddaling na vijftig jaar onderwaterdrains vertonen de westelijke deelgebieden die zonder onderwaterdrains de grootste maaiveldddaling kennen.

De verschilkaart na vijftig jaar toont voor de deelgebieden zónder onderwaterdrains een afname van de maaiveldddaling na vijftig jaar toepassing van onderwaterdrains van 5-10 cm. Hierbij is geen verschil in klasse tussen deelgebieden die te nat zijn ('N') en deelgebieden met een kleidek in het zuiden.



**Figuur 3.3.a** Ruimtelijk beeld van de maaiveldaling in Peilvak 9 na 10 jaar, in de toekomstopties zónder onderwaterdrains (links) en mét onderwaterdrains (midden), en het verschil tussen deze opties (rechts). Het verschil is: 'zonder drains' - 'met drains'. Grotere waarden van de verschilklassen betekenen dat zonder onderwaterdrains de maaiveldaling groter is. Betekenis van de symbolen in de percelen is gegeven in de kaarten. Percelen zonder symbool in de kaarten midden en rechts zijn te droog voor onderwaterdrains, percelen met 'N' zijn te nat.

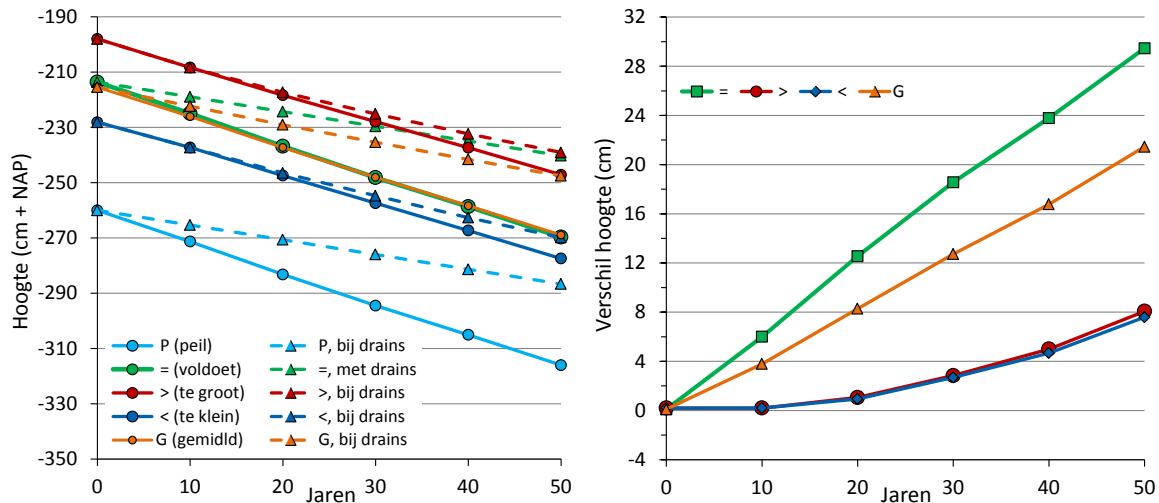




**Figuur 3.3.b** Ruimtelijk beeld van de maaivelddaling in Peilvak 9 na 50 jaar, in de toekomstopties zónder onderwaterdrains (links) en mét onderwaterdrains (midden), en het verschil tussen deze opties (rechts). Het verschil is: 'zonder drains' - 'met drains'. Grotere waarden van de verschilklassen betekenen dat zonder onderwaterdrains de maaivelddaling groter is. Betekenis van de symbolen in de percelen is gegeven in de kaarten. Percelen zonder symbool in de kaarten midden en rechts zijn te droog voor onderwaterdrains, percelen met 'N' zijn te nat.

### 3.1.2 Maaiveldhoogte

Figuur 3.4 toont het verloop in de tijd van de maaiveldhoogte als absolute waarden voor de toekomstopties zonder en met onderwaterdrains, en als de verschillen daartussen. Onderscheid is gemaakt tussen het gemiddelde van het peilvak en de drie droogleggingsklassen van deelgebieden waarvan de drooglegging voldoet voor onderwaterdrains, of te groot of te klein is voor onderwaterdrains.



**Figuur 3.4** Verloop in de tijd van de areaalgewogen gemiddelde maaiveldhoogte van de drie droogleggingsklassen van deelgebieden en van Peilvak 9 (gemiddld), en verloop in de tijd van het slootpeil. Links: absoluut, de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains; rechts: het verschil tussen de opties zónder en mét onderwaterdrains (verschil bij peil is niet gegeven want is gelijk aan dat van 'voldoet'). De symbolen met omschrijving geven aan of de drooglegging van de klasse geschikt is voor onderwaterdrains, of te groot of te klein:

Voldoet = drooglegging is geschikt voor onderwaterdrains;

Te groot = drooglegging is te groot voor drains;

Te klein = drooglegging is te klein en weiden zijn te nat voor drains.

Voor de beide opties zonder en met onderwaterdrains loopt de lijn van het peil parallel aan de lijn van de maaiveldhoogte van klasse 'voldoet'. Het peil is immers aangepast aan de gedaalde maaiveldhoogte van deze klasse.

#### Toekomstoptie zónder onderwaterdrains

In de optie zónder onderwaterdrains 'groeien' de gemiddelde maaiveldhoogten van de deelgebieden van de klassen 'voldoet' en 'te klein' naar elkaar toe, terwijl die van 'voldoet' en 'te groot' uit elkaar groeien. Dit komt door de grotere maaivelddaling van 'voldoet' ten opzichte van beide andere klassen en door de onderlinge uitgangspositie van de klassen: 'voldoet' ligt hoger dan 'te klein' maar lager dan 'te groot'. De klasse met de grootste maaivelddaling ('voldoet') groeit naar de lager gelegen klasse ('te klein') toe, maar van de hoger gelegen klasse ('te groot') af. Ook klasse 'te klein' groeit steeds verder af van klasse 'te groot'.

De gemiddelde maaiveldhoogte van het peilvak valt in de optie zonder onderwaterdrains samen met de gemiddelde maaiveldhoogte van klasse 'voldoet'.

#### Toekomstoptie mét onderwaterdrains

In de optie mét onderwaterdrains verloopt het mechanisme van 'naar elkaar toegroeien' van maaiveldhoogten anders dan in de optie zónder drains. Klasse 'voldoet' is veranderd van de snelst dalende klasse in de langzaamst dalende. Gevolg: de klasse met de kleinste maaivelddaling ('voldoet') groeit naar de hoger gelegen klasse ('te groot') toe, en van de lager gelegen klasse ('te klein') af. Uiteindelijk

zal na lange tijd klasse 'te klein' zo nat zijn dat ook bij drains deze 'klasse' naar beide andere klassen toe groeit.

In de optie mét onderwaterdrains valt de gemiddelde maaiveldhoogte van het peilvak niet langer samen met de gemiddelde maaiveldhoogte van klasse 'voldoet'. Na vijftig jaar is de gemiddelde maaiveldhoogte van het peilvak 7 cm kleiner dan de gemiddelde maaiveldhoogte van klasse 'voldoet'. Dit is het gevolg van de relatief kleine gemiddelde maaiveldhoogte van klasse 'te klein' die een stuk lager is dan de maaiveldhoogte van 'voldoet' en die het gemiddelde van het peilvak naar beneden trekt.

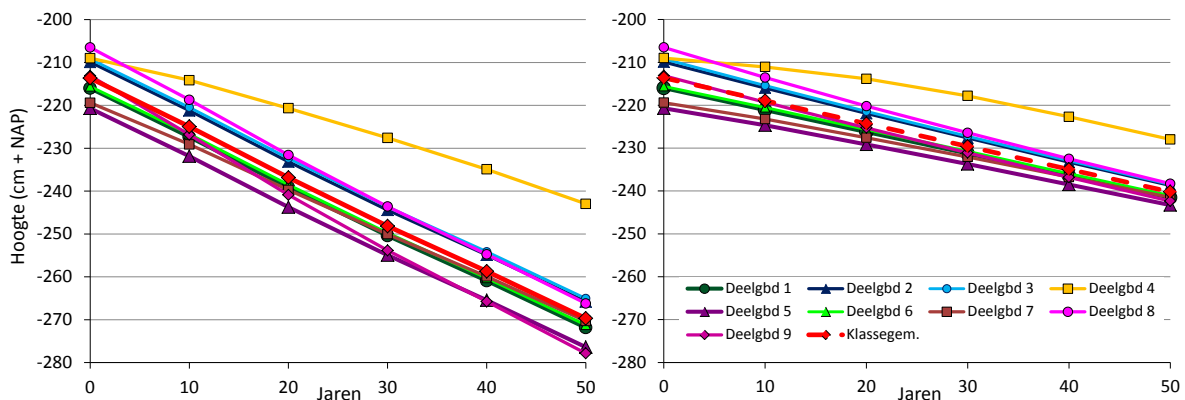
Uit het verloop van het slootpeil bij onderwaterdrains valt af te leiden dat na dertig jaar het peil meer dan 15 cm is gedaald. Momenteel is het advies om de drains met de bovenkant minimaal 15 cm onder streefpeil te leggen (Van den Akker *et al.*, 2013). Zie verder de discussie van hoofdstuk 6.

### Effecten van onderwaterdrains

Door toepassing van onderwaterdrains nemen de maaiveldhoogten van alle percelen in het peilvak minder snel af dan zónder onderwaterdrains. Na vijftig jaar bedraagt het verschil gebiedsgemiddeld voor het peilvak 21,5 cm, voor de deelgebieden van klasse 'voldoet' 29,5 cm en voor de deelgebieden van klassen 'te groot' en 'te klein' 8,1 en 7,8 cm.

### Deelgebieden van klasse 'voldoet'

Figuur 3.5 toont dat de maaiveldhoogten van de deelgebieden van klasse 'voldoet' in de toekomstoptie zónder onderwaterdrains ongeveer evenveel afnemen. De meeste deelgebieden groeien iets naar het gemiddelde toe, maar enkele er juist iets van af. Alleen deelgebied 4 met kleidek blijft steeds meer achter op het gemiddelde en ligt hier na vijftig jaar 27 cm boven, terwijl dat bij aanvang slechts 4,5 cm was. De standaardafwijking van de maaiveldhoogten zonder deelgebied 4 is aan het begin 5 cm en na vijftig jaar 4,8 cm. Dit toont aan dat de deelgebieden zonder kleidek in maaiveldhoogten enigszins naar elkaar toe groeien (met deelgebied 4 zijn de standaardafwijkingen resp. 5 en 10,2 cm).



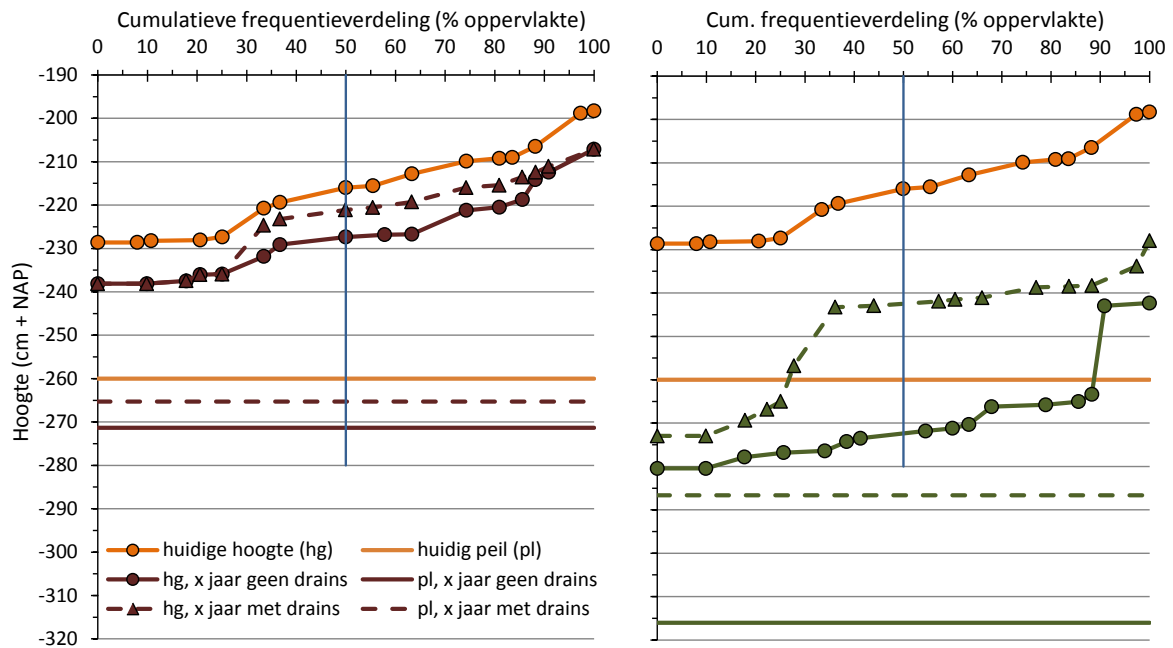
**Figuur 3.5** Gebiedsgemiddelde maaiveldhoogten van de negen deelgebieden in de droogleggings-klasse 'voldoet' (voor drains) en van deze klasse gemiddeld (Klassegem.), over de rekenperiode van vijftig jaar. Links de toekomstoptie zónder onderwaterdrains, rechts die mét onderwaterdrains. De maaiveldhoogten gelden aan het eind van elk decennium nadat de maaivelddaling van het decennium is doorgevoerd.

In de optie mét onderwaterdrains groeien de maaiveldhoogten van de deelgebieden zonder kleidek duidelijk zichtbaar naar elkaar toe: de standaardafwijking van de maaiveldhoogten is aan het begin 5 cm en na 50 jaar slechts 1,9 cm (4,6 cm met deelgebied 4). Deelgebied 4 met kleidek blijft aanvankelijk sterk achter bij de afname van de gemiddelde maaiveldhoogte maar na veertig jaar is het verschil gestabiliseerd op 12 cm.

Interessant detail van de vier grafieken van Figuren 3.2 en 3.5 is dat deelgebied 6 bijna samenvalt met het gemiddelde van de klasse. Deelgebied 6 ligt ook ongeveer in het midden van het gebied met drains in Peilvak 9 (Figuur 2.3).

### Frequentieverdeling van de maaiveldhoogten

Figuur 3.6 geeft de 'cumulatieve frequentieverdeling' van waarden van de maaiveldhoogte in de ruimte. Deze verdeling geeft aan in welk percentage van de gebiedsoppervlakte de maaiveldhoogten kleiner zijn dan of gelijk zijn aan een bepaalde waarde. In de linker grafiek van Figuur 3.6 is in 50% van de oppervlakte van het peilvak de huidige maaiveldhoogte kleiner dan of gelijk aan  $-216 \text{ cm} + \text{NAP}$ , en ligt in de andere 50% de maaiveldhoogte boven deze waarde.



**Figuur 3.6** Cumulatieve frequentieverdeling van de maaiveldhoogten in Peilvak 9 en bijbehorend slootpeil, voor de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains in de huidige situatie en in de situaties na 10 jaar (links:  $x = 10$ ) en na 50 jaar (rechts:  $x = 50$ ). De verticale blauwe lijn in het midden geeft de waarden van de mediaan.

Enkele zaken vallen op in Figuur 3.6. De linker grafiek maakt duidelijk dat in de toekomstoptie mét onderwaterdrains na tien jaar geen effect van onderwaterdrains te zien is bij de hoogste en de laagste maaiveldhoogten. Dit zijn de deelgebieden die in de huidige situatie niet voldoen voor onderwaterdrains omdat ze te laag of te hoog liggen voor drains. Dit is hiervoor al geconstateerd met Figuren 3.1 en 3.4. Na vijftig jaar (rechter figuur) liggen ook in de toekomstoptie mét onderwaterdrains de lage deelgebieden nog altijd laag, maar minder laag dan in de optie zónder drains.

Figuur 3.6-rechts laat ook zien dat in de toekomstoptie zónder onderwaterdrains na vijftig jaar de driedeling van het peilvak, in deelgebieden met juiste, te grote en te kleine maaiveldhoogten voor onderwaterdrains, is veranderd in een tweedeling. Dan heeft 88% van de oppervlakte een maaiveldhoogte tussen  $-2,80 \text{ m}$  en  $-2,60 \text{ m} + \text{NAP}$ . Deze hoogte komt dan overeen met een drooglegging van 36-53 cm, wat volgens de huidige criteria geschikt is voor onderwaterdrains. De overige 12% ligt zo'n 30 cm hoger met een drooglegging van 75 cm. Dit zijn de veenbodems met een kleidek die daardoor minder snel dalen. Het maximale verschil in maaiveldhoogte binnen het peilvak is in deze optie toegenomen van 30 cm naar 40 cm.

Ook in de toekomstoptie mét onderwaterdrains is, met het oog op de droogleggingscriteria voor toepassing van onderwaterdrains, na vijftig jaar een tweedeling in het peilvak ontstaan (Figuur 3.6-rechts). Geschikt voor onderwaterdrains is dan 70% van de oppervlakte met een drooglegging tussen 42-59 cm, die bestaat uit de deelgebieden die de onderwaterdrains bevatten en deelgebied 10 met kleidek dat oorspronkelijk te hoog gelegen was voor drains. Het grootste deel hiervan (60 procentpunten) is vrij vlak met een maaiveldhoogte rond  $-2,40 \text{ m} + \text{NAP}$ . De overige 10 procentpunten zijn de deelgebieden met een kleidek (4 en 10) die langzamer dalen. De resterende 28% van het peilvak is uitgesproken nat met een drooglegging van minder dan 30 cm, waarvan eenderde met een drooglegging kleiner dan 15 cm. Op een gegeven moment zal voor dit natte deel evenwicht bestaan tussen

**Tabel 3.1**

*Schattingen van de gemiddelde maaiveldhoogte (cm + NAP) van Peilvak 9 voor drie momenten bij geen en wel onderwaterdrains, en het verschil (cm) hiertussen. Er zijn twee schattingsmethoden gegeven: de mediaan en het areaalgewogen rekenkundig gemiddelde.*

Moment	Geen drains		Wel drains		Verschil als wel - geen drains	
	Mediaan	Gemiddelde	Mediaan	Gemiddelde	Mediaan	Gemiddelde
Huidig	-216	-216	-	-	-	-
na 10 jaar	-227	-226	-221	-222	6	4
na 50 jaar	-272	-270	-243	-247	29	23

de drooglegging en de maaiveldvaling die dan gelijke tred houdt met de maaiveldvaling in het deel met onderwaterdrains. Het maximale verschil in maaiveldhoogte is in deze optie toegenomen van 30 cm naar ruim 40 cm.

De mediaan uit Figuur 3.6 is een alternatief voor het areaalgewogen rekenkundige gemiddelde als schatter van de gemiddelde maaiveldhoogte van het peilvak. In Tabel 3.1 zijn waarden van beide schatters voor alle voorkomende situaties van Figuur 3.6 gegeven.

De effecten van onderwaterdrains op de gemiddelde maaiveldhoogte van het peilvak verschillen nogal tussen de twee schattingen: 29 cm tegen 23 cm verhoging na vijftig jaar. Dit verschil is het gevolg van het relatief geringe aantal waarden van vijftien (aantal deelgebieden). Bij gedetailleerdere informatie met meer deelgebieden zullen mediaan en gemiddelde dichter bij elkaar liggen. In onderhavig geval zal het werkelijke effect ergens tussen de twee schattingen in liggen, dus circa 26 cm verhoging zijn.

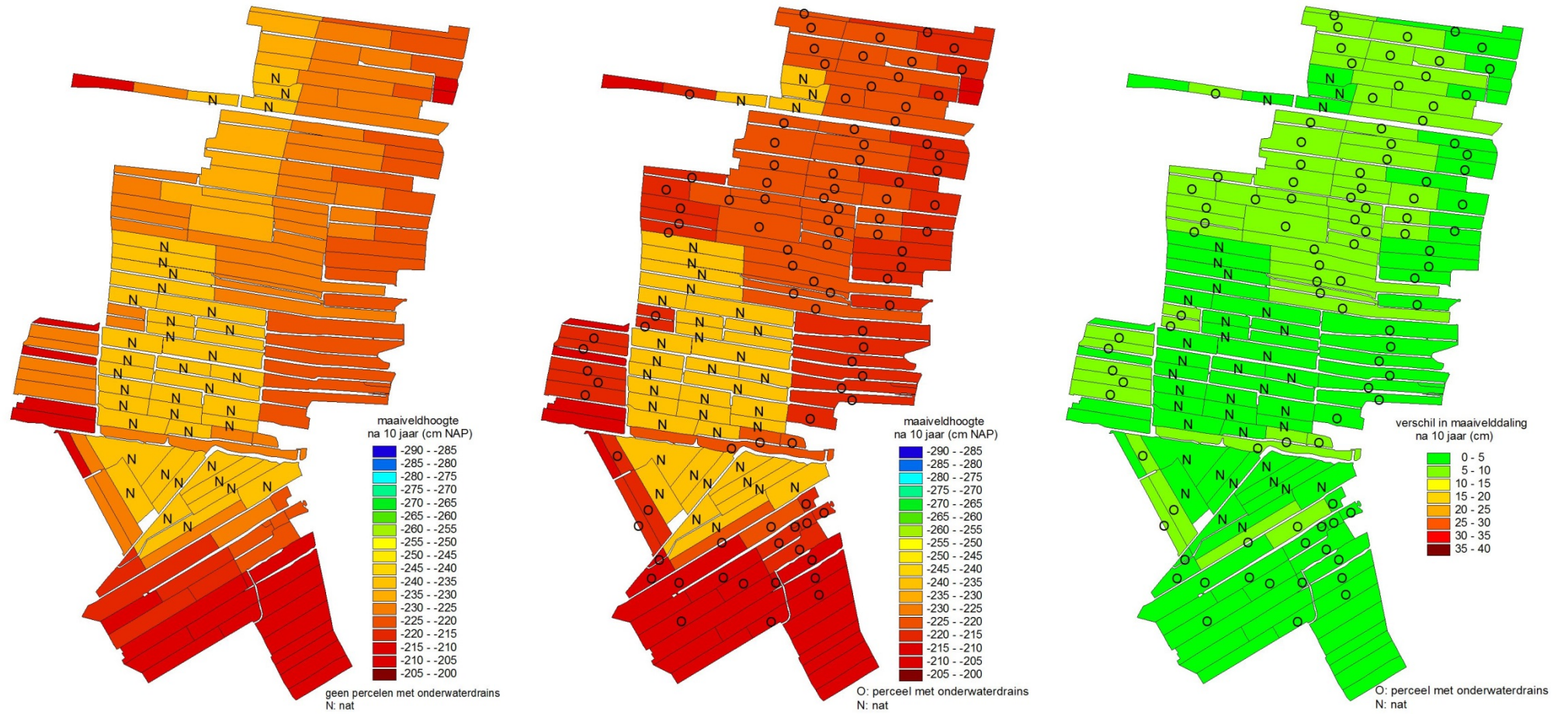
### **Ruimtelijk beeld na 10 en 50 jaar**

Figuur 3.7 toont kaarten van het peilvak met de maaiveldhoogte per deelgebied voor de toekomst-opties zonder en met onderwaterdrains en het verschil daartussen, na tien jaar en na vijftig jaar.

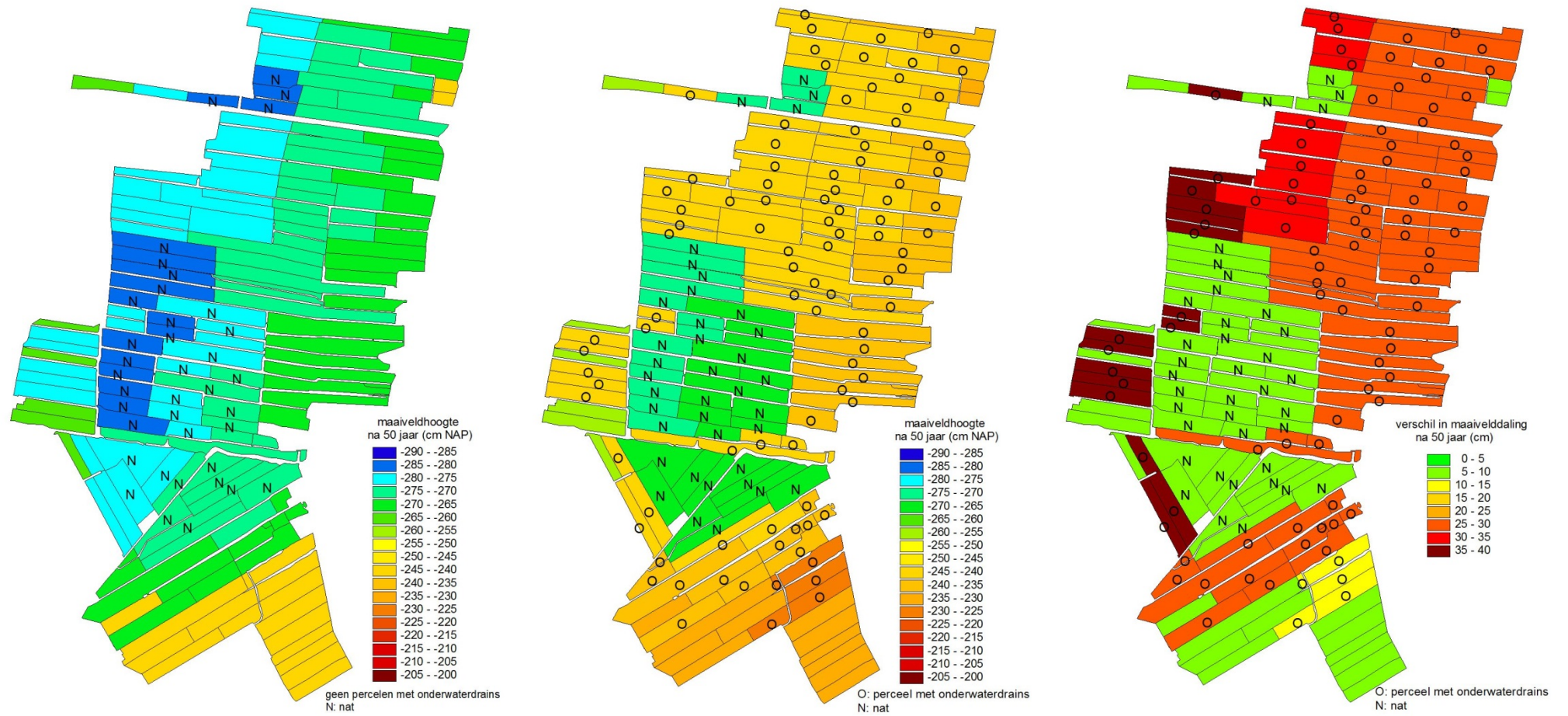
Na tien jaar zijn de verschillen in ruimtelijk patronen van de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains relatief gering. De kaart van de optie mét onderwaterdrains laat voor de deelgebieden die de onderwaterdrains bevatten (gemarkeerd met 'O') vooral in het noorden en midden-oosten wat meer donkere klassen met een hoger maaiveld zien.

Na vijftig jaar zijn de verschillen tussen de kaarten van de twee toekomstopties aanzienlijk met geheel verschillende dominante kleurklassen; links: blauw- en groentinten, midden: oranjetinten. Dat leidt in de verschillenkaart rechts tot overwegend rode kleuren: verschillen in maaiveldhoogte van 25-35 cm. Vooral in het uiterste westen zijn de verschilkleuren overwegend donkerrood. Uitzondering vormen de met 'N' gemarkeerde natte deelgebieden: hier vallen de verschillen in de groene klasse 5-10 cm, de maaiveldhoogten van de optie mét onderwaterdrains in de groene klassen van -275 tot -265 cm + NAP en de maaiveldhoogten van de optie zónder onderwaterdrains in de blauw tot blauwgroene klassen van -290 tot -270 cm + NAP.

De tweedeling van het peilvak voor maaiveldhoogten die voor beide toekomstopties zichtbaar is in de frequentieverdelingen van de maaiveldhoogten na vijftig jaar (Figuur 3.7) is ook terug te vinden in de kaarten van de twee toekomstopties. Een groen eiland in een oranje-gele zee bij de optie mét onderwaterdrains, en een geel schiereiland in een blauwgroene zee bij de optie zónder onderwaterdrains. Hoewel het bij de optie mét onderwaterdrains eerder gaat om een 'archipel' van drie met een 'N' gemarkeerde eilanden. De laag gelegen delen van deze optie vormen geen aaneengesloten gebied.



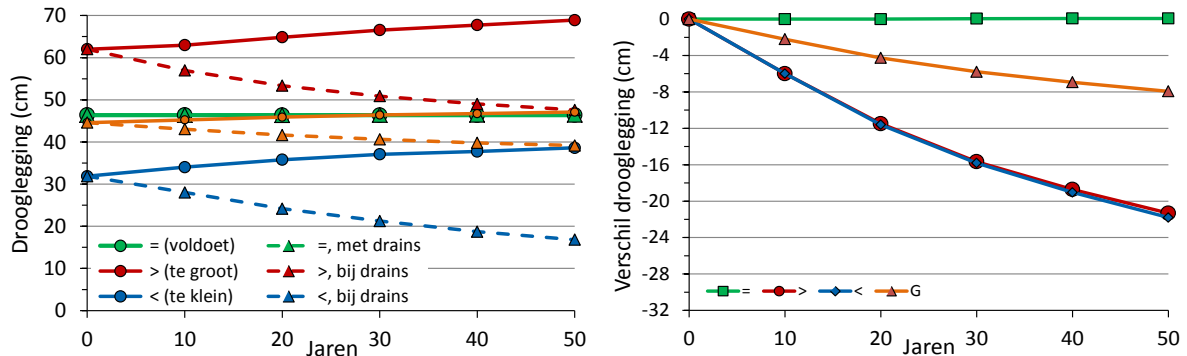
**Figuur 3.7.a** Ruimtelijk beeld van de maaiveldhoogte in Peilvak 9 na 10 jaar, in de toekomstopties zónder onderwaterdrains (links) en mét onderwaterdrains (midden), en het verschil tussen deze opties (rechts). Het verschil is weergegeven als 'met drains' - 'zonder drains' en is daarmee gelijk aan het verschil in maaivelddaling en ook als verschil in maaivelddaling weergegeven in de kaart. Grotere waarden van de verschillen betekenen dat met drains de maaiveldhoogte groter is. Betekenis van de symbolen is gegeven in de kaarten. Percelen zonder symbool in de kaarten midden en rechts zijn te droog voor drains, percelen met 'N' te nat.



**Figuur 3.7.b** Ruimtelijk beeld van de maaiveldhoogte in Peilvak 9 na 50 jaar, in de toekomstopties zónder onderwaterdrains (links) en mét onderwaterdrains (midden), en het verschil tussen deze opties (rechts). Het verschil is weergegeven als 'met drains' - 'zonder drains' en is daarmee gelijk aan het verschil in maaivelddaling en ook als verschil in maaivelddaling weergegeven in de kaart. Grotere waarden van de verschilklassen betekenen dat met drains de maaiveldhoogte groter is. Betekenis van de symbolen is gegeven in de kaarten. Percelen zonder symbool in de kaarten midden en rechts zijn te droog voor drains, percelen met 'N' te nat.

### 3.1.3 Drooglegging

Figuur 3.8 toont het verloop in de tijd van de drooglegging als absolute waarden voor de toekomstopties zonder en met onderwaterdrains, en als de verschillen daartussen. Onderscheid is gemaakt tussen het gemiddelde van het peilvak en de drie droogleggingsklassen van deelgebieden waarvan de drooglegging voldoet voor onderwaterdrains, of te groot of te klein is voor onderwaterdrains.



**Figuur 3.8** Verloop in de tijd van de areaalgewogen gemiddelde drooglegging van de drie droogleggingsklassen van deelgebieden en van Peilvak 9 (gemiddeld). Links: absoluut, de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains; rechts: het verschil tussen de opties zónder en mét onderwaterdrains. De symbolen met omschrijving geven aan of de drooglegging van de klasse geschikt is voor onderwaterdrains of niet:

Voldoet = drooglegging is geschikt voor onderwaterdrains;

Te groot = drooglegging is te groot voor drains;

Te klein = drooglegging is te klein en weiden zijn te nat voor drains.

Voor beide toekomstopties geldt dat bij droogleggingsklasse 'voldoet' de gemiddelde drooglegging van de deelgebieden constant op 46,4 cm blijft, omdat het slootpeil aan de gemiddelde maaiveldddaling van deze klasse wordt aangepast.

#### Toekomstoptie zónder onderwaterdrains

Bij droogleggingsklassen 'te groot' en 'te klein' neemt zonder onderwaterdrains de drooglegging toe. De oorzaak hiervan is dat de maaiveldddaling van de deelgebieden van deze klassen achterblijft bij die van klasse 'voldoet' en dus bij de peilverlaging. De gemiddelde drooglegging van het peilvak blijft zonder drains vrijwel constant in de tijd en nagenoeg gelijk aan de gemiddelde drooglegging van klasse 'voldoet'.

#### Toekomstoptie mét onderwaterdrains

In de optie met onderwaterdrains neemt de drooglegging van de twee klassen 'te groot' en 'te klein' die geen drains bevatten af. De deelgebieden van deze twee klassen dalen dan sneller dan die van de klasse mét drains. Ze worden daardoor steeds natter. Door deze afname van de drooglegging in de tijd neemt ook de gemiddelde drooglegging van het peilvak af in de tijd. Figuur 3.8-rechts laat echter ook zien dat de afname van de drooglegging in de tijd steeds kleiner wordt. Op een gegeven moment na de simulatieperiode van vijftig jaar zal de drooglegging van een deelgebied zónder drains zo klein zijn dat de maaiveldddaling net zo gering is als die van klasse 'voldoet' mét drains. Er bestaat dan een (wankel) evenwicht tussen maaiveldddaling en peilaanpassing waardoor de drooglegging constant blijft.

#### Effecten van onderwaterdrains

In vijftig jaar verkleinen onderwaterdrains de drooglegging van de deelgebieden die géén onderwaterdrains bevatten met 22 cm ten opzichte van de optie zónder onderwaterdrains. Ten opzichte van de huidige situatie verkleinen drains de drooglegging van deze deelgebieden met circa 15 cm. Bij droogleggingsklasse 'te groot' is de gemiddelde drooglegging van de deelgebieden dan gelijk aan die van klasse 'voldoet'. Na tien jaar met onderwaterdrains is de drooglegging van de twee deelgebieden



---

van klasse 'te groot' kleiner dan 60 cm. Deze deelgebieden voldoen dan aan het criterium voor toepassen van onderwaterdrains.

### **Ruimtelijk beeld na 10 en 50 jaar**

Figuur 3.9 bevat kaarten van het peilvak met de drooglegging per deelgebied voor de toekomstopties zonder en met onderwaterdrains en het verschil daartussen, na tien jaar en na vijftig jaar.

Van deze kaartbeelden van de drooglegging is het meest opvallend en het meest afwijkend van de kaartbeelden van maaiveldvaling en maaiveldhoogte dat ze een relatief grote onderlinge uniformiteit laten zien. Dit geldt voor de twee toekomstopties onderling en voor de twee tijdsmomenten - na tien jaar en na vijftig jaar - onderling. Dit is niet verwonderlijk omdat het peilbeheer in Peilvak 9 en in de meeste veenweiden een mechanisme in zich heeft om het oorspronkelijke droogleggingspatroon te continueren, zowel in de tijd als bij toepassing van onderwaterdrains. Dat mechanisme is de voortdurende aanpassing van het peil aan het gedaalde maaiveld.

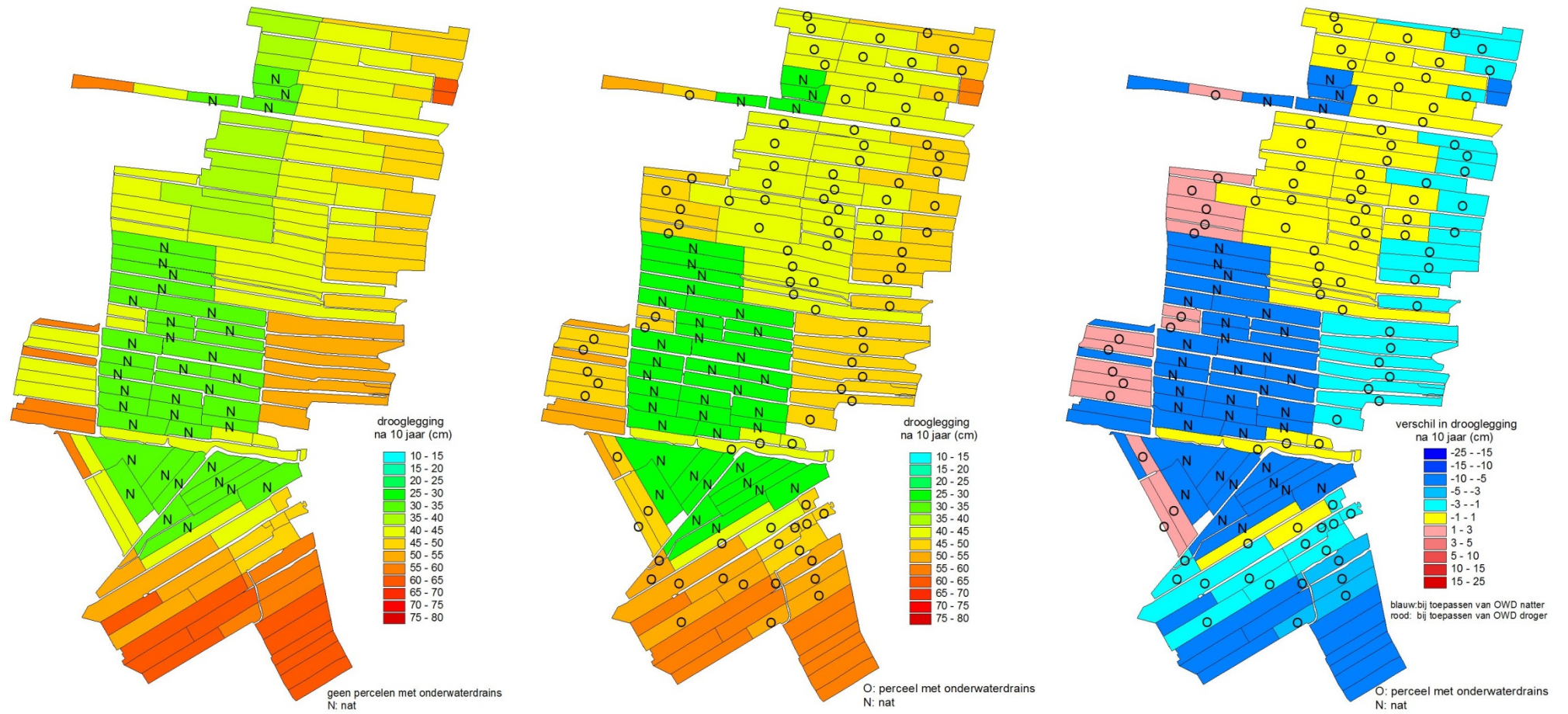
Omdat deze peilaanpassing is aan de maaiveldvaling van de deelgebieden 1-9 van de droogleggingsklasse 'voldoet' die de onderwaterdrains bevatten in de toekomstoptie met drains (gemarkeerd met 'O') vertonen vooral deze deelgebieden de grootste continuïteit in drooglegging. De vier kaarten van Figuren 3.9a en 3.9b, links en midden, laten voor deze deelgebieden nagenoeg dezelfde kleuren dus klassen van drooglegging zien. Hetzelfde geldt voor de twee verschilkaarten (rechts) van Figuren 3.9a en 3.9b.

De verschillen tussen de twee toekomstopties en tussen de twee tijdsmomenten, zitten vooral in de deelgebieden van de droogleggingsklassen 'te groot' en 'te klein' die in de optie mét onderwaterdrains géén drains bevatten. In de toekomstoptie zónder onderwaterdrains verschuift in de periode van decennium 1 naar decennium 5 de drooglegging van deze twee droogleggingsklassen met één tot twee klassen naar de drogere klassen. De drooglegging neemt in deze deelgebieden toe naarmate het maaiveld meer daalt.

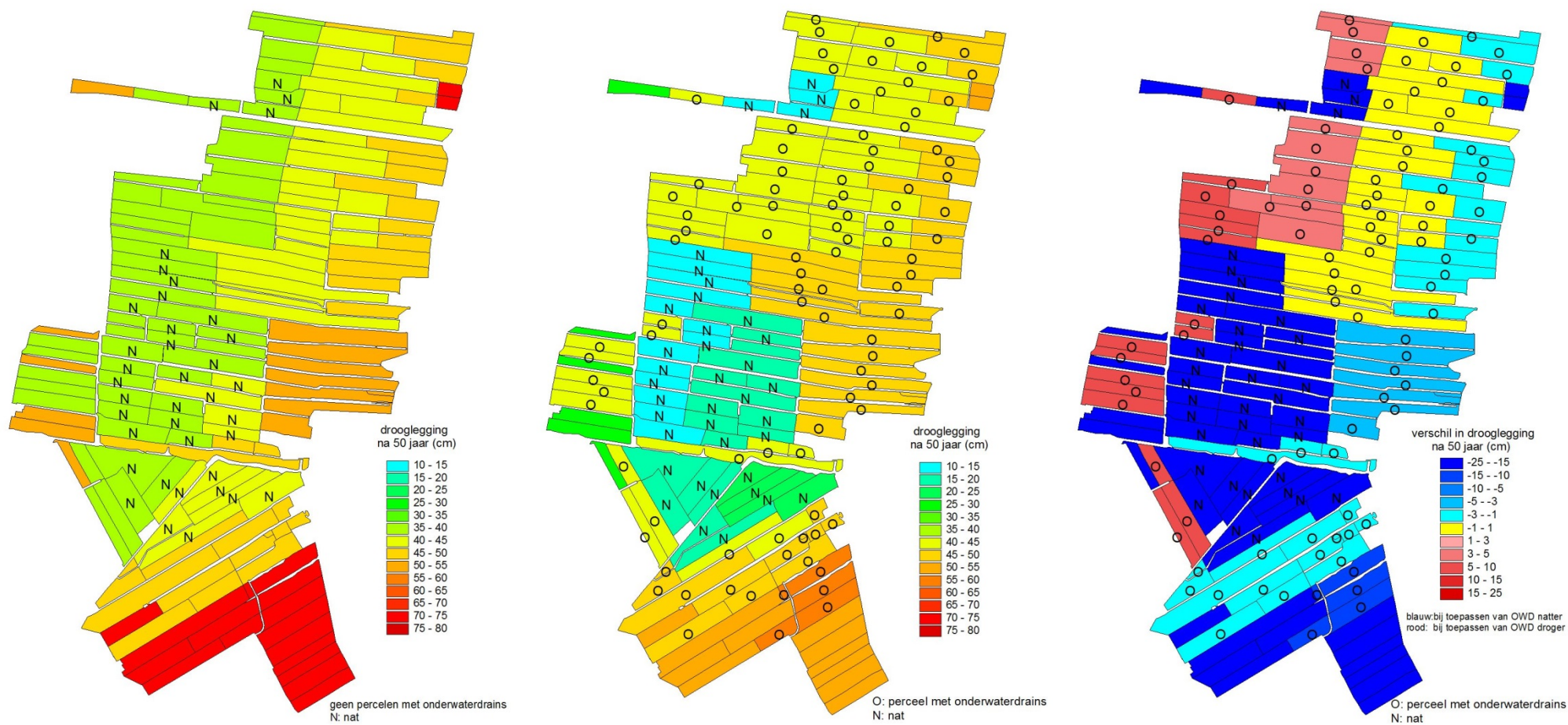
In de toekomstoptie mét onderwaterdrains gebeurt het omgekeerde: in de periode van decennium 1 naar decennium 5 verschuift de drooglegging van deze twee droogleggingsklassen met één tot twee klassen naar de nattere klassen. Naarmate het maaiveld verder daalt neemt de drooglegging in deze deelgebieden af.

De kaarten met verschillen tussen beide toekomstopties tonen voor de twee droogleggingsklassen 'te groot' en 'te klein' een vergelijkbaar beeld. Na tien jaar zijn de deelgebieden van deze klassen in de optie mét onderwaterdrains een stuk natter dan in de optie zónder drains: een verschuiving in drooglegging van 5-10 cm of één tot twee klassen naar de natte kant. Na vijftig jaar is dat beeld vergelijkbaar maar veel sterker. Omdat de twee toekomstopties voor deze deelgebieden in de tijd juist nagenoeg evenveel in tegengestelde richting groeien, is de verschuiving in drooglegging dan ongeveer twee keer zo groot en in de orde van 10-20 cm of twee tot vier klassen naar de natte kant.

Opmerkelijk is verder de toename van de drooglegging in de deelgebieden mét onderwaterdrains aan de westrand van het peilvak door toepassing van onderwaterdrains. Na tien jaar onderwaterdrains is deze toename in de orde van 1-3 cm (één klasse) en na vijftig jaar in het middenwesten (deelgebied 9) tot 5-10 cm (drie klassen). Deelgebied 9 is het deelgebied dat in de optie zónder onderwaterdrains de grootste maaiveldvaling heeft (Figuur 3.3) door de grote wegzijging als gevolg van de kleinste stijghoogte van het diepe grondwater (Figuur 2.2).



**Figuur 3.9.a** Ruimtelijk beeld van de drooglegging in Peilvak 9 na 10 jaar, in de toekomstopties zónder onderwaterdrains (links) en mét onderwaterdrains (midden), en het verschil tussen deze opties (rechts). Het verschil is: 'met drains' – 'zonder drains'. Grotere waarden van de verschillen beteken dat met onderwaterdrains de drooglegging groter is. Betekenis van de symbolen in de percelen is gegeven in de kaarten. Percelen zonder symbol in de kaarten midden en rechts zijn te droog voor drains, percelen met 'N' zijn te nat.



**Figuur 3.9.b** Ruimtelijk beeld van de drooglegging in Peilvak 9 na 50 jaar, in de toekomstopties zónder onderwaterdrains (links) en mét onderwaterdrains (midden), en het verschil tussen deze opties (rechts). Het verschil is: 'met drains' – 'zonder drains'. Grotere waarden van de verschilklassen betekenen dat met onderwaterdrains de drooglegging groter is. Betekenis van de symbolen in de percelen is gegeven in de kaarten. Percelen zonder symbool in de kaarten midden en rechts zijn te droog voor drains, percelen met 'N' zijn te nat.

---

### 3.1.4 Samenhang op deelgebiedsniveau

Figuur 3.10 toont de situatie van de drie grootheden maaiveldddaling, maaiveldhoogte en drooglegging gezamenlijk voor alle afzonderlijke deelgebieden en gemiddeld voor het peilvak aan het einde van de vijftigjarige rekenperiode. Het doel van het figuur is om inzichtelijk te maken hoe voor de drie grootheden de onderlinge samenhang is op deelgebiedsniveau en op droogleggingsklasseniveau ten opzichte van het peilvakgemiddelde, voor de toekomstopties zonder en met onderwaterdrains na vijftig jaar.

#### **Maaiveldddaling**

Duidelijk is te zien dat in de toekomstoptie mét onderwaterdrains de maaiveldddaling van de deelgebieden 1-9 die de drains bevatten na vijftig jaar ongeveer is gehalveerd ten opzichte van de toekomstoptie zónder drains; bij deelgebieden 10-15 waarin geen drains liggen is de maaiveldddaling in deze situatie met ongeveer 8 cm afgenomen. De maaiveldddaling van deelgebieden 1-9 ligt in de optie mét onderwaterdrains (ver) onder de gemiddelde waarde van het peilvak van 32 cm. In de optie zónder drains ligt de maaiveldddaling van de meeste van de deelgebieden 1-9 boven het gemiddelde van 53 cm. Voor de deelgebieden 12-15 met een te geringe drooglegging voor onderwaterdrains is de situatie omgekeerd: in de optie zónder drains liggen ze onder het gemiddelde, maar in de optie mét drains liggen ze (fors) boven het gemiddelde.

In de toekomstoptie zónder onderwaterdrains vertonen deelgebieden 4 en 10, met kleidek, de geringste maaiveldddaling, en deelgebieden 9 en 11, met de grootste wegzijging, de grootste maaiveldddaling. In de optie mét drains geldt het eerste nog voor deelgebied 4 (door de drains) en niet meer voor deelgebied 10, en geldt het tweede niet meer voor deelgebied 9 (dankzij de drains) maar wel nog voor deelgebied 11. De drains handhaven bij deelgebied 4 dus een gunstige toestand (kleine maaivelddalingsnelheid) en bij deelgebied 9 veranderen ze een ongunstige toestand (grote maaivelddalingsnelheid) in een gunstige.

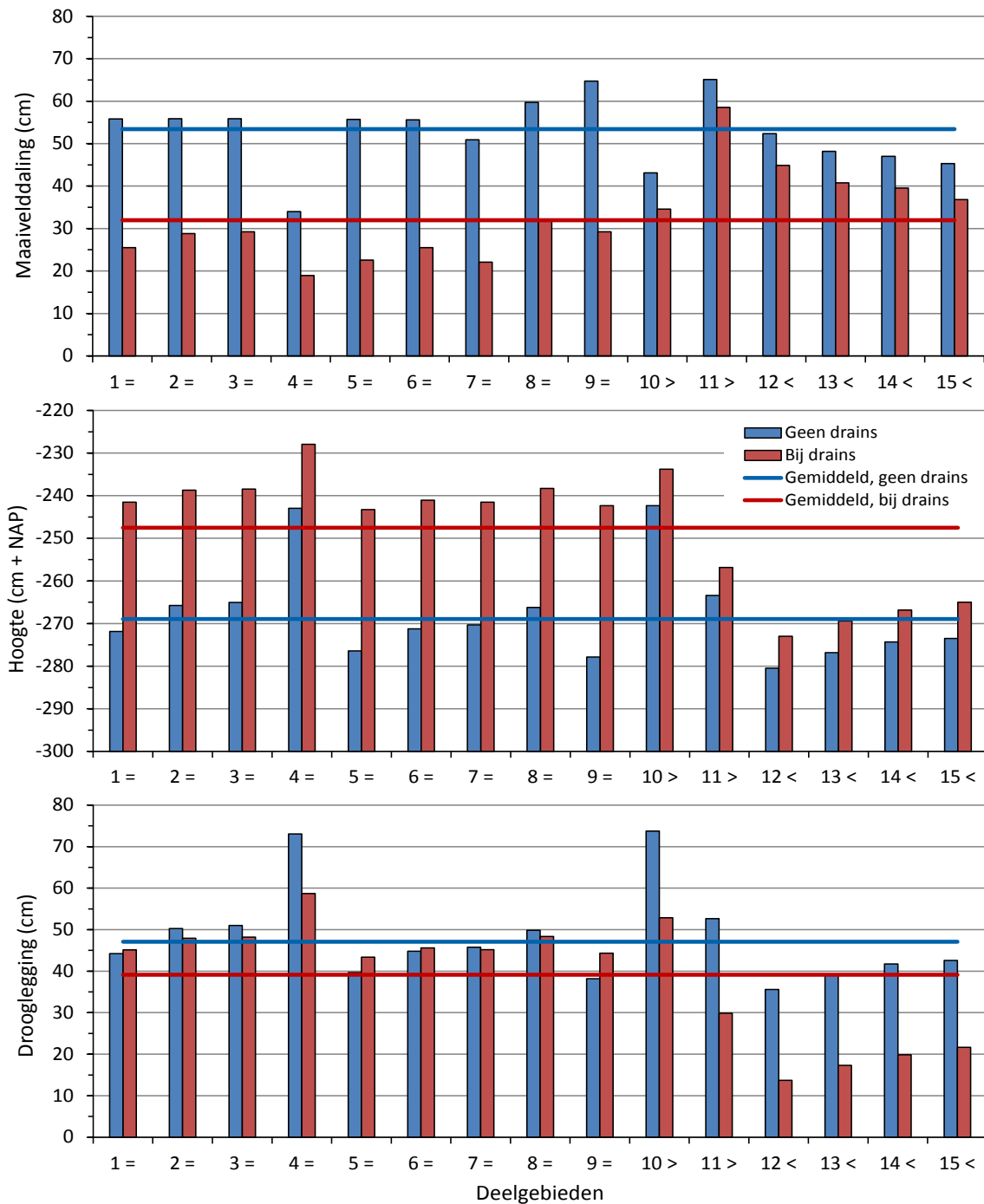
#### **Maaiveldhoogte**

De gemiddelde maaiveldhoogte in het peilvak is in de toekomstoptie zónder onderwaterdrains -270 cm + NAP en in de optie mét drains -247 cm + NAP. De deelgebieden 1-9 van de droogleggingsklasse 'geschikt voor drains' liggen in de optie mét drains boven het gemiddelde en in de optie zónder drains meestal onder het gemiddelde. De hoogste deelgebieden zijn, in de optie mét en in de optie zónder drains, de twee met een kleidek, 4 en 10. De laagste deelgebieden zijn, in de optie mét en in de optie zónder drains, 12-15 van droogleggingsklasse 'te klein' die aan het begin van de rekenperiode te nat zijn voor onderwaterdrains. Zij liggen altijd onder het gemiddelde van het peilvak.

#### **Drooglegging**

In de toekomstoptie mét onderwaterdrains is de gemiddelde drooglegging van het peilvak met 8 cm verlaagd ten opzichte van de optie zónder drains. Deze verlaging komt volledig op het conto van de deelgebieden 10-15 van droogleggingsklasse 'te klein' die aan het begin van de rekenperiode ongeschikt zijn bevonden voor drains. Deze ongeschiktheid is na vijftig jaar voor sommige deelgebieden veranderd: deelgebied 10 in de optie mét drains (maar niet in de optie zónder drains) en deelgebied 11 in de optie zónder drains zijn onder de bovengrens van de drooglegging van 60 cm komen te liggen. In de optie mét drains is deelgebied 11 onder de ondergrens van de drooglegging van 35 cm geschoten. Daarmee is dit deelgebied te nat geworden voor onderwaterdrains. Dit had kunnen worden voorkomen door in een eerder stadium drains toe te passen in dit deelgebied.

In de toekomstoptie zónder onderwaterdrains zijn de aanvankelijk te natte deelgebieden 12-15 zoveel droger geworden dat hun drooglegging boven de ondergrens voor toepassen van drains van 35 cm ligt. In de optie mét drains is de drooglegging van deze deelgebieden zeer klein geworden: minder dan 13-21 cm. Toepassing van onderwaterdrains aan het begin van de rekenperiode had hun relatief geringe maaiveldddaling verder verkleind en daarmee hun drooglegging vergroot, waardoor ze uiteindelijk aan het criterium van minimale drooglegging van 35 cm hadden voldaan en geschikt waren geworden voor drains.



**Figuur 3.10** De eindsituatie na vijftig jaar voor de vijftien deelgebieden in Peilvak 9 en gemiddeld voor het peilvak, in de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains.  
 Boven: totale maaiveldddaling; midden: maaiveldhoogte; beneden: drooglegging.  
 Deelgebieden 4 en 10 = weideveen (met kleidek); overige deelgebieden = koopveen (zonder kleidek).  
 De symbolen met omschrijving geven aan of de drooglegging van de klasse geschikt is voor onderwaterdrains of niet:  
 = : drooglegging is geschikt voor onderwaterdrains;  
 > : drooglegging is te groot voor drains;  
 < : drooglegging is te klein en weiden zijn te nat voor drains.

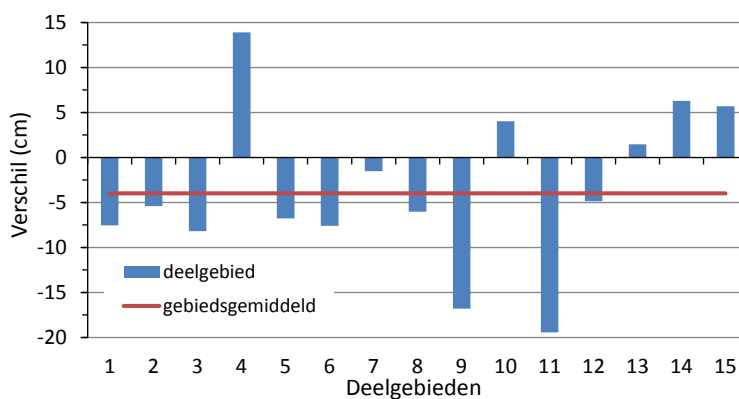
## 3.2 Historische maaiveldaling

Deze paragraaf geeft en bespreekt de resultaten van de modelberekeningen van de 'historische maaiveldaling'. Deze berekeningen zijn gedaan om na te gaan of de gebruikte methode om de toekomstige maaiveldaling te berekenen realistische resultaten geeft en dus verantwoord is.

### Resultaten berekeningen

De modelberekeningen van de historische maaiveldhoogten voor de periode 1961-2010 geven als uitkomst een gebiedsgemiddelde maaiveldhoogte van Peilvak 9 van -220 cm + NAP in 2010. De historische beginmaaiveldhoogte in 1961 is geschat op -176 cm + NAP. De berekende historische maaiveldaling bedraagt derhalve 44 cm in 50 jaar of gemiddeld 8,8 mm per jaar. De gebiedsgemiddelde maaiveldhoogte van Peilvak 9 in 2010 zoals afgeleid uit het AHN2 bedraagt -216 cm + NAP ('huidig' in Tabel 3.1). Dit impliceert een historische maaiveldaling van 40 cm in 50 jaar of gemiddeld 8 mm per jaar.

Dit betekent dat de historische maaiveldaling met  $(44 - 40) / 40 * 100\% = 10\%$  is overschat in de modelberekeningen. Dat is op zich een zeer acceptabel resultaat, vooral gezien het doel van de studie. Daaruit kan worden geconcludeerd dat de gevolgde methode realistische resultaten geeft voor de gebiedsgemiddelde maaiveldaling van Peilvak 9.



**Figuur 3.11** Verschil in maaiveldhoogte van de deelgebieden van Peilvak 9 tussen de modeluitkomsten en het AHN2 in 2010 (positief betekent dat de modeluitkomst te hoog is). De rode lijn geeft het gebiedsgemiddelde verschil.

Op het niveau van de deelgebieden zijn de verschillen echter groter. Dat is te zien in Figuur 3.11 waarin de verschillen in maaiveldhoogte in 2010 tussen de modelberekeningen en het AHN2 per deelgebied zijn gegeven. Er zijn deelgebieden met een te kleine berekende maaiveldhoogte en deelgebieden met een te grote berekende maaiveldhoogte. Deze compenseren elkaar gedeeltelijk tot een fout in de gebiedsgemiddelde maaiveldhoogte van -4 cm. Te grote maaiveldhoogte - of te kleine maaiveldaling - in de berekeningen komt vooral voor bij de twee deelgebieden met een kleidek, 4 en 10. Andere deelgebieden met een te hoog maaiveld en dus te kleine maaiveldaling volgens het model zijn opvallend genoeg de nattere deelgebieden 13 tot en met 15. Voor de meerderheid van de deelgebieden berekent het model een te kleine maaiveldhoogte of te grote maaiveldaling. Opvallend is dat de grootste overschatting van de maaiveldaling hoort bij de twee deelgebieden 9 en 11 die samen de meest westelijke rand van het peilvak vormen.

Voor de afwijkingen zijn verschillende verklaringen op het gebied van metingen en modelberekeningen te geven. Deze worden verder besproken in Hoofdstuk 6, 6.1 Discussie.

### Conclusie over de resultaten

Uit de resultaten van de berekeningen van de historische maaiveldaling volgt dat, gezien het globale doel en de randvoorwaarden van de studie, de modelberekeningen van de toekomstige maaiveldalingen voldoende nauwkeurig zijn en dus verantwoord binnen deze studie.

---

## 4 Resultaten waterkwantiteit

In dit hoofdstuk worden de resultaten besproken van de modelberekeningen van de effecten van onderwaterdrains op waterkwantiteitsaspecten. Hiervoor zijn twee soorten scenario's doorgerekend en geanalyseerd: de scenario's van de twee vijftigjarige toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains (paragraaf 4.1) en scenario's van een kortdurende extreme bui (paragraaf 4.2).

### 4.1 Toekomstopties

Van de simulatieperiode zijn de effecten van onderwaterdrains op de wateruitwisseling tussen veenbodem en oppervlaktewater geanalyseerd, en de gevolgen daarvan voor de inlaat en bemaling van water in en uit het peilvak (subparagraaf 4.1.1). Verder is geanalyseerd wat onderwaterdrains betekenen voor het optreden van wateroverlast in het peilvak (subparagraaf 4.1.2).

#### 4.1.1 Infiltratie en drainage, en inlaat en bemaling

Bij het analyseren van de waterbalans van Peilvak 9 moeten twee processen goed voor ogen worden gehouden, processen die onderling zijn verweven:

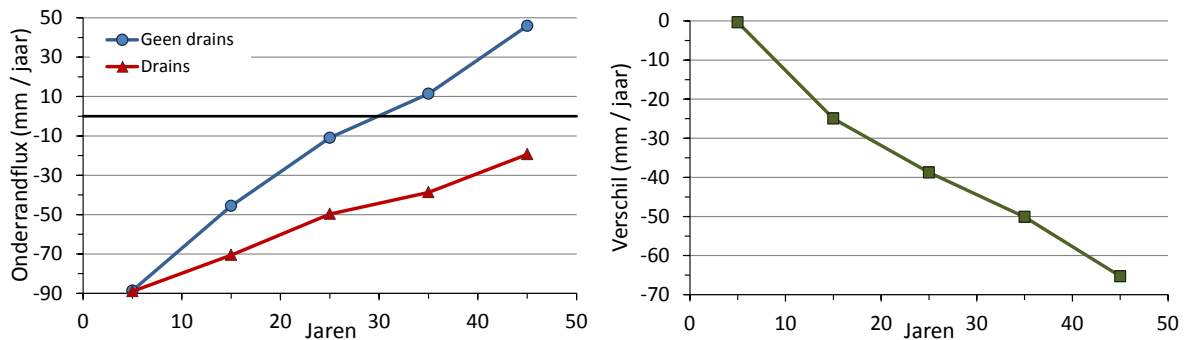
1. De ontwikkeling van de waterbalans in de toekomst onder invloed van de maaiveldddaling;
2. Het effect van onderwaterdrains op deze ontwikkeling en in algemene zin op de termen van de waterbalans.

##### 1. Waterbalans en maaiveldddaling

Door de voortdurende maaiveldddaling en het aanpassen van het slootpeil daaraan zakt de grondwater-spiegel in absolute zin steeds dieper. Het potentiaalverschil met de stijghoogte van het diepe grondwater in het 1<sup>e</sup>-watervoerende-pakket wordt daardoor steeds kleiner. Hierdoor neemt de wegzijgingsintensiteit af, of slaat het potentiaalverschil zelfs om van richting en verandert wegzijging in kwel. Dit is te zien in Figuur 4.1 voor beide toekomstoptie. In de optie zónder onderwaterdrains is 89 mm wegzijging per jaar na veertig jaar omgeslagen naar 46 mm kwel per jaar; een 'afname van de wegzijging' met 152%. Gemiddeld is deze afname van de wegzijgingsintensiteit 3,2 mm per jaar. Gemiddeld over de vijftigjarige simulatieperiode bedraagt de wegzijgingsintensiteit in de optie zónder onderwaterdrains 18 mm per jaar.

Onbekend hierbij is hoe de ontwikkeling van de stijghoogte in de toekomstige tijd is. Door de afname van de wegzijging in het peilvak en in de omgeving door peilverlagingen, daalt de stijghoogte zelf ook. Dit heeft een dempend effect heeft op de afname van de wegzijging. Hoe groot dit effect is en in algemene zin de verandering van de stijghoogte hangt van veel, vooral externe factoren af. Hierop wordt ingegaan in de discussie van hoofdstuk 6 en in Bijlage 3. In de modelberekeningen zijn de stijghoogtenreeksen van Figuur B1.3-gecorrigeerd (Bijlage 1) gebruikt die zijn gebaseerd op de historische stijghoogten van de periode 1961-2010. In deze reeksen is een gemiddelde daling van de stijghoogte van 7 cm in veertig jaar tijd besloten. Dit is een daling die in de orde van grootte ligt van de verwachte daling ten gevolge van meer water uitmalen uit het peilvak en uit de omliggende veenweidegebieden.

Tabellen 4.1 en 4.2 geven voor de vijf decennia en voor de gehele rekenperiode de drainage- en infiltratiefluxen (Tabel 4.1) en de bemalings- en inlaatdebieten (Tabel 4.2) voor de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains, en de verschillen daartussen. Omdat de neerslagoverschotten van de decennia onderling enorm verschilden, tot maximaal een factor 1,9 tussen het eerste en tweede decennium (Tabel 4.1), waardoor zij het algemene beeld vertroebelden, zijn de resultaten van de genoemde vier grootheden gecorrigeerd voor neerslagoverschot. De manier waarop dat is gedaan, is uitgelegd in Bijlage 3, B3.2. Daarin zijn tevens de niet-gecorrigeerde resultaten van de decennia en van alle vijftig afzonderlijke jaren opgenomen. Drainage staat hier voor het geheel aan afvoer van water vanaf /vanuit de bodem naar het oppervlaktewater: oppervlakte afstroming en sloot-, greppel- en buisdrainage.



**Figuur 4.1** Verloop in de tijd van de areaalgewogen gemiddelde onderrandflux voor de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains (links) en het verschil daartussen (rechts) in Peilvak 9. De fluxen zijn de netto jaargemiddelden van de vijf decennia. Ze zijn uitgedrukt in mm waterschijf op basis van de totale oppervlakte: land plus water. Positief is kwel, negatief is wegzijging.

Tabel 4.1 laat voor beide toekomstopties het gevolg zien van de afname van de wegzijgingsintensiteit op de wateruitwisseling tussen veenbodem en oppervlaktewatersysteem: de drainagefluxen nemen in de tijd van decennium d1 tot decennium d5 toe met 36% (zonder drains) en 24% (met drains) en de infiltratiefluxen nemen in deze tijd af met -29% en -2%. Omdat is gecorrigeerd voor neerslagoverschot zijn deze toe- en afnamen alleen toe te schrijven aan de in de tijd afnemende wegzijging.

**Tabel 4.1**

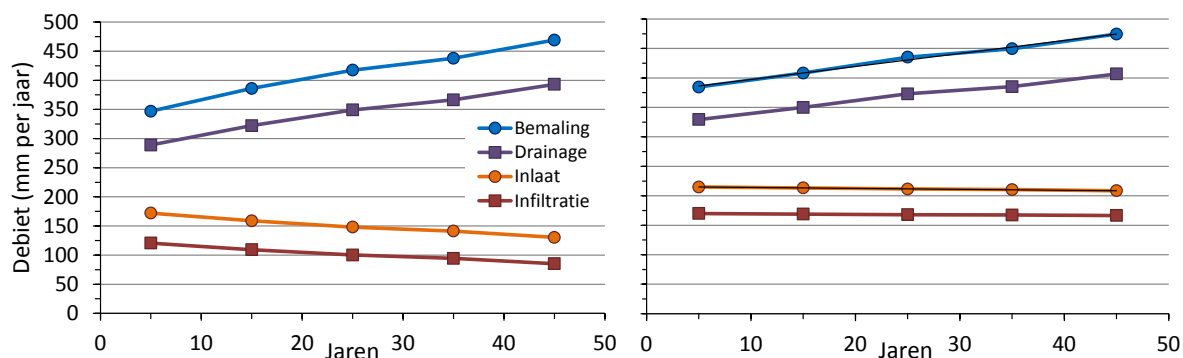
*Areaalgewogen gemiddelde drainage- (drain.) en infiltratie- (infil.) hoeveelheden van Peilvak 9, voor de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains, en het verschil daartussen. Waarden zijn de totalen van de vijf decennia en van de vijftigjarige periode, en het vijftigjarige jaargemiddelde (P = neerslag; E<sub>pot</sub> = potentiële evapotranspiratie). De waarden zijn uitgedrukt in mm waterschijf op basis van de totale oppervlakte: land plus water. Waarden zijn gecorrigeerd voor neerslagoverschot volgens Bijlage 3.*

Periode / decennium (jaren)	P - E <sub>pot</sub> (mm)	Zonder drains		Met drains		Verschil: met drains - zonder drains									
		drain. (mm)	infil. (mm)	drain. (mm)	infil. (mm)	drain. (mm)	infil. (mm)	drain. (%)	infil. (%)						
d1 1-10	2653	2889	1207	3294	1699	405	492	14	41						
d2 11-20	1399	3223	1093	3499	1690	276	597	9	55						
d3 21-30	1843	3491	1002	3731	1680	240	678	7	68						
d4 31-40	2425	3664	943	3853	1674	189	731	6	78						
d5 41-50	2051	3932	852	4067	1665	136	813	3	95						
Verschil d5 - d1	-	104	36%	-355	-29%	773	24%	-34	-2%	-269	-66%	321	65%	-	-
Som 50	10371	17198	5097	18444	8408	1246	3311	7	65						
Gemiddeld 50	207	344	102	369	168	25	66	7	65						

Tabel 4.2 toont voor beide toekomstopties de bemalings- en inlaatdebieten. De veenbodem is door het 6,5 keer zo grote landoppervlakte als het wateroppervlakte de belangrijkste bron en put van water voor het oppervlaktewatersysteem. Bemaling en inlaat van water worden dan ook voor het grootste deel bepaald door drainage vanuit en infiltratie in de veenbodem, en minder door de directe neerslag op en verdamping en wegzijging uit het oppervlaktewater. Tabel 4.2 en Figuur 4.2 laten dan ook een sterk verband zien tussen bemalingsdebieten en drainagefluxen en tussen inlaatdebieten en infiltratiefluxen.

Lijnen van bemaling en drainage, en van inlaat en infiltratie lopen nagenoeg parallel. De bovenste lijnen zijn steeds die van bemaling en inlaat: het verschil tussen elk lijnenpaar is het totaal van de directe termen (neerslag, verdamping, wegzijging) op/uit het oppervlaktewater. Omdat drainage en infiltratie in de tijd respectievelijk een toenemende en een afnemende trend laten zien, vertonen bemaling en inlaat eveneens een toenemende en een afnemende trend.





**Figuur 4.2** Verloop in de tijd van de areaalgewogen gemiddelde bemalings- en inlaatdebieten, en drainage- en infiltratiefluxen voor de toekomstopties zónder onderwaterdrains (links) en mét onderwaterdrains (rechts) in Peilvak 9. Debieten en fluxen zijn de jaargemiddelden van de vijf decennia. Ze zijn uitgedrukt in mm op basis van de totale oppervlakte (land + water). Het gaat om de gecorrigeerde waarden (zie Bijlage 3).

De relatieve toename van de bemalingsdebieten van decennium d1 naar d5 bedraagt 35% (zónder) en 23% (mèt drains) en de afname van de inlaatdebieten 24% en 3%. Voor de bemaling is dat één procentpunt minder dan de relatieve toename van de drainagefluxen. Een verschil dat wordt veroorzaakt door de neerslag direct op het oppervlaktewater die ook moet worden uitgemalen, maar die niet wordt beïnvloed door de afnemende wegzijging. Voor de inlaatdebieten is dat 5 procentpunten minder dan de relatieve toename van de infiltratiefluxen in de optie zonder drains en één procentpunt minder in de optie met drains. Hier gaat het om de invloed van de verdamping direct uit het oppervlaktewater, die ook niet wordt beïnvloed door de afnemende wegzijging.

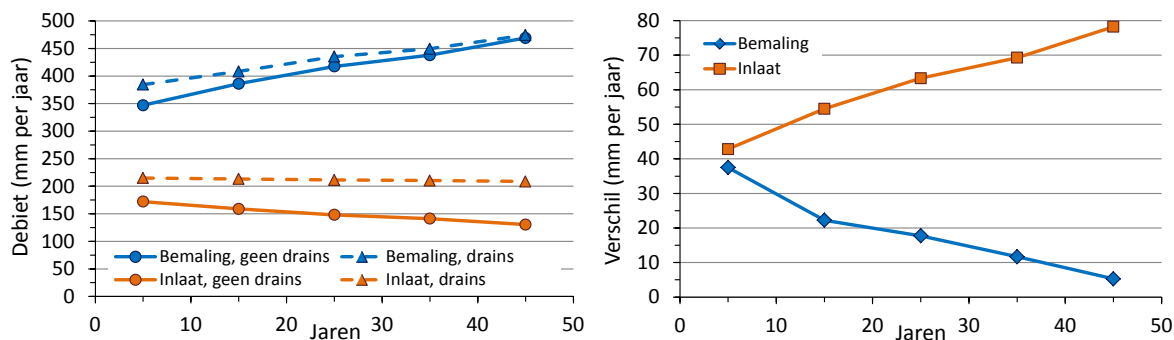
**Tabel 4.2**

*Bemalings- en inlaathoeveelheden, en uren malen voor de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains en het verschil daartussen in Peilvak 9, als totalen van de vijf decennia en van de vijftigjarige periode, en als het vijftigjarige gemiddelde (Gem. 50). De waarden zijn uitgedrukt in mm waterschijf op basis van de totale oppervlakte: land plus water. Waarden zijn gecorrigeerd voor neerslagoverschot volgens Bijlage 3.*

Periode	Zonder drains			Met drains			Verschil: met drains - zonder drains					
	bemaling		inlaat	bemaling		inlaat	bemaling		inlaat			
decennium	(mm)	(uren)	(mm)	(mm)	(uren)	(mm)	(mm)	(uren)	(mm)	(%)	(%)	
(jaren)	(mm)	(uren)	(mm)	(mm)	(uren)	(mm)	(mm)	(uren)	(mm)	(%)	(%)	
d1 1-10	3470	6034	1721	3845	6686	2150	375	652	428	11	25	
d2 11-20	3861	6714	1588	4083	7101	2133	222	387	545	6	34	
d3 21-30	4175	7261	1481	4353	7570	2114	177	309	633	4	43	
d4 31-40	4378	7614	1412	4495	7817	2104	117	204	693	3	49	
d5 41-50	4691	8158	1302	4744	8251	2074	53	93	772	1	59	
Verschil	1221	2124	-417	899	1565	-76	-322	559	341	-	-	
d5 - d1	35%	35%	-24%	23%	23%	-4%	-86%	-86%	81%	-	-	
Som 50	20576	35781	7507	21520	37426	10589	944	1645	3082	5	41	
Gem. 50	412	716	150	430	749	212	19	33	62	5	41	

## 2. Effecten van onderwaterdrains

Het effect van onderwaterdrains op de afname van de wegzijging in de tijd als gevolg van de maaiveldval is een duidelijke remming van deze afname (Figuur 4.1). In het eerste decennium bedraagt de wegzijging in de optie mét onderwaterdrains per jaar 89 mm, net als in de optie zónder drains. Maar de verdeling van de wegzijging over het jaar is anders in de optie mét onderwaterdrains: in de zomer is de wegzijgingsintensiteit groter en in de winter kleiner in vergelijking met de optie zónder drains. Reden is de vlakke grondwaterspiegel binnen het jaar bij toepassing van drains.



**Figuur 4.3** Verloop in de tijd van de areaalgewogen gemiddelde bemalings- en inlaatdebieten voor de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains (links) en het verschil daartussen als mét drains minus zónder drains (rechts) in Peilvak 9. De debieten zijn de jaargemiddelden van de vijf decennia. Ze zijn uitgedrukt in mm op basis van de totale oppervlakte (land + water). Het gaat om de gecorrigeerde waarden (zie Bijlage 3).

Na veertig jaar is door de maaiveldddaling in de toekomstoptie mét drains de wegzijging afgenomen met 70 mm per jaar (79%) tot 19 mm per jaar. In de optie zónder drains bedraagt deze afname 135 mm per jaar, ongeveer twee keer zoveel. Oorzaak is de twee keer zo snelle maaiveldddaling in de optie zónder drains. Onderwaterdrains bewerkstelligen een relatieve vermindering (halvering) van de afname van de wegzijging die even groot is als de relatieve vermindering van de maaivelddalingsnelheid.

Door de geringere afname van de wegzijging in de toekomstoptie met onderwaterdrains neemt in deze optie de drainage en daarmee de bemaling minder snel toe in de tijd dan in de optie zónder drains (Figuren 4.2 en 4.3): 25% en 24% (mét drains) tegen 36% en 35% (zónder drains). Om dezelfde reden neemt in de optie mét onderwaterdrains de infiltratie en daarmee de inlaat minder snel af in de tijd dan in de optie zónder drains (Figuren 4.2 en 4.3): 2% (infiltratie) en 4% (inlaat) in de optie mét drains tegen 29% en 24% in de optie zónder drains. Onderwaterdrains hebben dus een dempend effect op deze verandering in de waterhuishouding en het waterbeheer.

Dat is echter niet het enige effect van onderwaterdrains op de waterbalans van veembodem en oppervlaktewatersysteem. Onderwaterdrains zijn bedoeld om de grondwaterstand zo dicht mogelijk bij slootpeil te houden. Omdat de wateruitwisseling tussen sloot en perceel met drains sneller gaat, treden correcties van de grondwaterstand door infiltratie van slootwater en drainage naar de sloot sneller op. Hierdoor is er meer wateruitwisseling, wat resulteert in zowel meer inlaat als meer bemaling van water. Omdat Peilvak 9 een wegzijgingsgebied is, neemt door drains vooral de inlaatbehoefte in het zomerhalfjaar toe: snellere infiltratie in die periode betekent ook meer wegglekken van water naar het diepere grondwater. Vooral in wegzijgingsgebieden kost veenbehoud water!

Het effect van onderwaterdrains op de drainage en de bemaling is in het eerste decennium een toename met 14% respectievelijk 11% ten opzichte van de optie zónder drains (Tabellen 4.1 en 4.2). In het vijfde decennium is die toename teruggelopen tot 3% en 1%. In het vijfde decennium is de bemaling in beide toekomstopties dus even groot (Figuur 4.3), als gevolg van het groeiende verschil in wegzijging tussen beide opties.

Het effect van onderwaterdrains op de infiltratie en de inlaat laat een andere lijn zien (Figuur 4.3). In het eerste decennium is de toename als gevolg van toepassing van onderwaterdrains absoluut gezien van dezelfde orde als bij drainage en bemaling (rond 40 mm per jaar). Daarna stijgen de toenames van infiltratie en inlaat door toepassing van onderwaterdrains beide tot rond 88 mm per jaar in het vijfde decennium. Relatief gezien verloopt de toename van de inlaat door drains in deze tijdspanne van 25% naar 59%. De stijging van de toename in de tijd komt echter doordat in de optie zónder drains de inlaat fors daalt in de tijd. Absoluut gezien neemt ook in de optie mét onderwaterdrains de inlaat iets af in de tijd zodat na veertig jaar de inlaat op jaarbasis 8 mm of 4% kleiner is. Relevant voor het waterbeheer is daarom vooral de toename van de inlaat door toepassing van onderwaterdrains ten opzichte van de huidige situatie, die neerkomt op 43 mm per jaar of 25%.

#### 4.1.2 Wateroverlast

In deze studie is wateroverlast gedefinieerd als de situatie waarin minstens 10% van de oppervlakte van het hele peilvak onder water staat. Het waterpeil waarbij die situatie ontstaat, heet het 'toetspeil'; 10% van het peilvak ligt lager dan dit peil. Omdat in de toekomstoptie mét onderwaterdrains op den duur een relatief laag gelegen nat deel ontstaat dat 25% van de oppervlakte van het peilvak beslaat (Figuur 3.6) en dat met voorkeur natte natuur als bestemming krijgt, is voor deze optie nog een tweede toetspeil gedefinieerd: het peil waarbij 10% van het droge deel van het peilvak onder water staat. In dit droge deel, dat 75% van het areaal beslaat (deelgebieden 1-11, Figuur 2.3), blijft volgens het convenant de functie landbouw bestaan. Een apart toetspeil hiervoor is dan ook nuttig en verhelderend.

Voor het toetspeil zijn niet het deelgebied en het decennium de kleinste eenheden van ruimte en tijd maar het perceel en het jaar: het toetspeil is vastgesteld op basis van de jaarlijkse maaiveldhoogten van de percelen. Hoe de maaiveldhoogten van de percelen op jaarbasis zijn berekend is behandeld in 2.3.3.2.

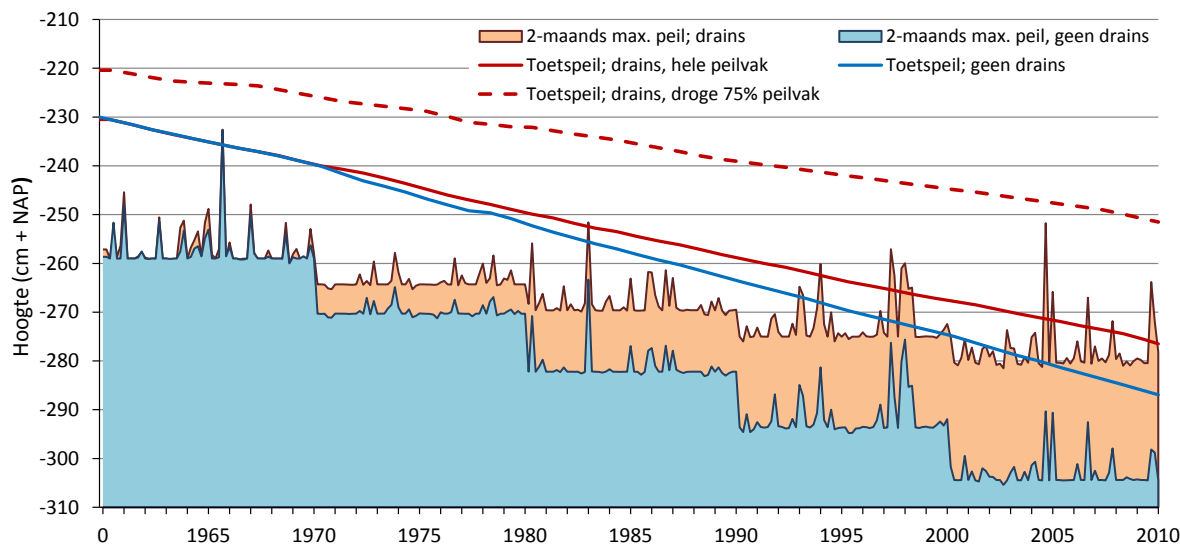
Tabel 4.3 geeft de jaren waarin overschrijding van het toetspeil optreedt. Voor de toekomstoptie mét onderwaterdrains gaat het om het toetspeil van de laaggelegen natte deelgebieden. Het hogere toetspeil van deze toekomstoptie wordt nooit overschreden in de vijftigjarige simulatieperiode en is daarom niet aanwezig in de tabel. Daarnaast geeft de tabel aanvullende informatie per gebeurtenis van overschrijding. Een 'gebeurtenis' is hierbij gedefinieerd als een periode van overschrijding die wordt begrensd door perioden zonder overschrijding van minstens één dag. In de modelresultaten zijn alle voorkomende gebeurtenissen reeksen van aaneengesloten uren. Tussen deze gebeurtenissen zitten altijd veel meer dagen dan slechts één.

Tabel 4.3

**Weerjaar en aantal gebeurtenissen (keren) van overschrijding van het toetspeil, duur van de overschrijding, het toetspeil en het maximale peil tijdens overschrijding, het gemiddelde en maximale areaal (% areaal peilvak) geïnundeerd, en het aandeel van de oppervlakten van deelgebieden in de inundatie, voor de toekomstopties zónder en mét drains in Peilvak 9. Het toetspeil van de optie mét drains is het lage toetspeil voor de laaggelegen natte deelgebieden. Weerjaar 1961 is toekomstjaar 1.**

Optie voor drains	Weer-jaar	Num-mer	Duur (uren)	Toets-peil (cm + NAP)	Max. peil	Gem. areaal (%)	Max. areaal (%)	Gemiddelde aandeel (%) van deelgebieden in inundatie														
								1	8	9	11	12	13	14	15							
geen	1966	1	45	-235,4	-232,7	11,4	12,2	0,0	0,0	0,0	0,0	46,0	27,9	12,8	13,2							
wel	1966	1	46	-235,4	-232,6	11,5	12,2	0,0	0,0	0,0	0,0	46,0	27,6	12,7	13,8							
wel	1983	1	8	-251,8	-251,6	10,3	10,3	0,0	0,0	0,0	0,0	50,1	30,6	14,0	5,3							
wel	1994	1	49	-261,8	-260,1	10,3	10,3	0,0	0,0	0,0	0,0	50,1	30,6	14,0	5,3							
wel	1998	1	57	-265,4	-257,1	12,9	14,4	0,0	0,0	0,0	1,3	50,5	24,9	12,5	10,7							
		2	33	-265,4	-262,5	10,8	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	50,3	29,4	13,5	6,8							
		3	55	-265,4	-261,0	11,2	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	49,8	28,1	12,9	9,1							
		4	58	-265,4	-260,0	12,1	12,8	0,0	0,0	0,0	0,0	52,6	26,4	12,1	9,0							
wel	1999	1	24	-266,3	-265,0	10,3	10,3	0,0	0,0	0,0	0,0	50,1	30,6	14,0	5,3							
wel	2005	1	75	-271,1	-251,8	17,3	26,3	0,2	0,2	0,8	3,3	45,5	29,1	12,7	8,3							
		2	48	-271,1	-265,8	11,6	13,1	0,0	0,0	0,0	2,0	49,2	27,4	12,6	8,8							
wel	2007	1	45	-272,8	-267,0	11,8	13,1	0,0	0,0	0,0	2,4	49,5	26,9	12,3	8,9							
wel	2008	1	25	-273,6	-271,8	10,6	10,6	0,0	0,0	0,0	2,3	49,0	29,9	13,7	5,1							
wel	2010	1	128	-275,6	-263,8	13,1	18,7	0,0	0,0	0,4	3,0	47,5	26,7	12,4	10,1							
		2	35	-275,6	-271,9	11,0	11,8	0,0	0,0	0,0	2,8	48,2	28,8	13,2	7,0							

Het toetspeil komt steeds lager te liggen door het voortdurende dalen van het maaiveld. Dat gaat sneller in de toekomstoptie zónder drains dan in de optie mét drains (Figuur 4.4). Desondanks is er slechts één overschrijding van het toetspeil in de optie zónder drains. Deze valt in het eerste decennium, in weerjaar 1966. De neerslag bedraagt in dat weerjaar 1144 mm en het neerslagoverschot 682 mm. De maaiveldhoogte en dus het toetspeil zijn dan nog gelijk voor de opties zónder en mét drains. Dat leidt tot een overschrijdingsgebeurtenis die voor de opties zónder en mét onderwaterdrains nagenoeg gelijk is voor de kenmerken die zijn opgenomen in Tabel 4.3.

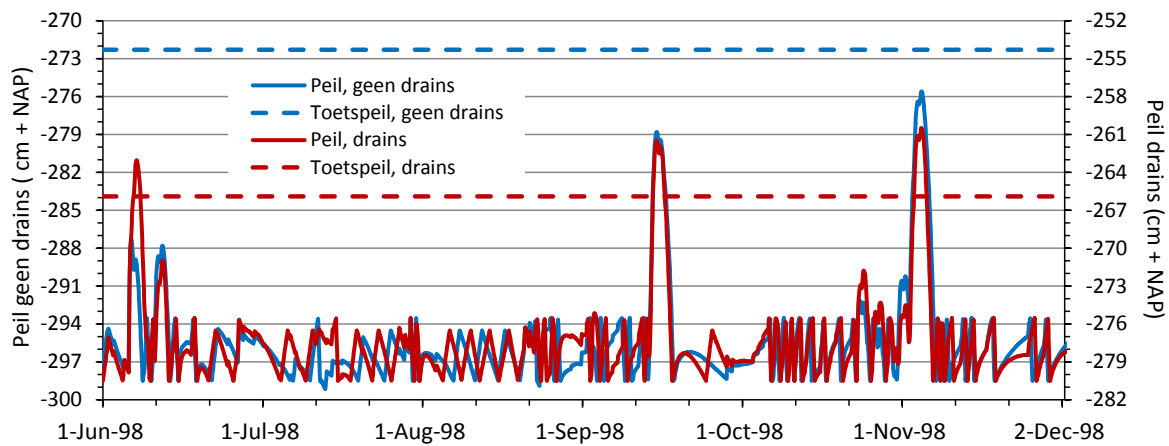


**Figuur 4.4** Verloop in de tijd van de toetspeilen en van het 'tweemaands-maximum-peil' gedurende de 50-jarige simulatieperiode, berekend voor de toekomstopties zónder en mét drains. Het 'tweemaands-maximum-peil' is het hoogste slootpeil van elke twee maanden. In dit figuur heeft elk jaar dus zes maxima, waaronder het absoluuthoogste peil van dat jaar. Omdat het gemaal aanslaat bij streefpeil plus 1 cm, is de basislijn van het maximum peil van elk decennium ruwweg gelijk aan streefpeil + 1 cm. Op de x-as zijn de **weerjaren** gegeven; weerjaar 1961 is jaar 1 van de toekomst. De jaaraanduiding op de x-as markeert het einde van het jaar.

Naarmate de tijd voortschrijdt en het maaiveld verder daalt, neemt in de toekomstoptie met drains het aantal overschrijdingsgebeurtenissen toe. Wat resulteert in totaal veertien gebeurtenissen waarvan zes gebeurtenissen in zowel het vierde als het vijfde decennium. Het maximale areaal dat tijdens een gebeurtenis is geïnundeerd valt in 2005 en bedraagt 26% van het areaal van het peilvak. Het verschil tussen het maximale peil en het toetspeil is dan ook fors: bijna 20 cm. Over het algemeen zijn het de vier natte deelgebieden 12-15 die het grootste aandeel in het geïnundeerde areaal hebben. Maar in het vijfde decennium speelt vooral ook deelgebied 11 een kleine rol. Dat is dan substantieel gedaald en heeft een geringe drooglegging (Figuur 3.9.b). In 2005 is zelfs een perceel van deelgebied 1 korte tijd geïnundeerd. De tabel laat zien dat reeksen ook lang kunnen duren, tot 128 uur (5,33 dag) voor de eerste gebeurtenis in 2010.

In Figuur 4.4 is het verloop van het slootpeil in de tijd aangegeven als het hoogste (maximum) peil van elke twee maanden. Dit geeft goed inzicht in het optreden van pieken in het slootpeil. Op alle momenten dat een piek uitsteekt boven het toetspeil is er sprake van wateroverlast. De breedte van de piek op de hoogte waar hij wordt doorsneden door de lijn van het toetspeil is een kwalitatieve indicatie van de duur van de wateroverlast. Evenals in Tabel 4.3 is duidelijk te zien dat in de toekomstoptie zónder onderwaterdrains slechts eenmaal, in weerjaar 1966, een piek optreedt die boven het toetspeil uitsteekt. Ook in de optie mét drains treedt op dat moment wateroverlast op in het peilvak. Hoogte van de piek en duur van de wateroverlast zijn nagenoeg gelijk voor beide toekomstopties. Het toetspeil van de droge 75% van het peilvak in de optie mét onderwaterdrains wordt nooit overschreden. De drooglegging in dit deel is, en blijft in de toekomst, groot genoeg om de pieken in het peil op te vangen.

Te zien is dat na de gezamenlijke wateroverlast van weerjaar 1966 de twee toekomstopties volledig uit elkaar gaan lopen. In de optie zónder drains treedt geen wateroverlast meer op, terwijl er wel regelmatig hoge pieken in het slootpeil voorkomen. In de optie mét drains zijn er, na zeventien jaar, nog acht jaren met wateroverlast in het gehele peilvak die optreedt in totaal dertien gebeurtenissen en totaal 640 uur (26,7 dag) beslaat. Opvallend verschil tussen de twee opties is dat in de optie mét drains het toetspeil van het gehele peilvak sneller daalt in de tijd dan het slootpeil. In de optie zónder drains gaat de daling van deze twee peilen vrijwel gelijk op. (Dit geldt ook voor het toetspeil van de droge 75% van het peilvak in de optie mét onderwaterdrains).



**Figuur 4.5** Peilen en toetspeilen voor de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains voor een periode met drie piekbuien in 1998 die bij drains tot overschrijding van het toetspeil leiden in Peilvak 9. Let op het verschil in y-assen!

Daarmee is de oorzaak van de grotere gevoeligheid voor wateroverlast in het gehele peilvak van de toekomstoptie mét onderwaterdrains aangegeven. In deze optie wordt het verschil tussen het slootpeil en het toetspeil van het gehele peilvak steeds kleiner, waardoor pieken in het slootpeil steeds vaker en langer boven het toetspeil uitsteken. Het zijn dus niet zozeer de pieken zelf die het verschil tussen de opties veroorzaken. Pieken zijn in de optie mét drains wel regelmatig hoger dan de pieken in de optie zónder drains. Maar het omgekeerde (in weerjaren 1983 en 1998-1999) en (nagenoeg) even hoge pieken als in de optie mét drains (in weerjaren 1994, 2005, 2007, 2008) komen in de optie zónder drains ook regelmatig voor.

In het vijfde decennium is de gemiddelde drooglegging in de laagst gelegen 10% van het peilvak 14 cm (Figuur 3.6). In de optie zónder drains is dat 35 cm; een verschil van 21 cm. Dat is de extra hoogte van de piek die dan nodig is om in de optie zónder drains het toetspeil te overschrijden. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 4.5 waarin de situatie van het zeer natte jaar 1998 wordt getoond. In de optie zónder drains ligt het toetspeil 23 cm boven streefpeil, terwijl dat in de optie mét drains slechts 11 cm is, minder dan de helft. Het gevolg zijn twee piekmomenten waarbij de piek, afgezet tegen het streefpeil, in de optie zónder drains groter is dan in de optie mét drains, maar waarbij zónder drains het toetspeil niet wordt overschreden en mét drains het toetspeil wel wordt overschreden.

Het is de laaggelegen, natte 25% van het areaal dat in de optie mét onderwaterdrains het toetspeil van het gehele peilvak bepaalt. Dit deel bevat géén onderwaterdrains en daalt daardoor sneller dan het deel mét drains, waaraan het slootpeil wordt aangepast. Het toetspeil zakt daardoor steeds sneller dan het slootpeil. Met als gevolg een steeds geringere drooglegging in de natte 25% en steeds meer kans op wateroverlast in dit deel van het peilvak. Het gaat hierbij uitsluitend om deelgebieden waar volgens het convenant de natuurdoelen in Peilvak 9 bij voorkeur gerealiseerd kunnen worden. Als op deze percelen de landbouwfunctie verdwijnt, ontstaat er bij toetsing aan NBW-normen geen probleem.

## 4.2 Extreme buien

Om de effecten van onderwaterdrains op het verwerken van extreme neerslagbuien te onderzoeken, is een zeer extreme bui doorgerekend van 37,5 mm binnen een uur op 13 juni 1953 in het 22<sup>ste</sup> uur (zie 2.3.1.3). Met SWAP is voor deze bui de gehele periode 9-21 juni 1953 doorgerekend. Hierbij is uitvoer op uurbasis gegenereerd. Eerst wordt de 'referentieberekening' die is uitgevoerd besproken. Hierin is voor de twee toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains de aanlooperperiode vóór de bui exact gelijk gehouden (4.2.1). Daarna worden de resultaten van verschillende peilbeheerscenario's besproken (4.2.2).

## 4.2.1 Referentieberekening

In Figuur 4.6 zijn de resultaten gegeven van de 'referentieberekening'. Door voor de twee toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains de beginperiode voor de bui precies gelijk te houden is de uitgangspositie voor beide opties exact gelijk als de bui start. Dit is de enige manier voor een zuivere vergelijking van de twee opties. Van de bui zijn de berekende oppervlaktewaterpeilen, de drainage- en infiltratiefluxen en de bemalings- en inlaatdebieten gegeven van de toekomstopties zonder en met onderwaterdrains. Ook zijn de verschillen tussen beide opties gepresenteerd. De fluxen en debieten zijn hierbij uitgedrukt in mm per totaaloppervlakte (land + water) per dag. In Tabel 4.4 zijn de belangrijke termen van de oppervlaktewaterbalans voor deze analyse samengevat: drainage uit en infiltratie in de veenbodem, en bemaling uit het peilvak naar de boezem en inlaat uit de boezem, en het aantal draaiuren van het gemaal.

Tabel 4.4

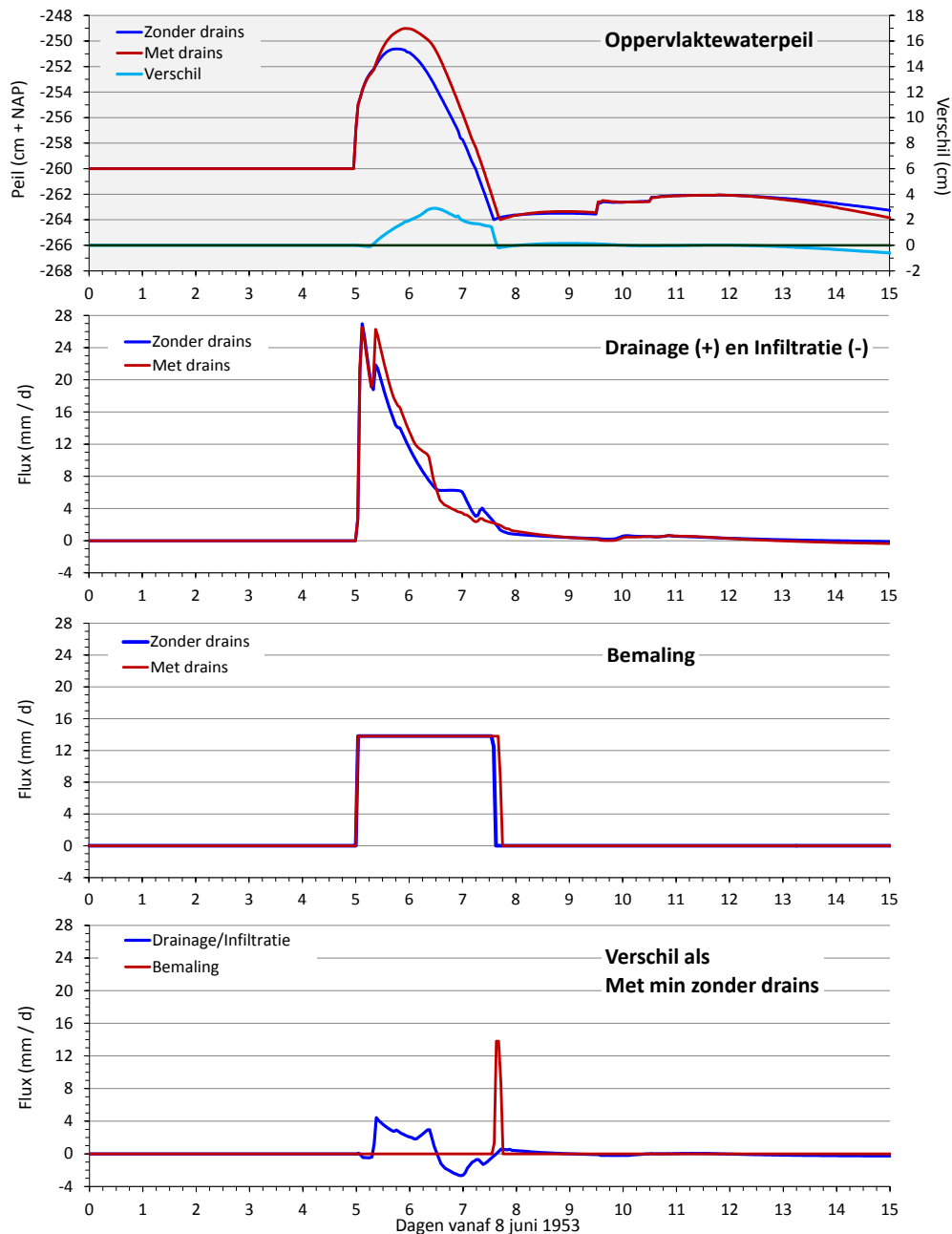
*Berekende wateruitwisseling tussen veenbodem en oppervlaktewater (Bodem: Uit = drainage; In = infiltratie), en tussen boezem en oppervlaktewater (Boezem: Uit = bemaling; In = inlaat) en aantal draaiuren (bemalingsduur) van het gemaal tijdens de extreme neerslagbui van 1953, voor de referentieberekening van de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains en het verschil daartussen in Peilvak 9. Hoeveelheden water zijn uitgedrukt in mm per totaal oppervlakte (land + water).*

Water- uitwis- seling	Zonder onderwaterdrains			Met onderwaterdrains			Met drains minus Zonder drains					
	Bodem (mm)	Boezem (mm)	Draaiuren (uur)	Bodem (mm)	Boezem (mm)	Draaiuren (uur)	Bodem (mm)	(%)	Boezem (mm)	(%)	Draaiuren (uur)	(%)
Uit	30	36	62	30	37	65	0	0	1	4	3	4
In	0	1	-	1	3	-	1	100	2	200	-	-

De figuren en de tabel laten zien dat kwantitatief het effect van onderwaterdrains op de verwerking van de grote hoeveelheden water van extreme buien, als de uitgangspositie van beide toekomstopties gelijk is, relatief gering is met maximaal een toename met 4% van de bemaling. Dat de effecten van drains op de uitslag niet groter zijn heeft verschillende redenen volgens Van den Akker *et al.* (2013) en Hendriks *et al.* (2013):

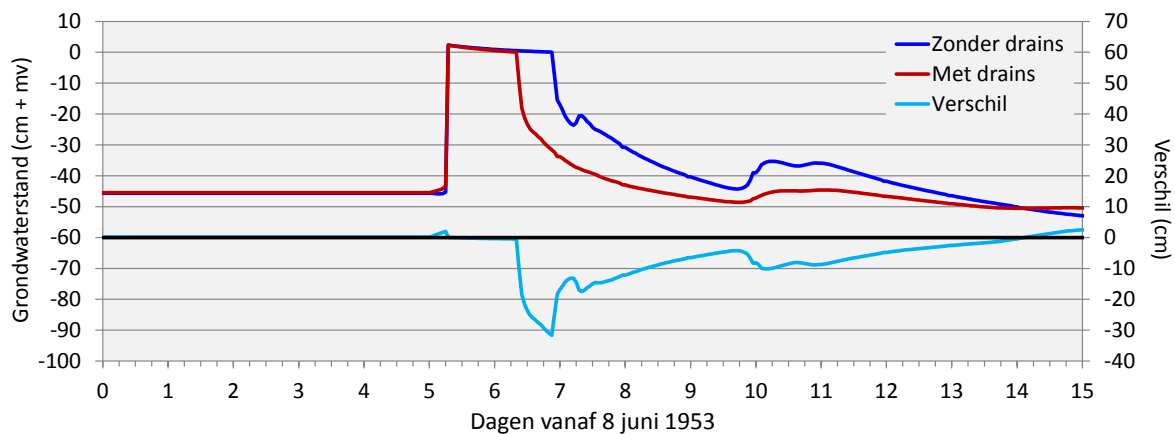
1. neerslag direct op het oppervlaktewater is bij beide toekomstopties (met en zonder drains) gelijk en substantieel door het grote aandeel oppervlaktewater van 13,3%. Dit verkleint het relatieve effect van extra drainage bij onderwaterdrains (zie ook Figuur 4.7);
2. de berging in het oppervlaktewater buffert de extra en snelle drainage in de optie met drains. Deze extra berging is eveneens substantieel door het grote aandeel oppervlaktewater. De berging uit zich door een stijging van het oppervlaktewaterpeil;
3. de grotere stijging van het peil in de optie mét onderwaterdrains dempt de drainage meer: het potentiaalverschil tussen grondwaterstand en peil is bij hoger peil kleiner, ook door de lagere grondwaterstanden tijdens de bui in de optie mét drains;
4. de grotere stijging van het peil in de optie met onderwaterdrains geeft meer wegzijging direct vanuit de sloot. In dit geval is deze toename klein;
5. in figuren waarin de drainage van de twee opties wordt vergeleken, is te zien dat in de optie zónder onderwaterdrains de drainage na-ijlt op de drainage van de optie mét drains waardoor in de optie zónder drains uiteindelijk de drainage langer duurt wat het verschil met de optie mét drains verkleint;
6. In Peilvak 9 is ook nog van belang dat 37% van het peilvak geen drains heeft. Hierdoor is het aandeel oppervlaktewater dat het effect van drains dempt niet 13,3% maar 21% (13,3% / 0,63).

De berging van water in het oppervlaktewater heeft dus een belangrijk dempend effect op de snellere en grotere drainage in de optie mét drains. Maar ook in de optie zónder drains wordt de grote bui voor een belangrijk deel opgevangen door de sloot met als gevolg een peilstijging van 9,4 cm vanaf het begin van de bui (Figuur 4.5). Bij onderwaterdrains bedraagt de peilstijging 10,7 cm; een verschil van 1,3 cm met de optie zónder drains.



**Figuur 4.5** Berekende oppervlaktewaterpeil, drainage/infiltratie en bemaling van water voor de referentieberekening van de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains in Peilvak 9 en de verschillen daartussen, voor bui '13 juni 1953'. Fluxen zijn uitgedrukt in mm per totaaloppervlakte (land + water) per dag.

In de optie mét drains moet het gemaal in dit geval 1,7 cm meer oppervlaktewater uitslaan dan in de optie zónder drains waarvoor het 3 uur langer moet bemalen. Ook de grotere drainage (Figuur 4.5) in de optie mét drains draagt bij aan het langer bemalen. De grondwaterstand wordt door de drains sneller naar beneden getrokken (Figuur 4.6). Als in de optie mét onderwaterdrains het gemaal stopt is de grondwaterstand 15 cm lager dan in de optie zónder drains. De eerste piek in de drainage in Figuur 4.5 (een-na-bovenste grafiek) is het gevolg van oppervlakte afstroming. Direct als de bui valt liggen er plassen op het maaiveld, omdat de bui een neerslagintensiteit heeft van 900 mm per dag die 30 keer groter is dan de infiltratiecapaciteit van de veenbodem aan maaiveld van 30 mm per dag. De grondwaterstand staat dan nog niet tot aan maaiveld. Nadat de bui is gevallen, neemt de oppervlakte afstroming snel af. Bij de tweede piek staat de grondwaterstand tot aan maaiveld en komt de drainage goed op gang. Met drains gaat dat sneller en intensiever.



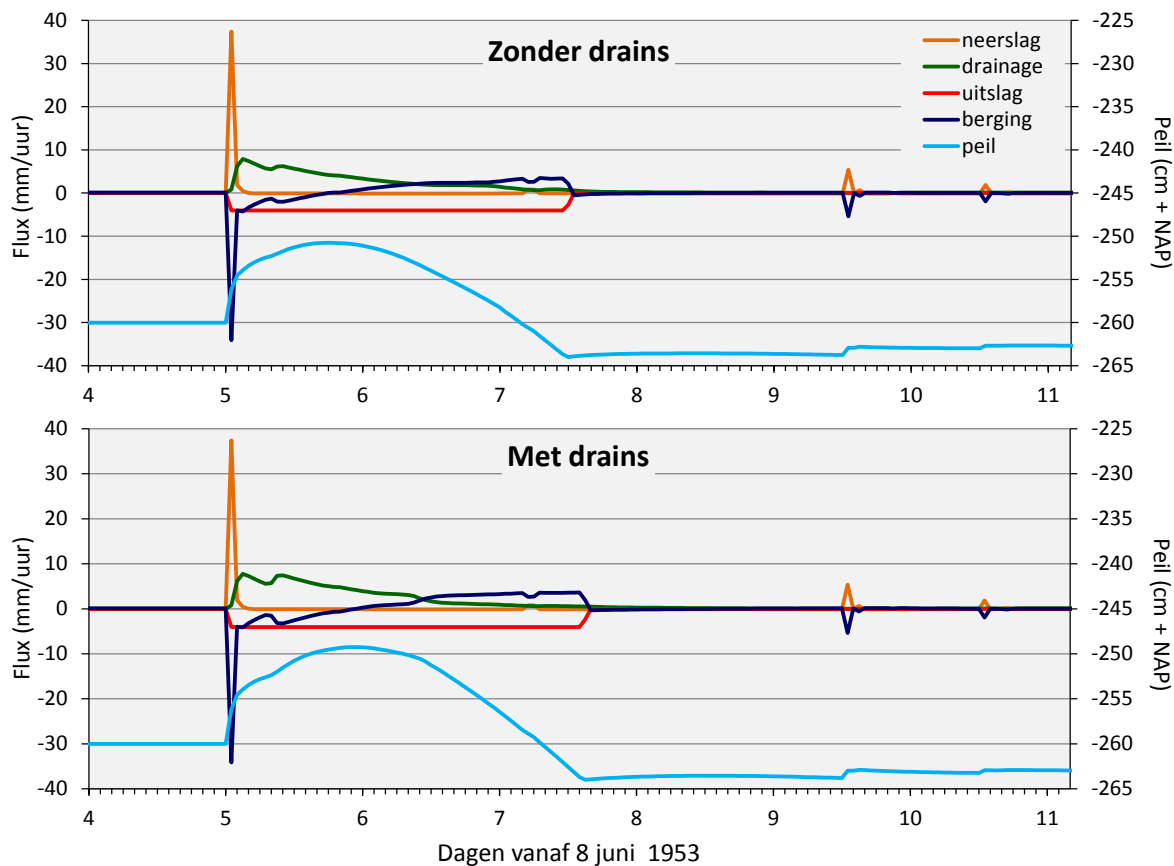
**Figuur 4.6** Berekende grondwaterstanden voor de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains in Peilvak 9 en de verschillen daartussen, voor bui '13 juni 1953'.

Het effect van onderwaterdrains op de grondwaterstanden onder deze extreme omstandigheden is evident en groot: drains bewerkstelligen onder extreem natte omstandigheden (grondwaterstand tot boven maaiveld) grondwaterstandverlagingen tot gemiddeld ruim 10 cm en maximaal ruim 30 cm onder de grondwaterstanden in de optie zónder drains. Dit is meestal door het sneller afvoeren van water uit het volledig verzadigde profiel, want drains kunnen niet altijd voorkomen dat het water tot aan maaiveld komt. Drains bieden in die zin vooral tijdwinst door de grondwaterstand sneller uit en onder maaiveld te trekken. Bij 'bui 1953' stijgt in de optie mét onderwaterdrains de grondwaterstand wat eerder dan in de optie zónder drains omdat er dan voor een korte tijd infiltratie via de onderwaterdrains plaatsvindt door de stijging van het slootpeil. Dit is een klein (1 cm verhoging van het grondwaterpeil) en kortdurend (3 uur) negatief effect van drains. Het positieve effect van drains is veel groter en behelst dat de grondwaterstand 15 uur eerder uit maaiveld is en ongeveer twee dagen eerder op een niveau is waarop berijden en begrazen weer goed mogelijk zijn.

Figuur 4.7 toont de dynamiek van de belangrijke balanst termen van het oppervlaktewater. De resultaten zijn op uurbasis en de fluxen zijn uitgedrukt in mm per slootoppervlakte per uur. Interessante bevindingen die uit deze figuren spreken zijn:

1. Het eerste dat opvalt is dat in het uur dat de piekneerslag valt, de neerslag direct op het oppervlaktewater de grootste bron van water is en dat de afname van de bergingscapaciteit de grootste put van water is met een peilstijging tot gevolg;
2. De relatie tussen peil en bergingsverandering en de overige in- en uitgaande termen is goed zichtbaar;
3. Op het moment dat de bergingsverandering de 0-lijn kruist en van negatief positief wordt, neemt het peil weer af en is het oppervlaktewater alleen nog een bron van water voor het gemaal, en is de bergingstoename van het oppervlaktewater omgeslagen in een bergingsafname;
4. Als het gemaal stopt door het bereiken van het afslagpeil (-264 cm + nap) gaat de drainage nog een tijd door omdat het grondwaterpeil hoger staat dan het door bemaling verlaagde slootpeil;
5. De kleine neerslagpiekjes rond dag 9,5 en dag 10,5 leiden tot een geringe stijging van het slootpeil maar nauwelijks tot drainage.





**Figuur 4.7** Berekende verloop van de belangrijkste balanstermen van het oppervlaktewater, en het oppervlaktewaterpeil voor de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains in Peilvak 9, voor bui '13 juni 1953'. Fluxen zijn uitgedrukt in mm per **slootoppervlakte** per uur.

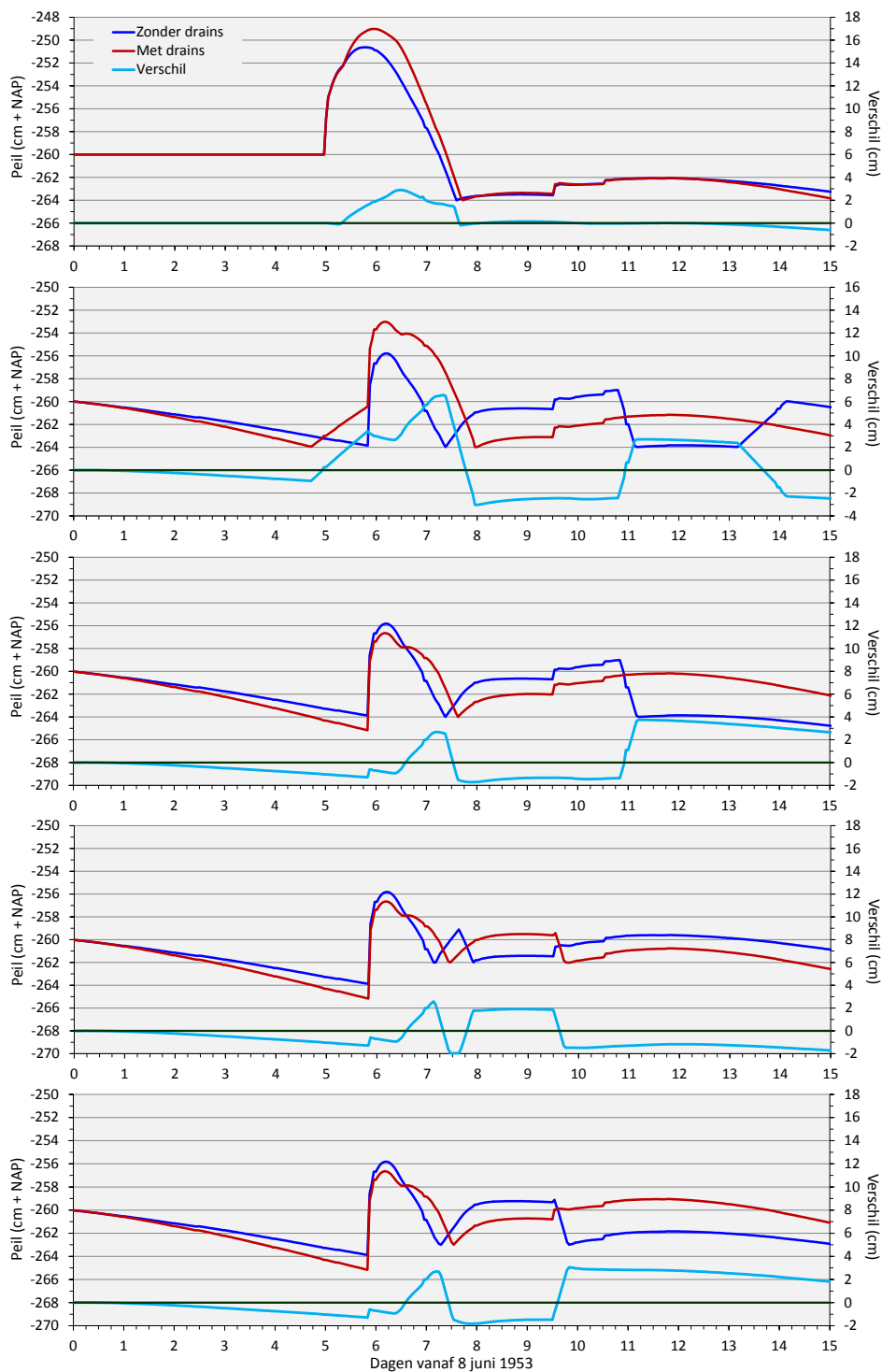
#### 4.2.2 Scenario's van peilbeheer

Om te onderzoeken wat met peilbeheer kan worden bereikt om het ontstaan van een extra peilstijging als gevolg van toepassen van onderwaterdrains bij grote, intensieve buien te voorkomen en/of te verminderen zijn aanvullende modelexperimenten gedaan. Hierin wordt geanticipeerd op neerslagvoorspellingen voor de korte termijn. Dit zijn realistische scenario's omdat deze neerslagvoorspellingen tegenwoordig steeds accurater worden.

De volgende scenario's zijn doorgerekend, steeds met de huidige maaiveldhoogte (code B) en met de eind-maaiveldhoogte (code E) over 50 jaar:

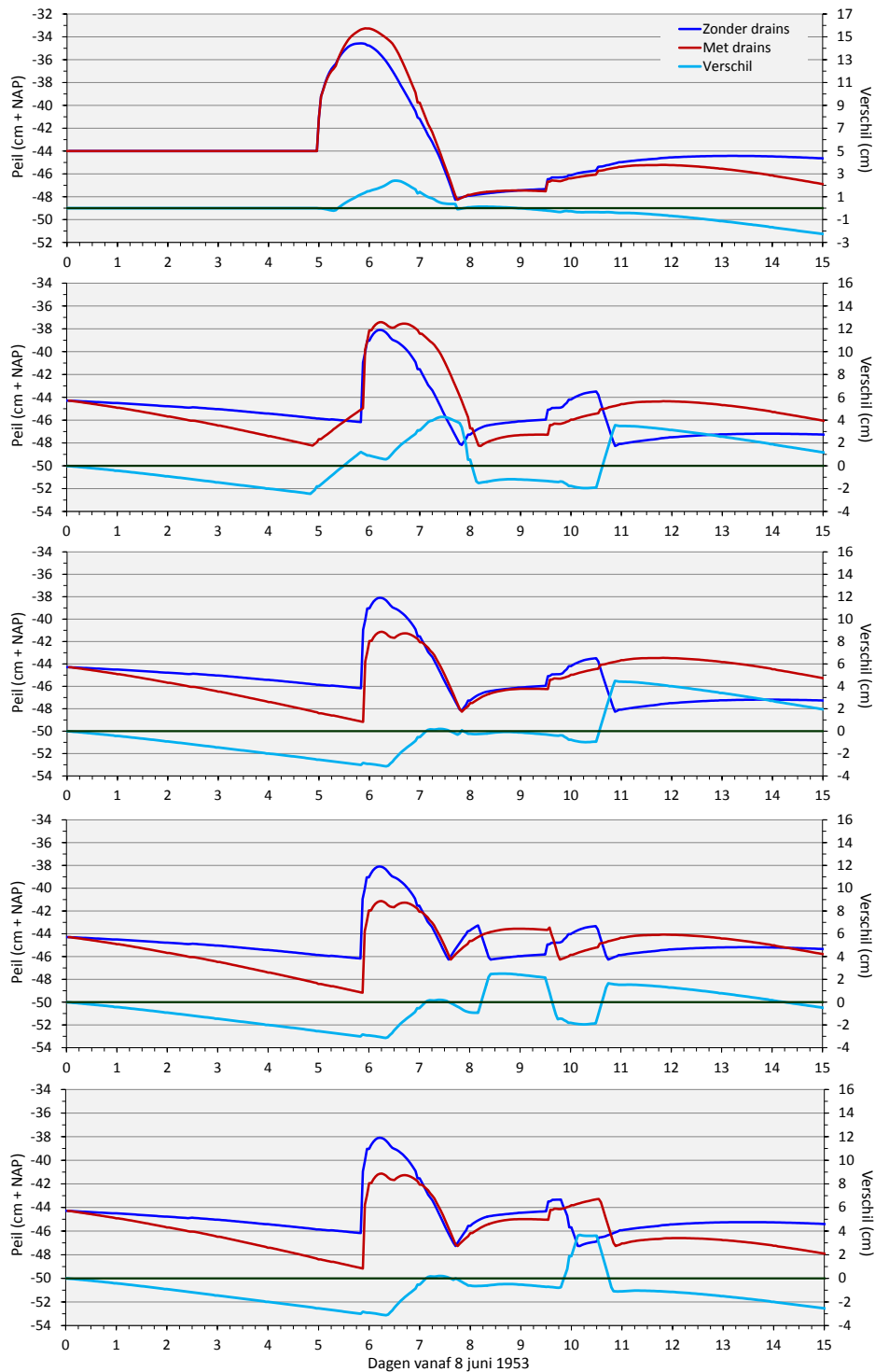
1. De 'referentieberekening', waarbij de beginperiode voordat de bui start precies gelijk is gehouden voor de twee toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains zodat de uitgangspositie van de simulatie voor beide opties exact gelijk is als de bui start;
2. Een 'automatisch' scenario waarbij het model is afgesteld zoals in de vijftigjarige berekeningen;
3. Als 2. maar er is geen inlaat toegestaan;
4. Als 3. maar het peil wordt 2 cm minder diep uitgemalen tot 2 cm onder streefpeil in plaats van 4 cm. Hier wordt verondersteld dat met kennis van het weer wordt gehandeld: het is een zomerperiode en er wordt niet veel neerslag verwacht voor de komende dagen. Het is dus verstandig om water vast te houden;
5. Als 4. maar dan met 1 cm minder diep uitmalen.

De resultaten zijn gegeven in Figuur 4.8 en Tabel 4.5. Vanwege de verschillende maaiveldhoogten van de situaties zonder en met drains in de E-scenario's zijn de peilen van die scenario's met het maaiveld als referentie gegeven. In Figuur 4.9 zijn de piekhoogten tijdens de bui gegeven ten opzichte van referentiepeil. Voor scenario's 3-5 zijn de piekhoogten gelijk, omdat de verandering tussen deze scenario's pas na de piek plaatsvinden.



**Figuur 4.8.a** Berekende oppervlaktewaterpeil voor de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains in Peilvak 9 met huidige maaiveldhoogten en de verschillen daartussen, voor bui '13 juni 1953'. Van boven naar beneden de vijf scenario's: B1 tot en met B5 (zie tekst). Het peil is gegeven ten opzichte van NAP.

In algemene zin is het verschil tussen de B- en E-scenario's - huidige en eind-maaiveldhoogte - dat in de laatste het bodem-oppervlaktewater-systeem natter is door de geringere wegzijging. Dat geldt sterker voor de toekomstoptie zónder drains door de twee keer zo grote maaiveldval in vergelijking met de optie mét drains. Extreme buien zijn in dit nattere systeem moeilijker te verwerken. Tabel 4.5 laat daarom voor alle E-scenario's een afname zien van de bemaling en het aantal draaiuren van het gemaal door toepassen van onderwaterdrains. Alleen in scenario E1 is er geen noemenswaardig verschil tussen de opties zonder en met drains.



**Figuur 4.8.b** Berekende oppervlaktewaterpeil voor de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains in Peilvak 9 met huidige maaiveldhoogten en de verschillen daartussen, voor bui '13 juni 1953'. Van boven naar beneden de vijf scenario's: E1 tot en met E5 (zie tekst). Vanwege de verschillende maaiveldhoogten is het peil gegeven ten opzichte van maaiveld.

Het B1- en het E1-scenario geven de vergelijking tussen de toekomstopties zónder en mét drains 'zonder voorgeschiedenis', dus met een gelijke uitgangssituatie. Gedurende en vlak na de bui is er geen verschil tussen B- en E-scenario: de heftigheid van de bui overschaduwde de verschillen in wegzijging. In de staart van de bui komen deze verschillen weer tot uiting. In absolute zin zijn de pieken groter dan in de andere scenario's omdat de uitgangssituatie in het B1- en E1-scenario een nattere bodem is (begingrondwaterstand heeft niet kunnen uitzakken). In deze meest objectieve toets van het effect van onderwaterdrains komt duidelijk naar voren dat drains een wat hogere piek

Tabel 4.5

Berekende netto drainage, bruto bemaling en draaiuren van het gemaal tijdens de extreme neerslag-bui in 1953 voor de toekomstopties zonder en met onderwaterdrains in Peilvak 9 en het verschil daartussen. Hoeveelheden water zijn uitgedrukt in mm per totaal oppervlakte (land + water). Voor verklaring van de scenariocodes, zie tekst.

Code en nummer scenario	Zonder onderwaterdrains			Met onderwaterdrains			Met drains minus Zonder drains					
	Drain. (mm)	Uitslag (mm)	Draaiuren (uur)	Drain. (mm)	Uitslag (mm)	Draaiuren (uur)	Drainage (mm)	(%)	Uitslag (mm)	(%)	Draaiuren (uur)	(%)
B1	30	36	62	30	37	65	0	0	1	4	3	4
B2	20	26	45	21	30	51	1	5	4	14	6	14
B3	20	26	45	20	24	42	0	0	-2	-7	-3	-7
B4	20	22	38	21	25	43	1	5	3	12	5	12
B5	20	24	42	20	23	40	0	0	-1	-5	-2	-5
E1	33	37	65	32	38	66	-1	-2	1	1	1	1
E2	27	33	56	27	32	55	0	0	-1	-2	-1	-2
E3	27	33	56	27	27	46	0	-1	-6	-17	-10	-17
E4	27	30	53	27	27	48	0	0	-3	-10	-5	-10
E5	27	31	53	27	30	52	0	0	-1	-2	-1	-2

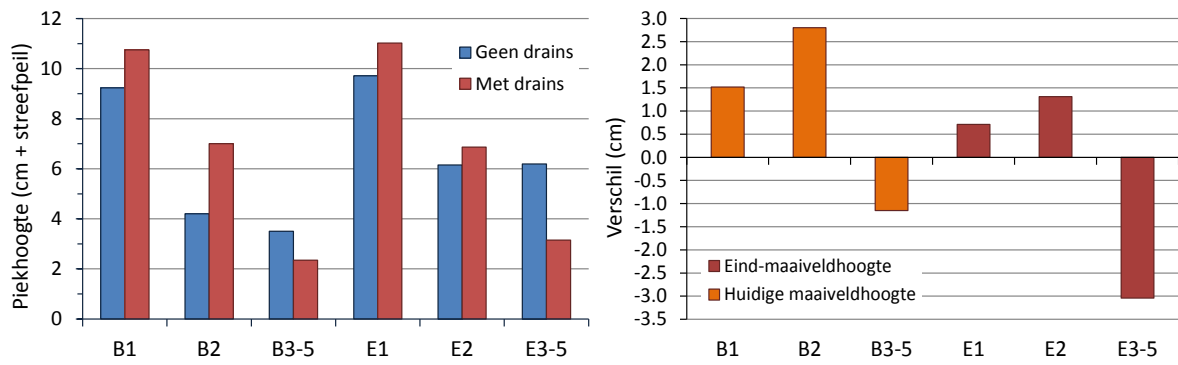
veroorzaken. Het verschil bedraagt 1,5 cm (Figuur 4.9) en wordt veroorzaakt door het sneller droog-trekken van de veenbodem in de optie met drains. Na twee dagen is het peilverschil tussen de opties zonder en met drains weer verdwenen. Het verschil in bemaling tussen de beide opties bedraagt 4% bij de huidige maaiveldhoogte en 1% bij de maaiveldhoogte over 50 jaar (Tabel 4.5).

Scenario's B3-5 en E3-5 tonen aan dat de strategie om geen water in te laten vóór een te verwachte extreme bui in het voordeel werkt van toepassen van onderwaterdrains: in de optie mét drains wordt door de snellere infiltratie een grotere potentie voor waterberging in de sloot gecreëerd waardoor de piek minder hoog wordt. Door de grotere wegzijging in de situatie met drains over vijftig jaar, werkt dit mechanisme in de E-scenario's sterker: het verschil in piekhoogte bedraagt hier 3 cm tegen een kleine cm in de B-scenario's.

Het minder diep uitmalen werkt alleen positief bij het toepassen van onderwaterdrains voor scenario B5. In de scenario's B4, E4 en E5 moet er een keer extra worden bemalen in vergelijking met B3 en E3 (Figuur 4.8 en Tabel 4.5). Als de bui op dag 9,5 niet was gevallen, dan was het extra bemalen niet nodig geweest. Maar ook niet-bemalen onder deze omstandigheid voorkomt waarschijnlijk waterinlaat. In B3 zou direct na de laatste bemaling op het einde van dag 10 in de optie zónder drains waterinlaat plaatsvinden als dat was toegestaan in het model. Met minder diep uitmalen was dat niet nodig geweest.

Deze beschrijving van de verschillende reacties van het systeem zonder drains en het systeem met drains op een extreme bui maakt duidelijk dat bij volledig automatische systemen met eenvoudige beslisregels (peilen voor start en stop van de uitslag) het toeval een grote rol speelt. Was de bui een dag eerder gevallen dan had de optie mét drains geprofiteerd van de gunstige uitgangspositie. Met de huidige mogelijkheden om neerslag te voorspellen, zal in werkelijkheid zo kort voor verwachte intensieve neerslag geen water worden ingelaten of in ieder geval de inlaat eerder worden gestopt.

De conclusie is dat met verstandig en met kennis van het toekomstige weer bemalen en inlaten kan worden bespaard op water uitmalen en inlaten. Hiermee kunnen eventueel negatieve effecten van onderwaterdrains op het verwerken van extreem natte of droge omstandigheden worden verminderd of voorkomen. Dat is hier aangetoond aan de hand van een extreme bui, maar geldt natuurlijk in algemene zin. Bij te verwachte extreme droogte kan juist in een voorafgaande nattere periode wat meer water worden vastgehouden. Met onderwaterdrains kan daarbij sneller worden geschakeld waardoor effectiever gebruik kan worden gemaakt van de veenbodem als buffer en reservoir van water. Om hier adequaat gebruik van te maken vergt maatwerk.



**Figuur 4.9** Piekhoogten ten opzichte van referentiepeil voor de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains in Peilvak 9 (links) en het verschil daartussen (rechts). Voor verklaring van de scenariocodes, zie tekst.

---

## 5 Resultaten waterkwaliteit

Dit hoofdstuk bespreekt de resultaten van de modelberekeningen van de effecten van onderwaterdrains op de waterkwaliteit. Deze resultaten zijn de effecten van onderwaterdrains op de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten. Voor de eutrofiëring van het oppervlaktewater is deze belasting belangrijker dan de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater (uitspraak van deskundigen in Hendriks en Van den Akker, 2012). Processen in het oppervlaktewater konden in onderhavige studie niet worden meegenomen. De modeluitkomsten van uitspoelingsmodel ANIMO beperken zicht tot de belasting van het oppervlaktewater met fosfor, stikstof en sulfaat door af- en uitspoeling vanaf en vanuit de veenbodem.

Voor de effecten van onderwaterdrains zijn de uitspoelingsvrachten ook de meest relevante aspecten van de waterkwaliteit. Onderwaterdrains versnellen de wateruitwisseling tussen perceel en sloot. Het gevaar bestaat dat ze daarmee ook de uitspoeling van nutriënten uit mest en uit de veenbodem versnellen en zo de belasting vergroten.

Berekeningen naar de effecten van onderwaterdrains op de waterkwaliteit zijn gedaan voor de twee nutriëntenthema's 'afwenteling' en 'waterkwaliteit', zoals beschreven in Bijlage 1 (B1.3). Omdat de richting van de uitkomsten voor beide thema's gelijk is, zijn hier alleen de resultaten van 'afwenteling' - netto uitspoelingsvrachten op jaarbasis - besproken. In Bijlage 4 zijn alle berekeningsresultaten van beide thema's opgenomen.

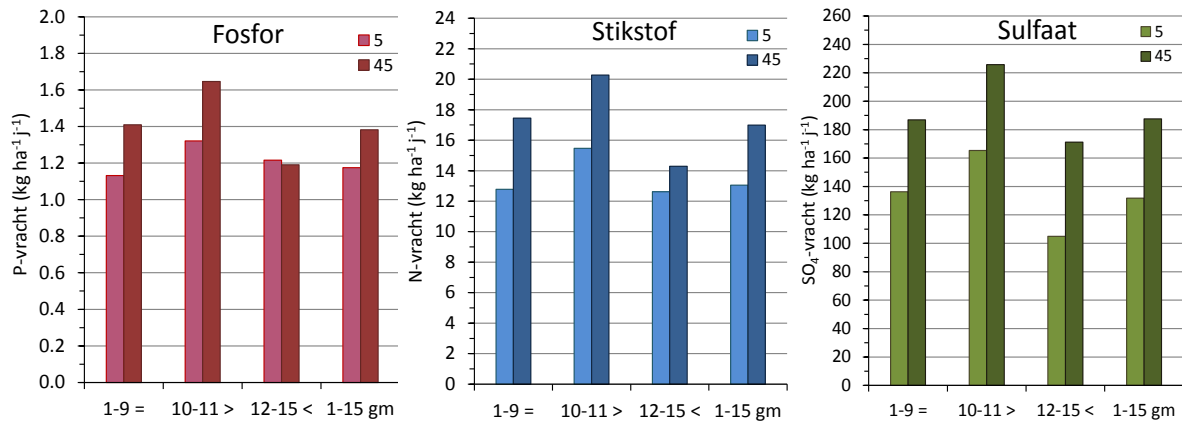
Uitspoelingsvrachten van nutriënten worden sterk bepaald door de watervrachten die uitstromen. Daarom zijn net als bij de waterbalans van Peilvak 9 (subparagraaf 4.1.1) twee processen die onderling zijn verweven belangrijk bij het analyseren en bespreken van de nutriëntenbelasting:

1. De ontwikkeling in de toekomst onder invloed van de maaiveldddaling (paragraaf 5.1);
2. Het effect van onderwaterdrains op deze ontwikkeling en in algemene zin op nutriëntenbelasting (paragraaf 5.2).

### 5.1 Toekomstoptie zónder onderwaterdrains: autonome ontwikkeling

In de autonome ontwikkeling zónder onderwaterdrains blijft het maaiveld van Peilvak 9 dalen met een snelheid gelijk aan de huidige. Dit heeft belangrijke gevolgen voor de waterbalans van de percelen (zie 4.1) en daardoor ook voor de nutriëntenbelasting. Figuur 5.1 toont de uitkomsten van de modelberekeningen voor de toekomstoptie zónder onderwaterdrains als netto uitspoelingsvrachten (uitspoeling min infiltratie) naar het oppervlaktewater voor de huidige situatie als gemiddelden van de eerste tien jaar (decennium), en voor de toekomst na vijftig jaar als gemiddelden van het vijfde decennium. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de deelgebieden van de drie droogleggingsklassen die geschikt, te droog en te nat zijn voor onderwaterdrains.

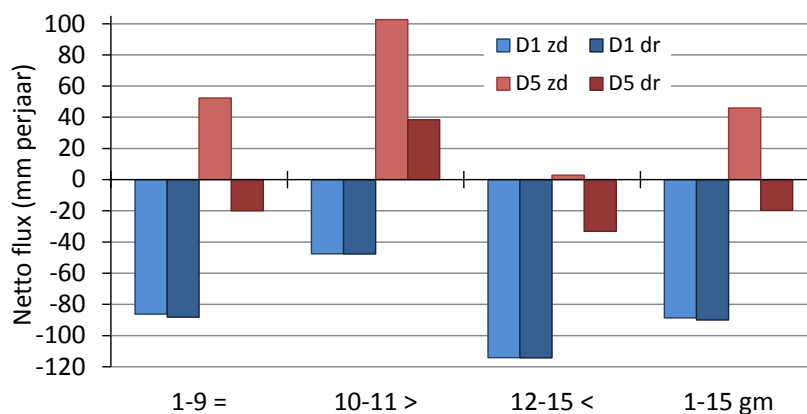
Duidelijk is te zien dat bij alle combinaties van nutriënten en droogleggingsklassen de uitspoelingsvrachten toenemen in de tijd. Uitzondering is fosfor in de natte deelgebieden 12-15. Oorzaak van deze toename is de toename van de wateruitstroming. Uit- en afstromend water is het transportmedium voor uit- en afspoelende nutriënten. Tabel 4.1 laat zien dat de netto drainageflux (drainage min infiltratie) van het eerste naar het vijfde decennium toeneemt met gemiddeld 83% voor het peilvak. Dit zijn de voor neerslagoverschot gecorrigeerde drainagefluxen. De nutriëntenberekeningen zijn echter gedaan op basis van de oorspronkelijke niet-gecorrigeerde drainagefluxen; deze nemen in deze tijdspanne toe met 29% (Tabel B3.1, Bijlage 3). De netto uitspoelingsvrachten gemiddeld voor het peilvak nemen van het eerste naar het vijfde decennium toe voor fosfor, stikstof en sulfaat met 18%, 30% en 42%. Dit is een orde van grootte die overeenkomt met de toename van de netto drainageflux.



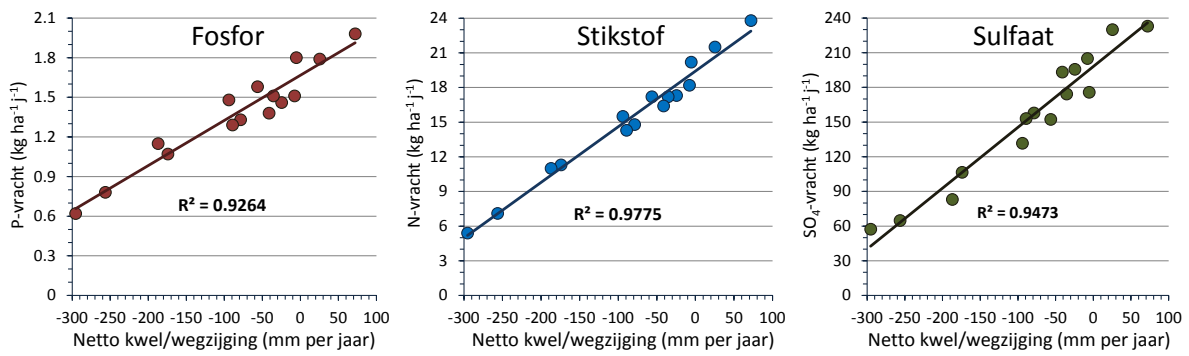
**Figuur 5.1** Berekende netto belasting van het oppervlaktewater van Peilvak 9 met fosfor, stikstof en sulfaat in de 'huidige' situatie na vijf jaar (5) en in de toekomstoptie zónder onderwaterdrains na vijfenvestig jaar (45). Onderscheid is gemaakt tussen de deelgebieden geschikt voor drains (1-9 =), deelgebieden met te grote drooglegging voor drains (10-11 >), deelgebieden met te kleine drooglegging voor drains (12-15 <), en het peilvakgemiddelde (1-15 gm). De vrachten zijn de areaalgewogen jaargemiddelden van het eerste en vijfde decennium (jaren 1-10 en 41-50). Ze zijn uitgedrukt in kg per ha totale oppervlakte: land plus water.

Hoewel de netto drainagefluxen voor alle nutriënten hetzelfde zijn, zijn er toch duidelijke verschillen in de toename van de uitspoeling tussen de nutriënten. De relatieve toename van de netto stikstofuitspoeling is gelijk aan de relatieve toename van de netto drainage. Fosfor heeft daarentegen een kleinere relatieve toename en sulfaat een grotere. Deze afwijkende resultaten komen vooral door veranderingen in de drooglegging van de twee droogleggingsklassen met deelgebieden 10-11 en 12-15 die ongeschikt zijn voor onderwaterdrains. Bij beide klassen neemt de drooglegging toe in de tijd (Figuur 3.8). Voor fosfor is dat gunstig (uitspoeling verlagend) omdat fosfor beter wordt gebonden in de drogere top van het profiel. Bij sulfaat is dat ongunstig (uitspoeling verhogend) omdat er in de drogere zone rond de GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand) meer sulfaat wordt geproduceerd door pyrietoxidatie (zie Hendriks en Van den Akker, 2012). Daarnaast speelt bij de natte deelgebieden 12-15 nog een rol dat ze in het vijfde decennium de helft minder mest krijgen toegediend (zie 2.3.3.3, 3. randvoorwaarden).

De toename van de netto drainage is een gevolg van de afname van de wegzijging door de voortdurende maaiveldval, zoals beschreven in 4.1.1. Hoe de afname van de wegzijging verloopt van het eerste naar het vijfde decennium toont Figuur 5.2 voor de drie droogleggingsklassen en het peilvak.



**Figuur 5.2** Netto onderrandfluxen als kwel (positief) of wegzijging voor de drie droogleggingsklassen en het gehele peilvak zónder (zd) en mét onderwaterdrains (dr) voor het eerste (D1) en het vijfde decennium (D5). De fluxen zijn de areaalgewogen jaargemiddelden van de twee decennia. Zie Figuur 5.1 voor verklaring van de droogleggingsklassen.

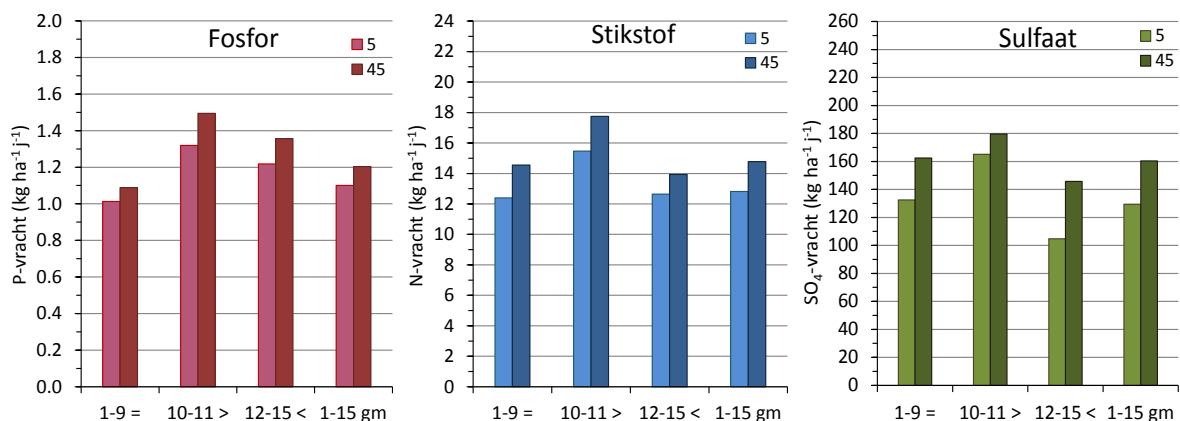


**Figuur 5.3** Verband tussen de netto fosfor-, stikstof- en sulfaatvrachten naar het oppervlaktewater en de netto onderrandflux in de vorm van netto kwel (positief) en wegzijging in Peilvak 9. Vrachten en fluxen zijn jaargemiddelden van de vijftien deelgebieden in het peilvak voor de situatie zonder drains in het eerste decennium.  $R^2$  is een maat voor de sterkte van het verband, maximum = 1,0.

Er blijkt een sterke relatie te zijn tussen de omvang van de netto nutriëntenbelasting en de mate van wegzijging of kwel. Figuur 5.3 toont deze relatie voor de vijftien deelgebieden in het eerste decennium en zónder onderwaterdrains. Deze situatie kan worden beschouwd als een goede referentiesituatie omdat de wegzijging dan nog groot is en er geen verstoring is van onderwaterdrains die in een deel van het peilvak liggen. Alle determinatiecoëfficiënten ( $R^2$ ) zijn ruim groter dan 0,9 wat een sterk verband aangeeft. Dit verband is omgekeerd evenredig: meer wegzijging betekent een evenredig lagere belasting van het oppervlaktewater met nutriënten. De combinatie van deze figuur met Figuur 5.2 geeft grotendeels de verklaring voor de toenames van de nutriëntenbelasting van Figuur 5.1.

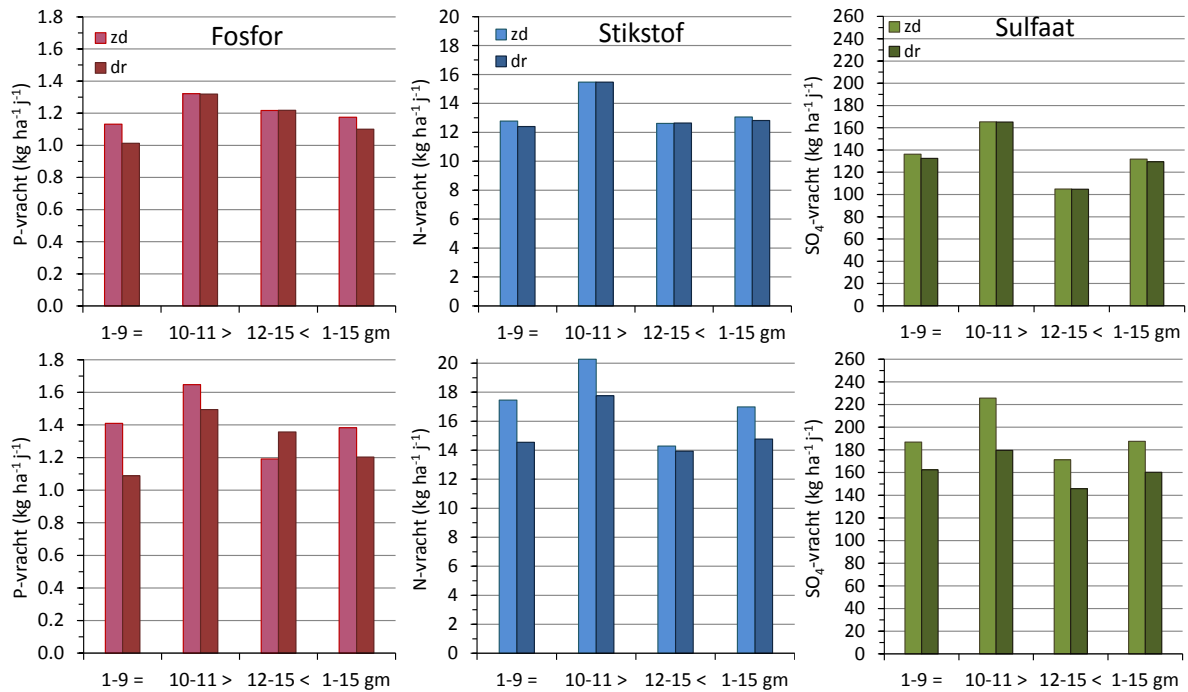
## 5.2 Toekomstoptie mét onderwaterdrains: effecten van drains

In de toekomstoptie mét onderwaterdrains neemt door de geremde maaiveldvaling de wegzijging minder af (Figuur 5.2). Hierdoor is de toename van de netto drainage kleiner dan in de toekomstoptie zónder drains: 12% toename in plaats van 29%, een vermindering met ruim de helft (59%). Als gevolg daarvan is de toename van de nutriëntenbelasting ook de helft kleiner dan in de optie zónder drains: gemiddeld voor het peilvak voor fosfor een toename met 9% in plaats van 18%, voor stikstof met 15% in plaats van 30% en voor sulfaat met 24% in plaats van 42% (Figuur 5.4).



**Figuur 5.4** Berekende netto belasting van het oppervlaktewater van Peilvak 9 met fosfor, stikstof en sulfaat in de toekomstopties mét onderwaterdrains na vijf jaar (5) en na vijfenveertig jaar (45). Onderscheid is gemaakt tussen de deelgebieden met drooglegging geschikt (1-9 =), te groot (10-11 >) en te klein (12-15 <) voor onderwaterdrains, en het peilvakgemiddelde (1-15 gm). De vrachten zijn de areaalgewogen jaargemiddelden van het eerste en vijfde decennium (jaren 1-10 en 41-50), uitgedrukt in kg per ha totale oppervlakte: land plus water.





**Figuur 5.5** Netto belasting van het oppervlaktewater met fosfor, stikstof en sulfaat in de situaties zónder (zd) en mét drains (dr) in Peilvak 9 voor het eerste decennium (boven) en het laatste decennium (onder). Onderscheid is gemaakt tussen de deelgebieden met drooglegging geschikt (1-9 =), te groot (10-11 >) en te klein (12-15 <) voor onderwaterdrains, en het peilvakgemiddelde (1-15 gm). De vrachten zijn de areaalgewogen jaargemiddelden van de twee decennia, uitgedrukt in kg per ha totale oppervlakte: land plus water.

Dit 'watervrachteffect' is een basaal mechanisme dat voornamelijk het langetermijneffect van onderwaterdrains op de nutriëntenbelasting bepaalt. Daarnaast spelen andere, meer directe effecten van onderwaterdrains op de nutriëntenprocessen in de veenbodem. Dat blijkt uit de resultaten voor deelgebieden 1-9 waarin de drains liggen. De verhouding tussen de vracht van rekenresultaat '45 dr' mét onderwaterdrains en de vracht van rekenresultaat '45 zd' zónder drains, is bij alle nutriënten verschillend (Figuur 5.5). Dit terwijl het watervrachteffect voor alle nutriënten gelijk is. Dit kan alleen als bij elk nutriënt bij toepassing van onderwaterdrains verschillende andere processen van belang zijn. Welke dat zijn, wordt uitgebreid behandeld in Hendriks en Van den Akker (2012).

De vergelijking van de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains per decennium is weergegeven in Figuur 5.5 en Tabel 5.1. In het eerste decennium, als de maaiveldhoogte in beide toekomstopties nog gelijk is, neemt door toepassing van onderwaterdrains bij alle nutriënten de belasting enigszins af in de deelgebieden waarin de drains liggen en daardoor gemiddeld over het gehele peilvak. Want in de deelgebieden zonder drains treedt geen verandering op. Belangrijke conclusie uit de afname van de belasting bij alle nutriënten is dat de gehanteerde drooglegging van 44 cm uit het oogpunt van nutriëntenbelasting zeer gunstig is. De optimale drooglegging verschilt sterk voor de drie nutriënten, maar de gehanteerde drooglegging blijkt een goed compromis. Voor de achtergrond hiervan wordt verwezen naar de uitgebreide analyses in Hendriks en Van den Akker (2012).

In de toekomstoptie mét drains zijn in het vijfde decennium de netto nutriëntenvrachten peilvakgemiddeld voor fosfor en stikstof 13% en voor sulfaat 15% kleiner dan in de optie zónder drains (Tabel 5.1). In de deelgebieden waarin de drains liggen zijn de netto vrachten 13% (sulfaat) tot 23% (fosfor) kleiner dan in de optie zónder drains. Alleen bij fosfor daalt in deze deelgebieden door toepassing van onderwaterdrains de belasting tot onder het huidige niveau. In deze toekomstoptie bestaat gemiddeld voor het peilvak nog netto wegzijging. Alleen de deelgebieden in klasse '10-11 >' kennen dan kwel (Figuur 5.2). De afname van de nutriëntenbelasting is voor het grootste deel het gevolg van de geringere kwel en de grotere wegzijging ten opzichte van de optie zónder drains. Toch zijn ook andere (nutriënten)processen van belang.

Tabel 5.1

Effecten van onderwaterdrains op de netto fosfor-, stikstof- en sulfaatbelasting als verschillen tussen 'mét drains' en 'zónder drains' (mét minus zónder) in klassen van deelgebieden in Peilvak 9 en gemiddeld in het peilvak, voor het eerste decennium en het vijfde decennium. Verschillen zijn absoluut weergegeven en als relatief verschil (%) ten opzichte van 'zónder drains'. Waarden zijn areaalgewogen jaargemiddelden. Voor betekenis van de klassen, zie Figuur 5.5. Rode cellen geven een verhoging van de belasting door drains aan.

Nutriënt	Weergave verschil	Eerste decennium, per klasse:				Vijfde decennium, per klasse:			
		1-9 =	10-11 >	12-15 <	1-15 gm	1-9 =	10-11 >	12-15 <	1-15 gm
Fosfor	kg P ha <sup>-1</sup> j <sup>-1</sup>	-0,12	0,00	0,00	-0,08	-0,32	-0,15	0,17	-0,18
	%	-10,5	-0,1	0,1	-6,4	-22,8	-9,2	13,9	-13,0
Stikstof	kg N ha <sup>-1</sup> j <sup>-1</sup>	-0,4	0,0	0,0	-0,2	-2,9	-2,5	-0,4	-2,2
	%	-3,0	0,0	0,2	-1,8	-16,7	-12,5	-2,5	-13,1
Sulfaat	kg SO <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> j <sup>-1</sup>	-3,8	-0,2	-0,2	-2,5	-24,5	-46,1	-25,5	-27,3
	%	-2,8	-0,1	-0,2	-1,9	-13,1	-20,4	-14,9	-14,5

Dit blijkt uit de resultaten voor fosfor in de optie mét drains in het natte gebiedsdeel '12-15 <'. Deze geven als effect van toepassing van onderwaterdrains een verhoging van de netto fosforbelasting met 14%. Dit terwijl fosfor in de deelgebieden 1-9 die de drains bevatten de grootste relatieve verlaging van 23% laat zien van alle nutriënt-droogleggingsklasse-combinaties. De netto stikstofbelasting kent voor de deelgebieden van klasse '12-15 <' een veel geringere verlaging door toepassing van onderwaterdrains dan in de deelgebieden die de drains bevatten. Bij sulfaat is er juist een wat grotere relatieve verlaging te zien in de deelgebieden van klasse '12-15 <'.

De oorzaak van deze trends is dat droogleggingsklasse '12-15 <' de zeer natte deelgebieden bevat die in de optie met onderwaterdrains een drooglegging kleiner dan 20 cm hebben. Natte veenweiden en bemesting vormen vanuit het oogpunt van nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater een slechte combinatie (Hendriks, 1997 en 2003; Hendriks *et al.*, 2008). Om die reden is in de modelberekeningen de fosfor- en stikstofbemesting van dit gebiedsdeel in het vijfde decennium gehalveerd, voor zowel de berekeningen zonder als die met drains. Voor fosfor is deze halvering niet voldoende om te voorkomen dat onder deze extreem natte omstandigheden meer meststoffen versneld worden afgevoerd. Maar ook in de toplaag van het profiel gebonden fosfor spoelt onder deze natte omstandigheden sneller uit. In de toekomstoptie zónder drains is de drooglegging in gebiedsdeel '12-15 <' gemiddeld 35 cm en is dit gebiedsdeel veel minder kwetsbaar voor de fosfor- en stikstofuitspoeling. De netto fosfor- en stikstofbelasting zijn dan gegeven de 'geringere wegzijging' (of grotere kwel) in dit gebiedsdeel ten opzichte van de situatie met drains relatief laag.

Voor sulfaat zijn de extreem natte omstandigheden juist gunstig want deze remmen de pyrietoxidatie, de grootste sulfaatbron in het model. Maar ook de forse verlaging van de drooglegging van deelgebieden 10-11 (zie Figuur 3.6) heeft een sterk verminderend effect op de sulfaatuitspoeling; een effect dat met 20% de grootste vermindering is van de sulfaatuitspoeling. Sulfaat is gevoelig voor toepassen van onderwaterdrains bij grote drooglegging; de sulfaatuitspoeling neemt dan (fors) toe (Hendriks en Van den Akker, 2012).

Een heel ander aspect van de verandering in de nutriëntenbelasting die onderwaterdrains teweegbrengen is de verschuiving in transportroutes. Zonder drains stroomt het naar de sloot afgevoerde water door de slootbodem (30-50%) of langs de slootwand (50-70%). Bij drains stroomt het grootste deel (60-90%) van het afgevoerde water door de drains direct in het slootwater en komt niet direct in contact met slootbodem of slootwand (Hendriks en Van den Akker, 2012). Dit kan van invloed zijn op de lotgevallen van de uit/afspoelende nutriënten in de sloot.

In Bijlage 4 worden meer uitgebreide resultaten van de modelberekeningen van de nutriëntenbelasting gegeven. Zo wordt onderscheid gemaakt tussen de twee nutriëntentema's 'afwenteling' en 'zomerwaterkwaliteit' naar Hendriks en Van den Akker (2012), en worden resultaten voor de vijftien afzonderlijke deelgebieden gegeven.

---

# 6 Discussie, conclusies en aanbevelingen

## 6.1 Discussie

### 6.1.1 Kanttekeningen bij de modelberekeningen

Deze verkennende modelstudie had een beperkte omvang en moest daarom voldoen aan een aantal randvoorwaarden. Zo was het maximale aantal rekeneenheden in de vorm van deelgebieden op vijftien gesteld en was er weinig ruimte om meer gedetailleerde gebiedsinformatie te verzamelen voor invoer in de modellen. De modelresultaten geven daarom vooral de grote lijn voor de effecten van toepassen van onderwaterdrains in het peilvak.

Met het beperkte aantal van vijftien deelgebieden is het niet altijd gelukt om aan de eisen van uniformiteit van percelen binnen een deelgebied te voldoen. Van de vijftien deelgebieden komen negen in aanmerking voor onderwaterdrains, omdat hun gemiddelde drooglegging kleiner is dan 60 cm en groter dan 35 cm. Dit komt overeen met 63% van het areaal van het peilvak. Deelgebieden zijn rekeneenheden waarbinnen alle omstandigheden gelijk moeten zijn. Elk deelgebied heeft één maaiveldhoogte en daardoor één drooglegging. Percelen binnen een deelgebied kunnen wel verschillen vertonen in drooglegging, maar die worden 'weggemiddeld'. In de praktijk zal de mogelijkheid om onderwaterdrains aan te leggen echter per perceel worden beoordeeld. Zo komen in de vier natte deelgebieden 12 tot en met 15 min of meer geïsoleerde percelen voor waarvan de drooglegging wél groot genoeg is voor onderwaterdrains. Dan blijkt dat ruim 70% van het gebied geschikt is voor toepassing van onderwaterdrains. Met meer deelgebieden was het mogelijk geweest meer detail aan te brengen in de gebiedsschematisering.

Voor de maaiveldddaling geldt bovengenoemde beperking naar verwachting het minst. De berekende maaiveldddaling is getoetst aan historische maaiveldddalingen die zijn geschat uit historische metingen van de maaiveldhoogte. Het model overschat deze geschatte maaiveldddaling gemiddeld voor het peilvak met 10%. Dit heeft geen gevolgen voor de berekende, relatieve effecten van onderwaterdrains op de maaiveldddaling. Voor de afzonderlijke deelgebieden wijken de modelberekeningen meer af van de schattingen. Oorzaken daarvan worden uitvoerig besproken in 6.1.2.

Een onzekerheid in de modelberekeningen zijn de aannamen voor de toekomstige waarden van de bovenrandvoorwaarden neerslag en verdamping, en van de onderrandvoorwaarde stijghoogte van het diepere grondwater dat mede wegzijging en kwel bepaalt. Door gebruik te maken van gegevens van de laatste vijftig jaar is er voor gekozen om geen klimaatscenario mee te nemen. Dit kan wel heel interessant zijn omdat hogere temperaturen en drogere zomers met hevigere neerslagbuien zullen leiden tot grotere (tot 50%) maaiveldddaling, grotere waterbehoefte en meer wateroverlast.

In het verloop van de stijghoogten van het diepere grondwater is in de modelberekeningen een daling van 7 cm in veertig jaar tijd opgenomen. Dat ligt in de orde van grootte van de verwachte daling ten gevolge van meer water uitmalen uit het peilvak en uit de omliggende veenweidegebieden. Wat de stijghoogte in de toekomst doet, vooral onder invloed van een veranderend klimaat, is moeilijk te voorspellen. Theoretisch behoren zowel een stijging als een daling tot de mogelijkheden. In de modelstudie was niet voorzien in het berekenen van onzekerheidsintervallen rond de modelresultaten, met het oog op onzekere invoer als de meteorologische gegevens en de stijghoogten. Het punt van de stijghoogten wordt uitgebreid behandeld in Bijlage 5.

Voor de berekening van de toekomstige bodemdaling is bij de berekening van de waterhuishouding voor elke tien jaar steeds de maaiveldhoogte aan het begin van deze periode gebruikt. Dit terwijl deze in werkelijkheid gedurende deze tien jaar daalt. Gezien de andere onzekerheden in de modelinvoer is het effect van deze vereenvoudiging naar verwachting niet erg groot.

---

## 6.1.2 Betrouwbaarheid berekeningen maaiveldddaling

Voor de in paragraaf 3.2 geconstateerde verschillen tussen berekende en 'gemeten' maaiveldhoogten voor het Peilvak, gebiedsgemiddeld en op deelgebiedniveau, zijn verschillende mogelijke oorzaken aan te geven. Deze kunnen in beide componenten van de vergelijking zitten: de berekeningen en de (schattingen uit) metingen.

### 6.1.2.1 Berekeningen

Aan de kant van de berekeningen kunnen drie bronnen van fouten worden onderscheiden:

1. het empirische model van de maaiveldddaling voldoet niet;
2. het SWAP-model is niet precies genoeg afgesteld voor het gebied;
3. de in het model ingevoerde gegevens van het gebied zijn niet nauwkeurig en/of te weinig gedetailleerd.

#### ad. 1 Empirische model van de maaiveldddaling voldoet niet

Het empirische model om de maaiveldddaling te berekenen uit de laagste grondwaterstanden is afgeleid uit metingen van maaiveldddaling en grondwaterstanden in een beperkt aantal verschillende veenweidegebieden. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen gebieden zonder en gebieden met een kleidek, zodat twee modellen zijn gemaakt. Deze modellen beschrijven de 'grote lijn' van de gemeten waarden, waardoor gebiedsspecifieke afwijkingen niet door het model kunnen worden beschreven. Bovendien liggen er geen gegevens uit Peilvak 9 ten grondslag aan de twee modellen. Zo kan het model voor veenbodems zonder kleidek de maaiveldddaling van Peilvak 9 overschatten, wat de onderschatting van de gebiedsgemiddelde maaiveldhoogte zou verklaren.

Voor de specifieke deelgebieden met een kleidek, 4 en 10, is de maaiveldhoogte overschat door het model. De maaiveldddaling wordt onderschat door het model. De oorzaak hiervan is dat de veengronden met kleidek in Peilvak 9 weideveengronden zijn, terwijl voor de afleiding van de empirische relatie meetgegevens van waardveengronden met een vrij dik (30-40 cm) kleidek zijn gebruikt. Het kleidek van een waardveengrond is duidelijk kleiiger en zwaarder dan dat van een weideveengrond en in het algemeen ook wat dikker. Op weideveen gaat het vaak om lagen venige klei met daarbovenop een dun laagje (5-10 cm) kleiig veen. De dikte van het kleidek in Peilvak 9 was niet bekend.

De verschillen tussen berekeningen en metingen kunnen echter ook zijn veroorzaakt doordat het model SWAP niet de juiste laagste grondwaterstanden berekent. Dat wordt in de volgende twee punten behandeld.

#### ad. 2 SWAP-model niet goed afgesteld

SWAP is gekalibreerd (geijkt) op twee proefvelden in het uiterste noordoosten van het peilvak. Deze liggen aan de oostgrens van deelgebied 1 met de rand van het peilvak. Het is heel goed mogelijk dat een model dat is afgesteld voor een klein deeltje van het peilvak op andere plaatsen minder goed voldoet. Dat kan te maken hebben met (detail)verschillen in de bodemopbouw, in perceelsbreedten en slootdiepten, in de toestand van de graszode en veel meer. Bovendien is het ook goed mogelijk dat de historische toestand afwijkend was van de huidige.

#### ad. 3 Onnauwkeurige of te weinig-gedetailleerde invoergegevens

Invoergegevens van SWAP zijn verkregen van de proefpercelen en uit algemene bestanden en gegevensbronnen. Ze zijn per deelgebied ingevoerd. Randvoorwaarde van het project was dat niet meer dan vijftien deelgebieden waarvoor SWAP-berekeningen zouden worden gedaan, werden onderscheiden. Om alle unieke situaties in het peilvak in het model te kunnen onderscheiden, bleek vijftien een te klein aantal.

Maar daarnaast was het ook niet mogelijk binnen de randvoorwaarden van het project om voor de onderscheiden vijftien deelgebieden genoeg nauwkeurige gegevens te verkrijgen over zaken als bodemopbouw en -eigenschappen, stijghoogten van het diepere grondwater, historische drooglegging en peilhandhaving, historische gewassen enz. Wellicht zijn in het verleden onderbemalingen toegepast, bijvoorbeeld in de vroege periode van 1961-1970 als de drooglegging ook bij de hooggelegen deelgebieden klein is, volgens de beschikbare gegevens minder dan 25 cm.

---

Twee deelgebieden springen er sterk uit: 9 en 11. De overschatting van de maaiveldddaling bedraagt hier respectievelijk 45% en 60%. Opvallend aan deze deelgebieden is dat ze samen de meest westelijke rand van het peilvak vormen. Dit suggereert dat aan deze rand afwijkende omstandigheden gelden die in de vrij globale aanpak binnen deze modelstudie niet zijn meegenomen. Dat zouden afwijkende bodemomstandigheden kunnen zijn zoals een dikker toemaakdek (persoonlijke communicatie Maarten Ouboter) en/of een minder diepe stijghoogte onder dit deel van het peilvak zodat een minder grote wegzijging optrad dan nu door het model is ingeschat. Als de fout in de maaiveldddaling van die deelgebieden zou worden gecorrigeerd door de begin-maaiveldhoogten in 1961 aan te passen dan zou dat veel (14-27 cm) grotere hoogten dan de gebiedsgemiddelde hoogte van -176 cm + NAP opleveren. Dat is niet waarschijnlijk. Het is daarom meer waarschijnlijk dat aan de westrand van het peilvak belangrijke omstandigheden anders zijn (geweest) dan nu in de modellering is meegenomen.

#### **6.1.2.2 Metingen**

Een mogelijkheid voor de verschillen tussen berekeningen en metingen is dat de metingen van het maaiveld van 1961 en 1968 niet precies genoeg zijn. Bij een realistische berekende maaiveldddaling maar met een verkeerde begin-maaiveldhoogte is het eindresultaat in de vorm van de maaiveldhoogte in 2008 ook afwijkend van de realiteit. De maaiveldhoogte uit het AHN2 is met grote precisie berekend op basis van gridpunten van 5 x 5 m en met correctie van sterk afwijkende gridpunten die oppervlaktewater of verhogingen kunnen zijn.

De historische metingen uit 1961 en 1968 zijn verkregen door waterpassing van 292 punten in het peilvak wat neerkomt op een dichtheid van 1,04 punt per ha (Bijlage 2). Dat is erg weinig voor het vaststellen van een nauwkeurige gebiedsgemiddelde maaiveldhoogte. Bovendien is niet duidelijk wanneer de metingen zijn gedaan. Binnen een jaar kan de maaiveldhoogte van een veenweide al snel 5 cm variëren door omkeerbare krimp. Ook tussen jaren kunnen verschillen ontstaan door omkeerbare krimp. Na een reeks van droge jaren kan het maaiveld daardoor decimeters zakken. In een volgende natte tijd wordt deze daling weer ongedaan gemaakt door zwellen van het veen. Een gebiedsgemiddelde afwijking van 10 cm kan daarom al snel zijn opgetreden.

Als dat speelt dan kan dat nog niet voor alle afwijkingen tussen model en metingen een verklaring zijn. De deelgebieden met een kleidek, 4 en 10, zouden een initiële maaiveldhoogte in 1961 moeten hebben gehad van respectievelijk -185 cm + NAP en -170 cm + NAP. Dat is niet onmogelijk maar ook niet erg waarschijnlijk, want dan zouden deze deelgebieden met kleidek in die tijd niet meer tot de categorie deelgebieden horen met het hoogste maaiveld.

#### **6.1.2.3 Conclusies**

De met het model berekende maaiveldddaling heeft de juiste orde van grootte. Gemiddeld gezien lijkt het model de maaiveldddaling in de orde van 10% te overschatten.

Voor sommige deelgebieden van het peilvak wijken de modelberekeningen meer af van de (schattingen uit) metingen. Oorzaken zijn:

- Het model is niet precies genoeg: dit geldt vooral voor de empirische vergelijking van de maaiveldddaling van veenbodems met een kleidek. Deze lijkt de maaiveldddaling van de bodems met een kleidek van Peilvak 9 te onderschatten.
- Het historische werkelijke verloop van de slootpeilen was niet goed bekend. Er zijn wel historische streefpeilen bekend, maar het is niet duidelijk bekend hoe goed die werden gehandhaafd, zowel in de tijd (beheer) als in de ruimte (lokale afwijkingen als onderbemalingen).
- Het model is gevoed met informatie die niet precies genoeg is om de ruimtelijke spreiding in hydrologische en bodemeigenschappen van het peilvak goed te beschrijven.
- De beschikbare metingen van de historische maaiveldhoogte in 1961 en 1968 zijn niet precies genoeg. Gezien de aard en dichtheid van de metingen is het goed mogelijk dat een afwijking van 10 cm bestaat in de schatting van het historische maaiveld.

Samenvattend zijn, gezien het globale doel en randvoorwaarden van de studie, voldoende nauwkeurige toekomstige maaiveldddalingen berekend met het model.

---

### 6.1.3 Gevolgen van remmen maaiveldddaling door toepassen van onderwaterdrains

De modelberekeningen laten een tweedeling in de maaiveldhoogten van het gebied zien na vijftig jaar toepassing van onderwaterdrains: een deel van 70% van het areaal met een goede drooglegging en het resterende deel met een kleine drooglegging van 15-30 cm. Toepassing van onderwaterdrains in het natte deel vanaf het begin zou de maaiveldddaling daar zo remmen dat het natte deel in maaiveldhoogte en drooglegging veel sneller zou toegroeien naar het overige deel. Naar verwachting zou die toestand in ongeveer 30-40 jaar zijn bereikt. Door vermindering van de bemesting zou in de aanlooptijd met (te) geringe drooglegging de extra uitspoeling van mestnutriënten naar de sloot kunnen worden beperkt.

Anderzijds biedt deze tweedeling mogelijkheden voor natte natuur naast landbouwgebied. Bij hevige neerslag kan dit natuurgebied inunderen wat een mogelijkheid voor extra waterberging geeft.

Uit het verloop van het slootpeil bij onderwaterdrains valt af te leiden dat na dertig jaar het peil meer dan 15 cm is gedaald. Momenteel is het advies om de drains met de bovenkant minimaal 15 cm onder streefpeil te leggen (Van den Akker *et al.*, 2013). Dit betekent dat de drains na dertig jaar het gevaar lopen boven de slootwaterspiegel te komen te liggen. Dit gaat ten koste van de goede infiltrerende werking van de drains. Ook is de kans dat drains door (bio)chemische processen verstopt raken groter als de drains tijdelijk droogvallen. Bij de aanleg van onderwaterdrains wordt nu uitgegaan van een afschrijvingstijd van twintig jaar (Van den Akker *et al.*, 2013). Die tijd kan in Peilvak 9 bij het toepassen van het advies van 'drains 15 cm onder peil' niet veel langer zijn. Een mogelijkheid is om de drains 5-10 cm dieper te leggen; dat geeft een extra werkingsduur van 10-20 jaar. Een alternatief is om als de drains droog lijken te vallen het peil wat hoger op te zetten. Hierbij dient wel rekening gehouden te worden met de overige randvoorwaarden zoals dat drains minimaal 45 en maximaal 75 onder maaiveld aangelegd dienen te worden.

De belangrijkste reden voor de veel grotere kans op overschrijding van het toetspeil bij onderwaterdrains is het substantiële aandeel van natte gebieden die bij niet al te grote pieken onder water komen te staan. Dit aandeel wordt groter in de tijd tot uiteindelijk de omvang van de oppervlakte van de niet gedraineerde deelgebieden is bereikt, 37% van het peilvak. Op een gegeven moment bestaat voor deze natte gebieden evenwicht tussen de drooglegging en de maaiveldddaling die dan gelijke tred houdt met de maaiveldddaling in de gebieden met onderwaterdrains. Het bestaan van zo'n evenwicht biedt kansen voor het duurzaam naast elkaar voorkomen binnen een peilvak van enerzijds landbouwgebied met drains en anderzijds 20-30 cm lager gelegen nat natuurgebied dat onderhevig is aan tijdelijke inundatie.

Na verloop van tijd ontstaat een evenwicht in maaiveldhoogteverschil tussen beide gebiedsdelen; ze dalen dan even snel. Maar de beperking van de maaiveldddaling die drains geven, moet het natte deel zonder drains halen uit de veel geringere drooglegging. Toepassen van onderwaterdrains in het laag gelegen deel - eventueel minder intensief - brengt sneller zo'n evenwicht, met uiteindelijk minimale verschillen in maaiveldhoogten.

Het effect van onderwaterdrains op de waterinlaat neemt ten opzichte van een vergelijkbare situatie zónder onderwaterdrains toe in de tijd. De belangrijkste oorzaak van die relatieve toename is niet het in absolute termen toenemen in de tijd van de inlaat bij toepassen van onderwaterdrains maar het sterk(er) afnemen van de inlaat in de situatie zonder drains door het afnemen van wegzijging of toenemen van kwel. Voor het waterbeheer is daarom vooral relevant wat de toename van de inlaat door toepassing van onderwaterdrains is ten opzichte van de huidige situatie.

Uit de berekeningen voor een extreme bui kan worden geconcludeerd dat met kennis van het toekomstige weer kan worden bespaard op water uitmalen en inlaten. Hiermee kunnen eventueel negatieve effecten van onderwaterdrains op het polderpeil door extreem natte of droge omstandigheden worden verminderd of voorkomen. Door de snellere wateruitwisseling tussen perceel en sloot kan daarbij met onderwaterdrains effectiever gebruik worden gemaakt van de veenbodem als buffer en reservoir van water. Om hier adequaat gebruik van te maken vergt maatwerk.

---

Minder diep uitmalen vlak na de bui geeft wisselende resultaten in de modelberekeningen, maar kan een interessante beheeroptie zijn vóór droge perioden. Als er na een bui droog weer verwacht wordt, moet later immers weer worden ingelaten. Bij toepassing van drains kan het peil ook wat langer hoog blijven, omdat met de drains de grondwaterstand sneller kan worden verlaagd. Zo kan met een tijdelijk wat hoger peil toch snel een beweid- en berijdbaar perceel worden verkregen.

## 6.2 Conclusies

De conclusies worden gegeven aan de hand van de deelvragen uit Hoofdstuk 1 paragraaf 1.3.

### ***Welke delen van Peilvak 9 komen in aanmerking voor toepassing van onderwaterdrains?***

Op grond van resultaten uit eerdere modelstudies naar de effecten van onderwaterdrains op de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater is een droogleggingstraject van 35-60 cm vastgesteld waarbinnen onderwaterdrains veilig kunnen worden toegepast. Uitgaande van de deelgebieden - de rekeneenheden in de modelstudie - valt 63% van het areaal van Peilvak 9 hierbinnen. In de praktijk zal de mogelijkheid om onderwaterdrains aan te leggen echter per perceel worden beoordeeld. Dan blijkt dat ruim 70% van het gebied geschikt is om onderwaterdrains in aan te leggen.

De volgende conclusies zijn afgeleid uit de resultaten van de modelberekeningen voor Peilvak 9.

### ***Wat voor effect heeft toepassing van onderwaterdrains op de maaiveldaling op de korte (tien jaar) en lange (vijftig jaar) termijn?***

Het toepassen van onderwaterdrains in Peilvak 9 geeft een ruime halvering van de maaiveldaling van 11 mm per jaar naar 5 mm per jaar in de deelgebieden waarin de drains zijn ingebracht. Deze halvering komt overeen met de praktijkervaringen die er momenteel zijn met onderwaterdrains.

In de rest van het peilvak vermindert bij toepassing van onderwaterdrains de maaiveldaling met 1,5 mm per jaar of 17%. Na tien jaar is er nog geen verschil met de toekomstoptie zonder onderwaterdrains, maar na dertig jaar bedraagt deze afname 3 mm per jaar en blijft dan vrijwel constant. De oorzaak van deze afname is dat de drooglegging in deze deelgebieden voortdurend kleiner wordt, waardoor ze steeds natter worden en minder dalen. De maaiveldaling verloopt in de deelgebieden zonder drains sneller dan in de deelgebieden met drains. Het peil wordt aangepast aan de minder snel dalende deelgebieden met drains, waardoor de peilaanpassing achterblijft bij de maaiveldaling van de snel dalende deelgebieden zonder drains.

Gebiedsgemiddeld voor het peilvak is de afname van de maaiveldaling door onderwaterdrains in vijftig jaar tijd 40% of 21 cm; van 53 cm naar 32 cm.

Na tien jaar onderwaterdrains ligt de 63% van het peilvak met de drains 6 cm hoger dan in de optie zonder drains. In de overige 37% zijn dan nog geen veranderingen in maaiveldhoogten opgetreden.

In de toekomstoptie zónder toepassing van onderwaterdrains ligt na vijftig jaar 88% van de oppervlakte van het peilvak in een gebied met een maaiveldhoogte tussen -2,80 m en -2,60 m + NAP. De drooglegging bedraagt 35-55 cm. De overige 12% ligt zo'n 30 cm hoger met een drooglegging van 75 cm. Dit zijn de veenbodems die een kleidek hebben en daardoor minder snel dalen.

Bij toepassing van onderwaterdrains is na vijftig jaar een tweedeling ontstaan: een vrij vlak gelegen deel waarin de drains liggen, dat 70% van de oppervlakte beslaat en een maaiveldhoogte heeft rond -2,40 m + NAP met daarin 10% wat (5 cm) hoger gelegen bodems met kleidek, en een gemiddeld 30 cm lager gelegen nat deel zonder drains van 30% van de oppervlakte. De drooglegging van het hoger gelegen vlakke deel bedraagt 42-48 cm, met circa 55 cm voor de wat hogere kleigronden. Het natte deel heeft en drooglegging van 20 cm of minder, waarvan een derde met een drooglegging minder dan 15 cm.

In de loop der tijd nivelleren onderwaterdrains de maaiveldalingsnelheid en maaiveldhoogte in de ruimte. In het gebiedsdeel met onderwaterdrains groeien maaiveldalingsnelheden en maaiveldhoogten

---

van de afzonderlijke deelgebieden naar elkaar toe zodat na vijftig jaar nog maar kleine onderlinge verschillen bestaan.

Het simuleren van de historische maaiveldddaling met hetzelfde instrumentarium waarmee de huidige en toekomstige maaiveldddaling zijn berekend, wijst uit dat dit instrumentarium de uit metingen geschatte historische maaiveldddaling gemiddeld voor het peilvak bevredigend kan simuleren, met een mogelijke overschatting van 10%. Gezien het globale doel en de randvoorwaarden van de studie zijn de berekende huidige en toekomstige maaivelddalingsnelheden voldoende nauwkeurig.

### ***Wat voor effect heeft toepassing van onderwaterdrains op de waterinlaat en de wateroverlast op de korte en lange termijn?***

#### **Waterinlaat en bemaling**

Veenbehoud kost water, vooral in een wegzijgingsgebied als Peilvak 9. Bij toepassen van onderwaterdrains neemt de waterinlaat op jaarbasis toe met 43 mm of 25% ten opzichte van de huidige situatie. Op de lange termijn wordt de inlaatbehoefte iets kleiner, zo'n 8 mm per jaar of 5% na veertig jaar.

De bemaling neemt bij toepassen van onderwaterdrains op de korte termijn toe met 11% ten opzichte van de optie zónder drains; na veertig jaar is er geen verschil meer. Dan is wel in beide toekomstopties de bemaling toegenomen met 35% ten opzichte van de huidige situatie door afname van de wegzijging.

Zowel zonder als met onderwaterdrains nemen in de tijd drainage uit de veenbodem en bemaling uit het peilvak toe, terwijl infiltratie in de veenbodem en waterinlaat in het peilvak afnemen. Oorzaak hiervan is de voortdurende maaiveldddaling en daaruit voortkomende peilaanpassing waardoor de wegzijging afneemt of zelfs omslaat in kwel in de situatie zonder onderwaterdrains. De mate waarin dit gebeurt is sterk afhankelijk van hoe de stijghoogte zich in de tijd ontwikkelt. In deze modelstudie neemt de stijghoogte af met 7 cm in veertig jaar tijd.

Zonder onderwaterdrains neemt de wegzijging vrij lineair af van gemiddeld 90 mm per jaar in het eerste decennium naar nul aan het einde van het derde decennium, waarna de wegzijging omslaat in kwel die gemiddeld 50 mm per jaar bedraagt in het vijfde decennium. Bij toepassing van onderwaterdrains neemt de wegzijging eveneens vrij lineair af van 90 mm per jaar naar circa 15 mm per jaar in het vijfde decennium.

Relatief gezien nemen door toepassing van onderwaterdrains de bemaling en de bemalingstijd toe met 11% in het eerste decennium. Deze toename vermindert in de tijd tot 1% in het vijfde decennium. Dit is het gevolg van de geringere afname van de wegzijging bij drains. Absoluut is de toename 32 mm per jaar in het eerste decennium en 14 mm per jaar in het vijfde decennium.

Relatief gezien neemt door toepassing van drains de inlaat toe met 25% in het eerste decennium en stijgt de toename tot 59% in het vijfde decennium ten opzichte van de optie zónder drains. Absoluut gezien is deze stijging ten opzichte van de optie zónder drains geringer: van 43 mm per jaar naar 77 mm per jaar. De absolute inlaat neemt bij toepassen van onderwaterdrains af van 215 mm per jaar in het eerste decennium naar 207 mm per jaar in het vijfde decennium. Zonder drains is de absolute afname van 172 mm per jaar naar 130 mm per jaar. Deze laatste absolute afname is groter door de snellere afname van de wegzijging in de optie zónder drains dan in de optie mét drains.

#### **Wateroverlast**

De wateroverlast, als inundatie van minstens 10% van het areaal van Peilvak 9, neemt bij toepassen van onderwaterdrains uitsluitend toe in de laaggelegen gebieden waarin geen drains liggen. Totdat er evenwicht bestaat tussen de maaiveldddaling van deze delen en de delen mét drains wordt hun drooglegging steeds kleiner, omdat ze sneller dalen dan het slootpeil. Hierdoor worden ze steeds gevoeliger voor inundatie.



---

Het is dan ook niet zozeer de hoogte van de pieken maar de lage ligging van de natte delen die de kans op inundatie bepaalt. Zo berekent het model op bepaalde momenten hogere pieken in het peil voor de situatie zónder drains dan voor de situatie mét drains, die niet tot inundatie leiden. De lagere pieken in de optie mét drains veroorzaken dan wel overstrooming van de natte delen van het peilvak.

Dat de kans op wateroverlast niet of nauwelijks wordt vergroot door de aanwezigheid van drains, maar door verschillen in maaiveld daling wordt goed geïllustreerd door de berekende effecten van een natte periode aan het begin van de simulatieperiode. Er zijn dan nog geen verschillen in de hoogte van het maaiveld in beide scenario's. De mate van 'wateroverlast' die dan wordt berekend is vrijwel identiek.

### **Extreme buien**

Onderwaterdrains geven een verhoging van pieken in het slootpeil bij extreme buien in de orde van 1-2 cm. Door het waterbeheer aan te passen aan het verwachte weer kunnen mét drains pieken beter worden verlaagd, omdat dan beter gebruik kan worden gemaakt van de bergingscapaciteit van de veenbodem zonder dat dat leidt tot percelen die langdurig te nat of te droog zijn.

Als voor de opties zónder en mét onderwaterdrains de uitgangspositie in waterberging exact gelijk is op het moment dat een extreme bui (37,5 mm in een uur) valt, dan berekent het model een piek in het peil die bij drains 1,5 cm groter is: 10,7 tegen 9,2 cm boven streefpeil. In dat geval zijn mét drains de uitslag en de bemalingstijd 4% groter dan zonder drains (1 mm en 3 uur meer).

Als een periode voorafgaand aan de bui wordt doorgerekend dan is sterk bepalend wat in die periode gebeurt. In een berekening waarin in de situatie mét drains vlak voor de bui water is ingelaten en in de situatie zónder drains niet, is het startpeil op het moment dat de bui valt bij drains 3,5 cm hoger waardoor de piek in het peil 3 cm hoger is dan in de situatie zonder drains. De uitslag en bemalingstijd zijn in die berekening 14% groter bij drains.

In de berekeningen waarin geen inlaat is toegestaan vóór de extreme bui zijn de pieken altijd lager in de toekomstoptie mét drains: 1 cm bij de begin-maaiveldhoogten in de huidige situatie en 3 cm bij de eind-maaiveld-hoogten over vijftig jaar. Door de drains is de infiltratie groter en zakt het peil verder uit, waardoor meer water in het oppervlaktewater kan worden geborgen zonder dat het peil ver boven streefpeil uitstijgt.

Bij dezelfde berekeningen maar met de eind-maaiveldhoogten na het vijfde decennium in plaats van de huidige maaiveldhoogten zijn de effecten van onderwaterdrains gunstiger door de grotere wegzijging die dan bestaat in de optie mét drains in vergelijking met de optie zónder drains. In dit verband bieden onderwaterdrains een beter toekomstperspectief voor het opvangen van extreme buien dan de optie zónder onderwaterdrains.

Minder diep uitmalen vlak na de bui geeft wisselende resultaten, maar kan interessant zijn voor droge perioden die volgen na de bui.

De samenvattende conclusie is dat met verstandig en met kennis van het toekomstige weer bemalen en inlaten kan worden bespaard op de hoeveelheid uitgemalen en ingelaten water. Hiermee kunnen eventuele negatieve effecten van drains op het verwerken van extreem natte of droge omstandigheden worden verminderd of voorkomen. Met onderwaterdrains kan daarbij effectiever gebruik worden gemaakt van de veenbodem als buffer en reservoir van water. Om hier adequaat gebruik van te maken vergt maatwerk.

### ***Wat voor effect heeft toepassing van onderwaterdrains op de oppervlaktewaterkwaliteit op de korte en lange termijn?***

Het effect van onderwaterdrains op de waterkwaliteit in het peilvak in termen van de fosfor-, stikstof- en sulfaatbelasting van het oppervlaktewater is op de korte termijn een lichte afname en op de lange termijn een afname met 10%-20% van de belasting ten opzichte van de toekomstoptie zónder drains.

Een belangrijke conclusie uit de afname van de belasting op de korte termijn (tien jaar) door toepassing van onderwaterdrains bij alle nutriënten is dat de gehanteerde drooglegging van 44 cm uit het oogpunt

---

van nutriëntenbelasting zeer gunstig is. De optimale drooglegging verschilt sterk tussen de drie nutriënten, maar de gehanteerde drooglegging blijkt een goed compromis.

Op de langere termijn treedt er een toename in de tijd op van de nutriëntenbelasting omdat de wegzijging in de loop der tijd vermindert door het dalende maaiveld. Deze toename is bij toepassing van onderwaterdrains minder dan de helft van de toename als er géén drains worden toegepast. Er bestaat een sterk lineair verband tussen de netto fosfor-, stikstof- en sulfaatbelasting van het oppervlaktewater en de netto wegzijging. Meer wegzijging betekent lagere belasting van het oppervlaktewater met nutriënten. Reden is de geringere waterafvoer - het transport medium voor nutriënten - naar het oppervlaktewater bij grotere wegzijging. Door dit mechanisme en de afname van de wegzijging zijn in deze berekeningen de netto nutriëntenvrachten in de autonome optie zónder onderwaterdrains in het vijfde decennium 20%-30% groter dan in het eerste decennium.

De effecten van onderwaterdrains op de nutriëntenbelasting worden gedomineerd door bovenstaand mechanisme in combinatie met de geringere maaiveldaling en de daardoor geringere afname van de wegzijging door toepassing van drains. In het vijfde decennium zijn in de toekomstoptie mét drains de netto vrachten peilvakgemiddeld voor fosfor en stikstof 13% en voor sulfaat 15% kleiner dan in de optie zónder drains. In de deelgebieden waarin de drains liggen zijn de netto vrachten 13% (sulfaat) tot 23% (fosfor) kleiner dan in de optie zónder drains. In de gebiedsdelen waarin geen drains liggen is deze verlaging groter voor sulfaat maar kleiner voor fosfor en stikstof. Vooral in het natte deel van het peilvak zijn de effecten van drains voor fosfor en stikstof minder gunstig. Bij fosfor neemt in deze natte delen de fosforbelasting met 14% toe door toepassing van drains. Dit komt vooral door toename van de uit- en afspoeling van mest-stoffen en aan het bodemcomplex van de toplaag gebonden fosfor door de nattere omstandigheden.

## 6.3 Aanbevelingen

Voor modelstudies naar effecten van en maatregelen tegen maaiveldaling in veenweiden is het verstandig om klimaatscenario's mee te nemen. Hogere temperaturen en drogere zomers met heviger neerslagbuien zullen leiden tot grotere (tot meer dan 50%) maaiveldaling, grotere waterbehoefte en meer wateroverlast.

Gezien het grote belang van de afname van de wegzijging door maaiveldaling voor de waterkwantiteit en waterkwaliteit in veenweiden verdient het aanbeveling om de gevoeligheid van het veenweidesysteem voor de opgelegde stijghoogte om de wegzijging te berekenen af te tasten in een gevoeligheidsanalyse.

De modelberekeningen laten een tweedeling in de maaiveldhoogten van het gebied zien na vijftig jaar toepassing van onderwaterdrains: een deel van 70% van het areaal met een goede drooglegging en het resterende deel met een kleine drooglegging van 15-30 cm. Als dat een ongewenste situatie is, verdient het aanbeveling om in het natte deel vanaf het begin onderwaterdrains toe te passen. Dat zal de maaiveldaling daar zoveel sterker remmen dat het natte deel in maaiveldhoogte en drooglegging naar het overige deel zal toegroeien (relatieve stijging). Naar verwachting zal die toestand in ongeveer 30-40 jaar zijn bereikt. Door vermindering van de bemesting kan dan in de aanlooptijd met (te) geringe drooglegging de extra uitspoeling van mestnutriënten naar de sloot worden beperkt.

De wateroverlast als inundatie van minstens 10% van het areaal van Peilvak 9 neemt bij toepassen van onderwaterdrains uitsluitend toe in de laaggelegen gebieden waarin geen drains liggen. Hun drooglegging wordt steeds kleiner, omdat ze sneller dalen dan het slootpeil. Hierdoor worden ze steeds gevoeliger voor inundatie. Het verdient aanbeveling om de natuurverbinding door Peilvak 9 zoveel mogelijk op deze lage percelen te realiseren.

Als het gewenst is dat binnen één peilvak landbouwgebied en wat lager (20-30 cm) gelegen nat natuurgebied, dat tijdelijk kan inunderen, duurzaam naast elkaar voorkomen dan verdient het aanbeveling om in het landbouwgebied wél en in het natuurgebied níét onderwaterdrains toe te passen. Op een gegeven moment - bij een zekere drooglegging van het natuurgebied die zich vanzelf

---

instelt - zal evenwicht bestaan tussen de maaiveldalingsnelheden van beide gebieden en zijn de verschillen in maaiveldhoogten en droogleggingen stabiel.

Bij (grootschalige) toepassing van onderwaterdrains verdient het aanbeveling om het peilbeheer te voeren met kennis van het toekomstige weer. Zo kan worden bespaard op bemaling en waterinlaat, en kunnen eventuele negatieve effecten van onderwaterdrains op het polderpeil door extreem natte of droge omstandigheden worden verminderd of voorkomen. Door de snellere wateruitwisseling tussen perceel en sloot kan dan optimaal gebruik worden gemaakt van de veenbodem als buffer en reservoir van water. Om hier adequaat gebruik van te maken vergt maatwerk.

Het verdient aanbeveling om bij toepassing van onderwaterdrains vlak na een grote, intensieve zomerbui minder diep te bemalen als na de bui een droge periode wordt verwacht. Het peil kan dan wat langer hoog blijven, omdat met de drains de grondwaterstand sneller kan worden verlaagd. Zo kan met een tijdelijk wat hoger peil toch snel een beweid- en berijdbaar perceel worden verkregen. Wel moet dan worden onderzocht of dit mogelijk leidt tot uitspoelingspieken van fosfor.

Het verdient aanbeveling om bij grootschalige toepassing van onderwaterdrains in een peilvak met wegzijging een drooglegging tussen 40 en 50 cm in te stellen. Dit is met het oog op vermindering van de belasting van het slootwater met de drie nutriënten fosfor, stikstof en sulfaat een droogleggingsbereik waarbinnen de optimale drooglegging te verwachten is, waarbij de belasting van alle drie de nutriënten afneemt. Met onderwaterdrains is bij dit droogleggingsbereik nog wel een goede bedrijfsvoering mogelijk. Voor remmen van de maaiveldaling is uiteraard een zo klein mogelijke drooglegging gewenst.



---

# Literatuur

- Akker, J.J.H. van den, J. Beuving, R.F.A. Hendriks en R.J. Wolleswinkel, 2007. 5510 Maaiveldddaling, afbraak en CO<sub>2</sub> emissie van Nederlandse veenweidegebieden. Leidraad Bodembescherming, afl. 83, Sdu, Den Haag, 32 p.
- Akker, J.J.H. van den, P.J. Kuikman, F. de Vries, I. Hoving, M. Pleijter, R.F.A. Hendriks, R.J. Wolleswinkel, R.T.L. Simões en C. Kwakernaak, 2008. Emission of CO<sub>2</sub> from agricultural peat soils in the Netherlands and ways to limit this emission. In: Farrell, C and J. Feehan (eds.), 2008. Proceedings of the 13th International Peat Congress After Wise Use – The Future of Peatlands, Vol. 1 Oral Presentations, Tullamore, Ireland, 8 - 13 june 2008. International Peat Society, Jyväskylä, Finland. ISBN 0951489046. pp 645-648
- Akker, J.J.H. van den, P.C. Jansen en E.P. Querner, 2011. De huidige en toekomstige watervraag van veengronden in het Groene Hart; Verkenning naar het effect van onderwaterdrains. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2142.
- Akker, J.J.H. van den, R.F.A. Hendriks, I.E. Hoving, B. Meerkerk, K. van Houwelingen, J. van Kleef, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2013. Pilot onderwaterdrains Krimpenerwaard. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2466.
- CTV, werkgroep herziening cultuurtechnisch vademecum, 2000. Cultuur Technisch Vademecum. Cultuurtechnische Vereniging, Utrecht.
- Dam, J.C. van, P. Groenendijk, R.F.A. Hendriks en J.G. Kroes, 2008. Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP. Vadose Zone J., Vol.7, No.2: 640-653.
- Gerven, L.P.A. van, B. van der Grift, R.F.A. Hendriks, H.M. Mulder en T.P. van Tol-Leenders, 2011. Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Krimpenerwaard. Bronnen, routes en sturingsmogelijkheden. Reeks Monitoring Stroomgebieden 25-III. Wageningen, Alterra, Alterra rapport 2220.
- Groenendijk, P., L.V. Renaud ennd J. Roelsma, 2005. Prediction of Nitrogen and Phosphorus leaching to groundwater and surface waters; Process descriptions of the Animo4.0 model. Wageningen, Alterra, Alterra rapport 983.
- Hendriks, R.F.A., 1990. Effecten van aanvoer van gebiedsvreemd water op de waterkwaliteit in een kwelgebied. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 100.
- Hendriks, R.F.A., 1993. Nutriëntenbelasting van oppervlaktewater in veenweidegebieden. Rapport 251, DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Hendriks, R.F.A., 1997. Oorzaken van diffuse stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater in veenweidegebieden. H<sub>2</sub>O (30) 1997, nr. 3: 66-69.
- Hendriks, R.F.A., 2003. Bemesting hoofdoorzaak van eutrofe veensloten? H<sub>2</sub>O (36) 2003, nr. 11: 33-36.
- Hendriks, R.F.A., D.J.J. Walvoort en M.H.J.L. Jeuken, 2008. Evaluation of the applicability of the SWAP-ANIMO model for simulating nutrient loading of surface water in a peat land area. Calibration, validation, and system and scenario analysis for an experimental site in the Vlietpolder. Alterra rapport 619, Alterra, Wageningen.
- Hendriks, R.F.A. en L.P.A. van Gerven, 2011. Nadere beschrijving van de analyse van processen van 'interne eutrofiëring'. In: Van Gerven *et al.*, 2011.
- Hendriks, R.F.A. en J.J.H. van den Akker, 2012. Effecten van onderwaterdrains op de waterkwaliteit in veenweiden. Modelberekeningen met SWAP-ANIMO voor veenweide-eenheden naar veranderingen van de fosfor-, stikstof- en sulfaatbelasting van het oppervlaktewater bij toepassing van onderwaterdrains in het westelijke veenweidegebied. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2354.
- Hendriks, R.F.A., J.J.H. van den Akker, K. van Houwelingen, J. van Kleef, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2013. Pilots onderwaterdrains Utrecht. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2469.
- Hendriks, R.F.A., W. Twisk, L.P.A. van Gerven en J. Harmsen, 2013. Sulfaat in veenweiden, gebiedsvreemd of gebiedseigen? H<sub>2</sub>O online, (2013) 23 mei.
- Hendriks, R.F.A., P.C. Stolk, P. Groenendijk and J.J.H. van den Akker, in prep. Modelling greenhouse gas emissions and soil subsidence with SWAP-ANIMO; application on an agricultural peat soil.

- 
- Hoving, I.E., G. André, J.J.H. van den Akker en M. Pleijter, 2008. Hydrologische en landbouwkundige effecten van gebruik van 'onderwaterdrains' op veengrond. Rapport 102 Animal Sciences Group, Wageningen UR, 68 blz.
- Hoving, I.E., J.J.H. van den Akker en M. Pleijter, 2009. Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zeevang. Rapport 188 Wageningen UR Livestock Research.
- Hoving, I.E., J.J.H. van den Akker, M. Pleijter en K. van Houwelingen, 2011. Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zeevang. Rapport 449 Wageningen UR Livestock Research.
- Hoving, I.E., P. Vereijken, K. van Houwelingen en M. Pleijter, 2013. Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains bij dynamisch slootpeilbeheer op veengrond. Rapport 719 Wageningen UR Livestock Research.
- Jansen, P.C., E.P. Querner en J.J.H. van den Akker, 2009. Onderwaterdrains in het veenweidegebied en de gevolgen voor de inlaatbehoefte, de afvoer van oppervlaktewater en voor de maaiveldaling. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1872.
- Jansen, P.C., R.F.A. Hendriks en C. Kwakernaak, 2010. Behoud van veenbodems door ander peilbeheer; Maatregelen voor een robuuste inrichting van het westelijk veenweidegebied. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2009.
- Kroes, J.G., J.C. Van Dam, P. Groenendijk, R.F.A. Hendriks en C.M.J. Jacobs, 2008. SWAP version 3.2. Theory description and user manual. Report 1649. Wageningen UR, Alterra, Wageningen.
- Projectgroep Groot Wilnis-Vinkeveen, 2010. Gebiedsconvenant Groot Wilnis-Vinkeveen 2010-2020. Stichting Ontwikkeling de Venen, Utrecht.
- Renaud, L.V., J. Roelsma en P. Groenendijk, 2005. User's guide of the ANIMO 4.0 nutrient leaching model. Alterra-Report 224. Wageningen.
- Stiboka, 1969. Bodemkaart van Nederland 1 : 50 000. Toelichting bij kaartblad 31 West Utrecht. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering.
- Stouthamer, E., H.J.A. Berendsen, J. Peeters en M.T.I.J. Bouman, 2008. Bodemkaart veengebieden provincie Utrecht, schaal 1 : 25 000. Provincie Utrecht.
- Wind, G.P., 1986. Slootpeilverlaging en grondwaterstandsaling in veenweidegebieden. Cultuurtechnisch Tijdschrift 25 (5).
- Woestenburg, M., 2009. Waarheen met het veen. Uitgeverij Landwerk, Wageningen en Alterra/Wageningen UR.
- Wolf, J., A.H.W. Beusen, P. Groenendijk, T. Kroon, R. Rötter en H. van Zeijts, 2003. The integrated modelling system STONE for calculating nutrient emissions from agriculture in the Netherlands. Environ. Modelling & Software, 18, pp. 397-417.
- Zaadnoordijk, W.J., A.J.J. Vergroesen en J. Velstra, 2008. Beschrijving aangepast grondwatermodel Groot-Mijdrecht. Rotterdam, Royal Haskoning. Juli 2008.

---

# Bijlage 1    Aanvullingen methoden

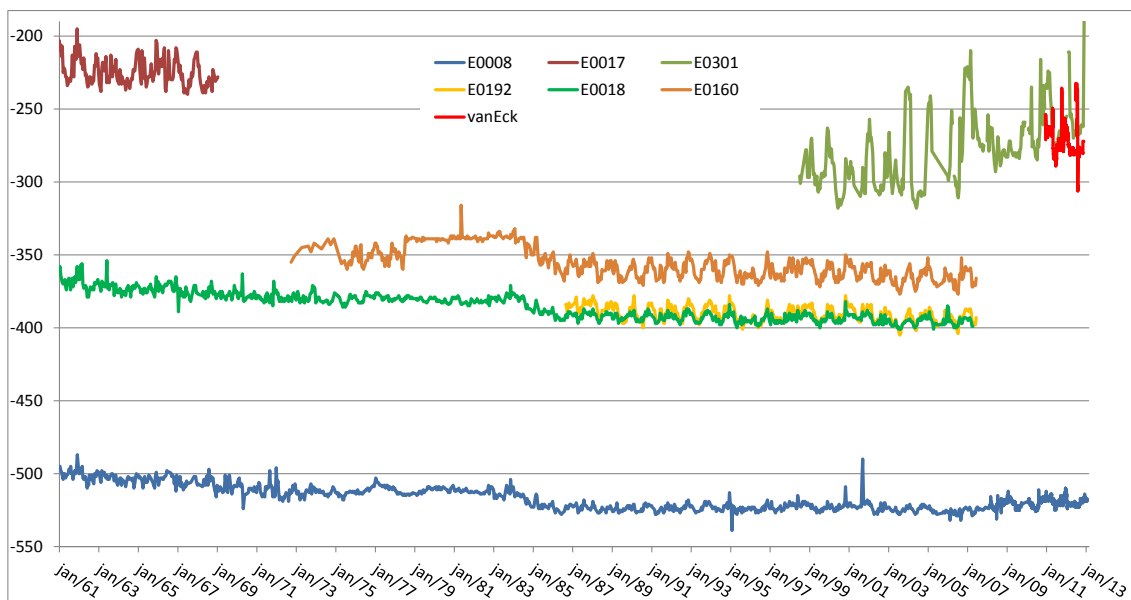
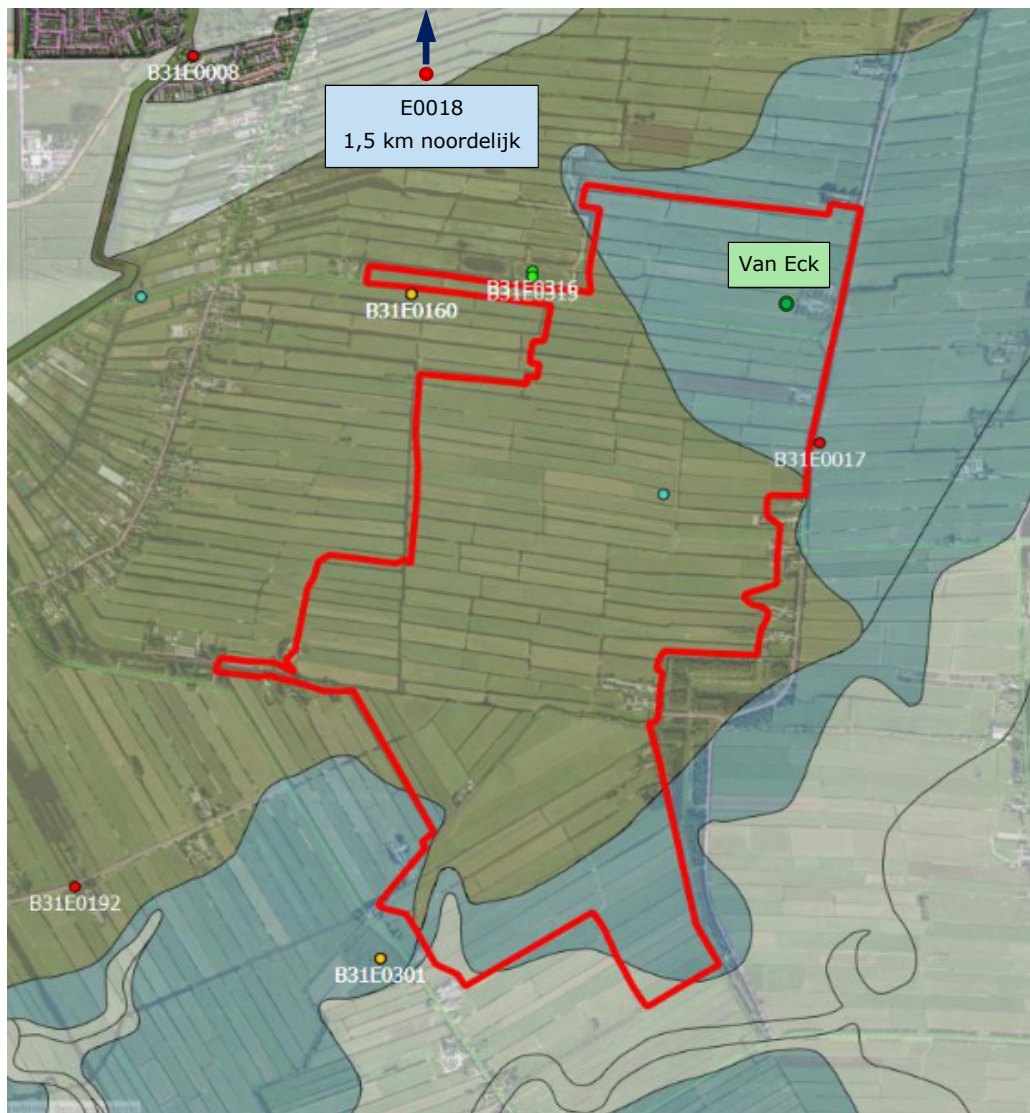
In deze bijlage zijn details van de toegepaste methoden gegeven. Eerst wordt uitgelegd hoe de berekening van de wegzijging is uitgevoerd (B1.1). Daarna wordt aangegeven hoe de toekenning van de twee voorkomende bodems - koopveengrond en weideveengrond - aan de deelgebieden heeft plaatsgevonden (B1.2). Vervolgens behandelt Bijlage B1.3 de berekeningswijze van de nutriëntenvrachten. Tenslotte worden details gegeven van de toepassing van SWAP als 'netwerkmodel' in deze studie (B1.4).

## B1.1    Wegzijging

Wegzijging wordt in deze modelstudie door SWAP berekend uit het potentiaalverschil tussen een opgegeven stijghoogte en de berekende grondwaterstand, en een opgegeven weerstand tegen verticale stroming. De stijghoogte is hierbij ingevoerd als een tijdreeks in tabelvorm per deelgebied. De tijdreeks beslaat de periode 1961-2010, de vijftigjarige simulatieperiode waarvan de meteorologische gegevens zijn gebruikt voor de toekomstige vijftig jaar. Het idee hierachter was om aan de meteorologische gegevens meetreeksen van stijghoogten van dezelfde periode te koppelen zodat er consistentie in de invoer van beide randvoorwaarden zou zijn.

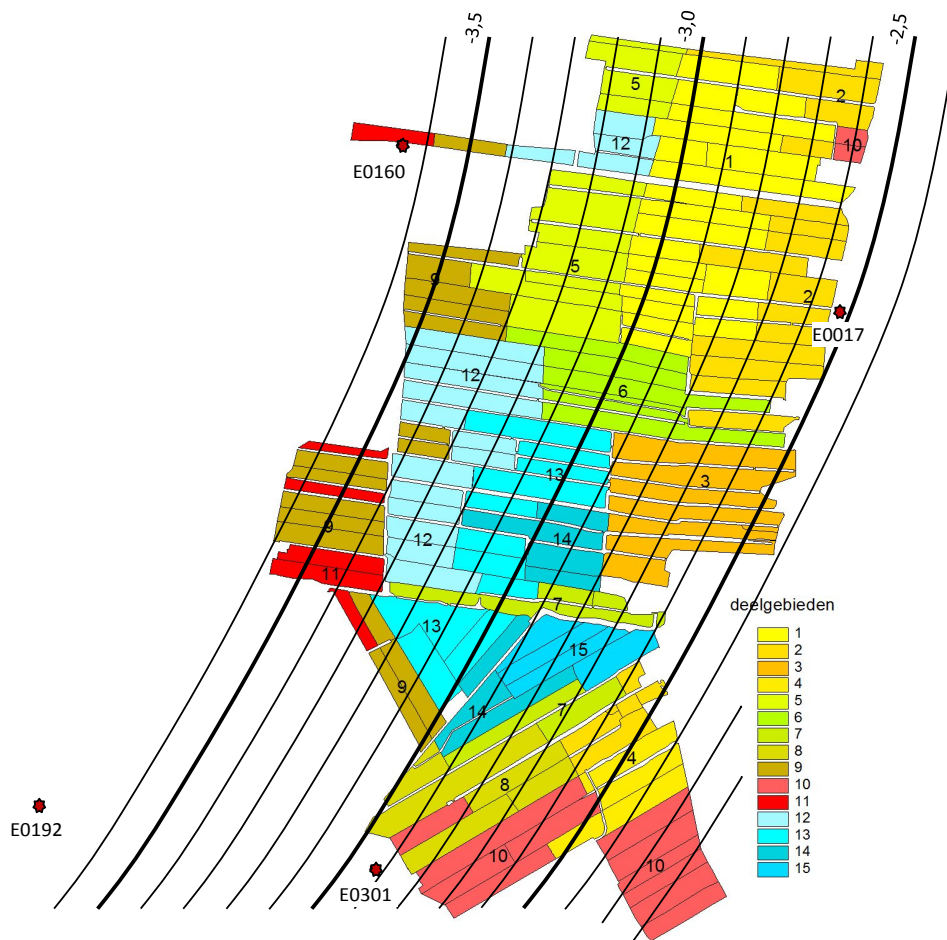
De stijghoogtereeks per deelgebied is in acht stappen bepaald:

1. Uit DINO zijn alle beschikbare peilbuizen in of rond Peilvak 9 geselecteerd die samen in voldoende mate de periode 1961-2010 dekken met meetgegevens van de stijghoogte in het 1<sup>e</sup>-watervoerende-pakket. De code en ligging van deze zes peilbuizen zijn aangegeven in Figuur B1.1.
2. Analyse van de gegevens van deze peilbuizen liet een steile, dalende oost-west-gradient in de stijghoogten zien. Om invloed van 'ruis' van buiten het peilvak te elimineren was het daarom belangrijk om de stijghoogten binnen het peilvak te bepalen uit meetgegevens van de peilbuizen die zo dicht mogelijk langs de oost- en westgrens staan. Dit zijn de buizen E0017 en E0160. Buis E0301 aan de zuidgrens completeerde de insluiting van het peilvak door drie peilbuizen langs de randen.
3. De meetreeksen van deze drie buizen en ook die van peilbuis E0192 die is gebruikt voor stap 4 waren verre van compleet (Figuur B1.1). Er was één peilbuis, E0008, met een complete reeks en één peilbuis, E0018, met een bijna complete reeks. Deze meetreeksen zijn gebruikt om de andere meetreeksen te completeren. Hiervoor is tussen alle buizen onderling per paar een relatie afgeleid door lineaire regressie. De relaties zijn gebruikt om de incomplete meetreeksen compleet te maken voor de periode 1961-2010.



**Figuur B1.1** Ligging van de gebruikte DINO-peilbuizen rond Peilvak 9 (boven) en de beschikbare stijghoogten per buis (cm + NAP) van de periode 1961-2010 (onder). Van Eck = meetgegevens uit pilot 'onderwaterdrains Demmeriksekade' (Hendriks et al., 2013).





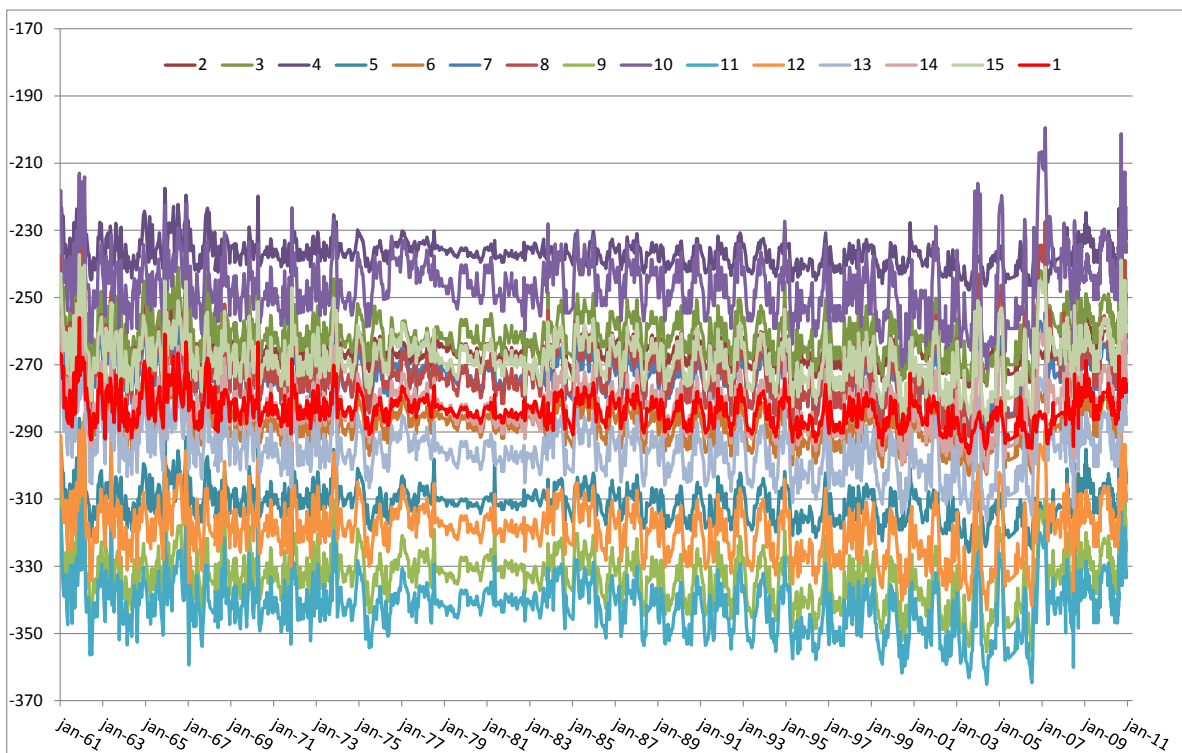
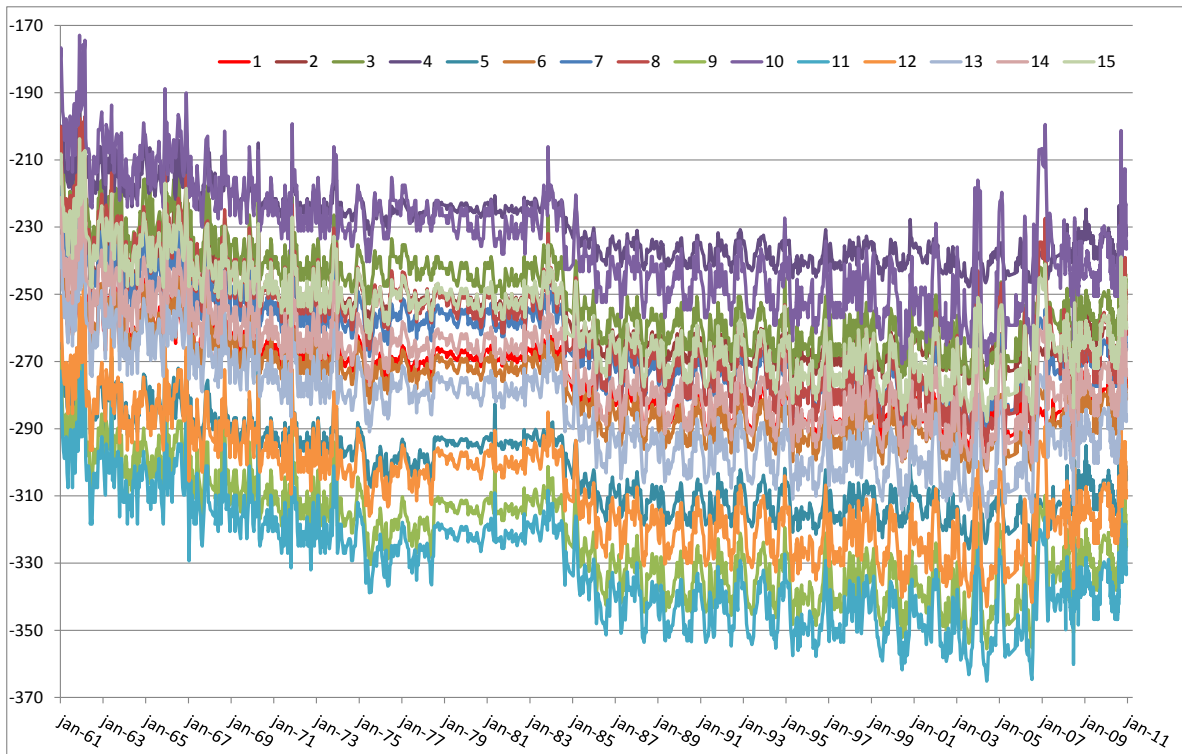
**Figuur B1.2** Isohypsenspatroon van de stijghoogten van het grondwater in het 1<sup>e</sup>-watervoerende-pakket onder Peilvak 9. De isohypsen zijn gebaseerd op de vijftigjargemiddelde stijghoogten van de vier aangegeven peilbuizen over de periode 1961-2010. De getallen bij de dikke isohypsenlijnen geven de stijghoogten in m + NAP.

4. Met de drie peilbuizen dicht langs de randen van het peilvak en met peilbuis E0192 is een isohypsenspatroon samengesteld (Figuur B1.2). Hiervoor zijn de gemiddelde stijghoogten in de tijd van periode 1961-2010 genomen. Dit isohypsenspatroon is mede gebruikt om Peilvak 9 in te delen in deelgebieden (zie hoofdstuk).
5. Bij deze stap waren de deelgebieden al gevormd. Voor elk deelgebied is uit het isohypsenspatroon een ruimtelijkgemiddelde stijghoogte geschat (zie Figuur 2.2 in hoofdstuk).
6. Voor elk deelgebied zijn drie weegfactoren geschat die de bijdrage geven van elk van de drie peilbuizen langs de peilvakgrenzen aan de deelgebiedsgemiddelde stijghoogte. Dit is gedaan op grond van de tijdsgemiddelde stijghoogte in het deelgebied en de tijdsgemiddelde stijghoogten van de drie peilbuizen, gegeven de afstand van de drie peilbuizen tot het deelgebiedscentrum.
7. Met de weegfactoren is per deelgebied een tijdreeks van de stijghoogten voor de periode 1961-2010 gegenereerd uit de tijdreeksen van de drie peilbuizen langs de peilvakgrenzen (Figuur B1.3, boven) als:

$$H_d = f_1 \cdot P_1 + f_2 \cdot P_2 + f_3 \cdot P_3 \quad \text{met} \quad f_1 + f_2 + f_3 = 1$$

$H_d$  = stijghoogte deelgebied;  $P_1$ - $P_3$  = stijghoogten peilbuizen;  $f_1$ - $f_3$  = weegfactoren peilbuizen.

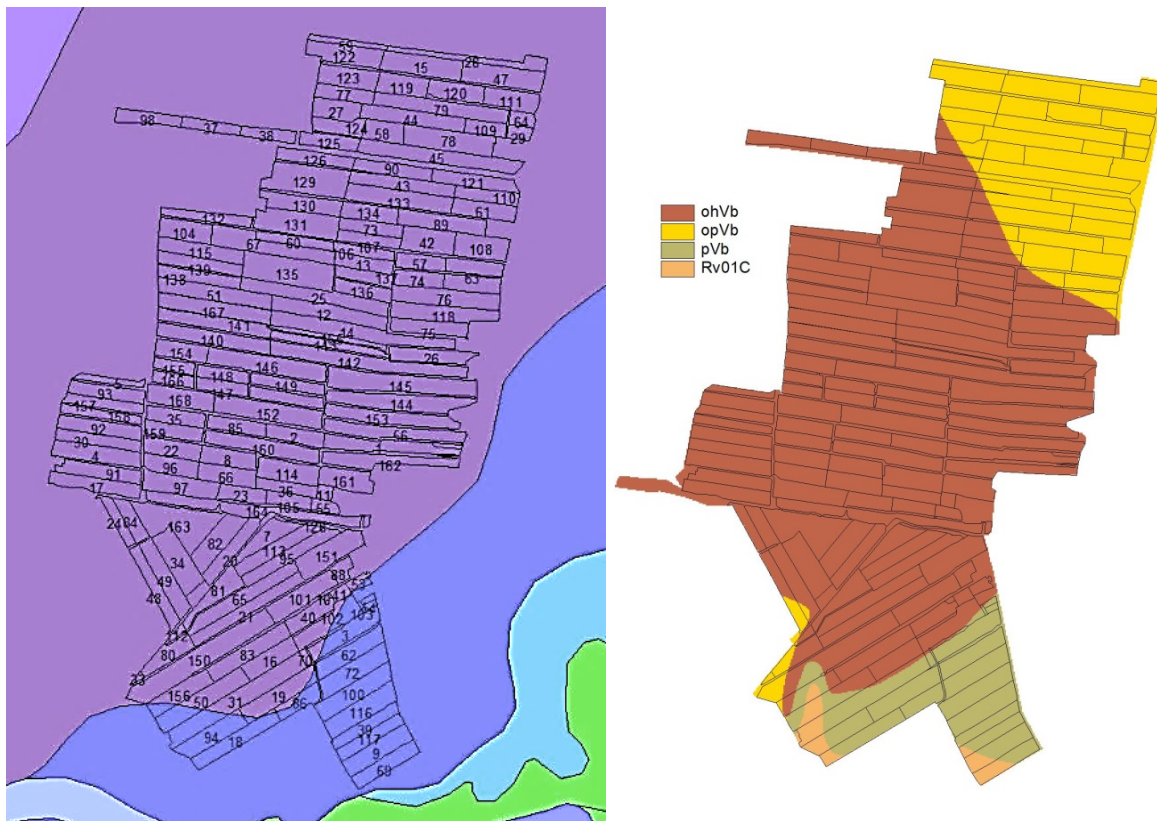
8. Voor de periode 1961-1985, waarin de stijghoogtereeksen een sterke daling van 40-50 cm laten zien, is het stijghoogteverloop gecorrigeerd door het meer 'recht te trekken' (Figuur B1.3 onder). Reden was dat deze sterke daling het gevolg is van grote peilverlagingen in het verleden in waarschijnlijk het naastgelegen Groot Mijdrecht. De stijghoogtereeksen zijn bedoeld voor de simulatie van de toekomstige vijftig jaar. Daarin komt zo'n sterke peilverlaging in principe niet per se voor.



**Figuur B1.3** Verloop in de tijd voor de vijftig simulatiejaren van de in SWAP ingevoerde stijghoogten (cm + NAP) van de vijftien deelgebieden van Peilvak 9. Boven: ongecorrigeerd voor de sterke daling in 1961-1985; onder: gecorrigeerd voor deze daling. Bij het figuur beneden is de stijghoogte van deelgebied 1 naar voren gehaald (rode lijn). Deze stijghoogte ligt ongeveer in het midden van het stijghoogtebereik van de deelgebieden. De deelgebiedsnummers in opklimmende volgorde van stijghoogten zijn: 11, 9, 12, 5, 13, 6, 14, 1, 8, 7, 15, 2, 3, 10 en 4.

## B1.2 Veengebodem

Er waren twee bodemkaarten van het gebied rond het peilvak beschikbaar (Figuur B1.4): de Stiboka-kaart uit 1969 (Stiboka, 1969) en een nieuwe veenkaart gemaakt in opdracht van de provincie Utrecht (Stouthamer *et al.*, 2008).



**Figuur B1.4** Bodemkaarten van het gebied rond en van Peilvak 9. Links Stiboka (1969) en rechts Stouthamer *et al.* (2008). Links: paars = ohVb; paarsblauw = pVb.

Legenda: pVb = weideveengrond op eutroof veen (veen met een dun kleidek, < 40 cm); opVb = pVb met een toemaakdek; ohVb = koopveengrond op eutroof veen met toemaakdek.

Beide kaarten laten in Peilvak 9 overwegend koopveengrond op eutroof veen met een toemaakdek (ohVb) zien. Ook het voorkomen van weideveengrond op eutroof veen (pVb; heeft dun kleidek, < 40 cm) in het zuiden van het peilvak geven beide kaarten aan. Het grote verschil zit vooral in het noordelijke deel van het peilvak. Daarvoor wijken de kaarten van elkaar af. Volgens Stiboka komt in het noorden ook uitsluitend koopveengrond met toemaakdek voor, terwijl volgens de kaart van Stouthamer *et al.* daar weideveengrond met toemaakdek aanwezig is.

De pilot 'onderwaterdrains Demmeriksekade' (Hendriks *et al.*, 2013) lag in het noordoostelijke puntje van het peilvak (Figuur B1.1) dus in het 'betwiste' gebied. Voor de pilot is een detailkartering uitgevoerd door een bodemkundige van Alterra. Deze heeft in de zesentwintig gezette boringen tot 1,5 m diepte geen minerale grond aangetroffen, maar wel een duidelijk toemaakdek. Dit classificeert de bodem van de pilot als ohVb. Omdat in de onderhavige modelstudie de beschrijving van de fysische en chemische bodemeigenschappen is verkregen van de meetresultaten van de pilot is er van uitgegaan dat ook in het noorden van het peilvak (uitsluitend) koopveengrond ohVb voorkomt.

Bij het toekennen van weideveengrond aan de zuidelijke deelgebieden en het bepalen van de grenzen van deze deelgebieden is de informatie van beide bodemkaarten gebruikt.

---

## B1.3 Berekeningswijze nutriëntenvrachten

Het doel van de berekeningen en de analyse van de waterkwaliteitsresultaten was gericht op het onderzoeken van het effect van onderwaterdrains op de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Hiervoor is uitgegaan van de methoden uit de modelstudie van Hendriks en Van den Akker (2012). In deze studie is er van uitgegaan dat het bij ecologische- en waterkwaliteitsvraagstukken in kleine waterlopen in veenweiden gaat om de nutriëntenbelasting in de vorm van nutriëntenvrachten vanuit en vanaf de veenbodem. Om deze vraagstelling concreter te maken zijn in voornoemde modelstudie twee nutriëntentema onderscheiden:

1. afwenteling op buitengebieden op jaarbasis;
2. waterkwaliteit in het belangrijkste ecologische seizoen, het zomerhalfjaar.

De nutriëntenbelasting van de twee nutriëntentema's 'afwenteling' en 'waterkwaliteit' is op dezelfde manier berekend als door Hendriks en Van den Akker (2012). Voor beide thema's gaat het om de netto belasting: de nutriëntenvracht vanuit de veenbodem naar de sloot verminderd met de vracht vanuit de sloot de veenbodem in. Voor de effecten van drains is deze correctie cruciaal, omdat daarbij (meer) pendelen van water tussen veenbodem en slootwater optreedt. De vrachten die vanuit de sloot in de bodem infiltreren zijn een vermindering van de belasting van de veenbodem op de sloten. In Nederland met een netto neerslagoverschot op jaarbasis spoelt een groot deel van de geïnfilterde nutriënten weer uit (bv. Hendriks, 1990). Zonder correctie voor de hoeveelheid nutriënten in infiltratie leidt dit tot dubbeltelling in de uitspoelingsvrachten. Infiltratie vindt nagenoeg uitsluitend plaats in het zomerhalfjaar.

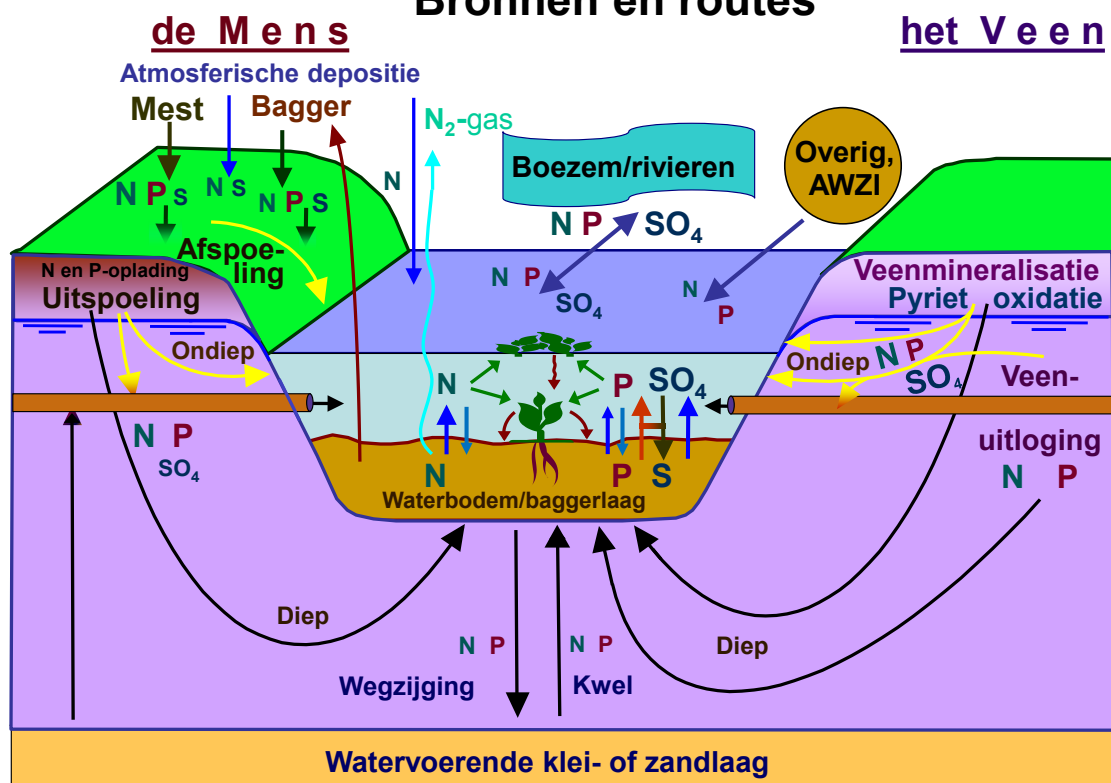
Voor 'afwenteling' gaat het om de netto jaarvrachten. Voor 'waterkwaliteit' gaat het om de actuele netto vrachten vanuit de veenbodem in het zomerhalfjaar plus de initiële voorraad in het oppervlaktewater die aanwezig is aan het begin van het zomerhalfjaar en die is opgebouwd in het winterhalfjaar tijdens het uitspoelingsseizoen. Met deze voorraad start het zomerhalfjaar. Deze voorraad kan substantieel zijn (zie: Hendriks en Van Gerven, 2011; Hendriks *et al.*, 2013; Hendriks en Van den Akker, 2012).

Concreet zijn bij 'afwenteling' de tienjaarsgemiddelde netto vrachten genomen als uit/afspoelingsvrachten minus infiltratievrachten. Bij 'waterkwaliteit' zijn op dezelfde manier de zomerhalfjaarvrachten berekend en is daarbij opgeteld de voorraad nutriënten opgeslagen in het oppervlaktewater aan het einde van de winter (31 maart). Deze voorraad is berekend volgens Hendriks en Van den Akker (2012). Hierin is opgenomen de hoeveelheid water in het oppervlaktewater per ha bij referentiepeil, de verhouding tussen de hoeveelheid neerslag en het uit/afspoelingsdebiet in de winter, de gemiddelde uitspoelingsconcentratie van het betreffende nutriënt in de winter en (alleen voor stikstof) de concentratie in de neerslag. Onderwaterdrains beïnvloeden deze winterbergingsvoorraad via twee wegen: het uitspoelingsdebiet en de uitspoelingsconcentratie. Als de nutriëntenuitspoelingsconcentraties in de winter lager zijn bij gebruik van drains, dan betekent dit (meestal) dat de berging aan het begin van het zomerhalfjaar kleiner is.

De nutriënten die zijn berekend en getoond zijn totaal-fosfor (P), totaal-stikstof (N) en sulfaat. Bij totaal-P gaat het om de som van opgelost organisch-P en fosfaat, en bij totaal-N om opgelost organisch-N, ammonium en nitraat. Dat zijn de P- en N-componenten die in het model worden onderscheiden.

Voor beter begrip van de methoden en de modelresultaten zijn in Figuur B1.5 schematisch de stromen en bronnen van de beschouwde nutriënten getoond.

## Bronnen en routes



**Figuur B1.5** Stromen van stikstof (N), fosfor (P) en sulfaat/zwavel (SO<sub>4</sub>/S) met bronnen en routes in een uitspoelingsituatie in een veenweidesysteem bestaande uit de twee deelsystemen veenweidebodem en veenwaterloop inclusief waterbodem. Voor de veenweidebodem is onderscheid gemaakt tussen natuurlijke bronnen als 'het Veen' en antropogene bronnen als 'de Mens'. Naar: Hendriks en Van den Akker (2012).

## B1.4 SWAP als 'netwerkmiddel'

### Waterbalans oppervlaktewaterbak SWAP

De waterbalans van de oppervlaktewaterbak in SWAP luidt:

$$A_h \frac{\Delta h}{\Delta t} = Q_{nb} + Q_{ex} + Q_{in} - Q_{uit} - Q_w + (P - E_{ow}) A_h \quad (B1.1)$$

met:

$\Delta h$  = peilverandering (m);

$\Delta t$  = tijdstap (d);

$A_h$  = slootoppervlak op waterspiegel (m<sup>2</sup>);

$Q_{nb}$  = netto intern bodemuitwisselingsdebiet (m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>) (positief is drainage, negatief infiltratie);

$Q_{ex}$  = extra, extern (van buiten deelgebied 1) bodemuitwisselingsdebiet (m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>);

$Q_{in}$  = inlaatdebiet (m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>);

$Q_{uit}$  = bemalingsdebiet (m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>);

$Q_w$  = wegzijgingsdebiet direct uit sloot (m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>);

$P$  = neerslag (m d<sup>-1</sup>);

$E_{ow}$  = verdamping uit oppervlaktewater (m d<sup>-1</sup>).

Neerslag is verkregen uit de meteogegevens; verdamping vanuit het oppervlaktewater is berekend uit de berekende referentieverdamping met gedetailleerde (maar algemene) omrekeningsfactoren (CTV, 1988) per maand(deel).

### Iteratieve procedure

De foutenfunctie waarmee werd gecontroleerd of de peilreeksen op uurbasis van twee opeenvolgende iteratiestappen voldoende overeenkwamen, of eigenlijk een voldoende kleine afwijking vertoonden, is de Root Mean Squared Error (*RMSE*, m):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (P_{i,j} - P_{i,j-1})^2}{n}} \quad (B1.2)$$

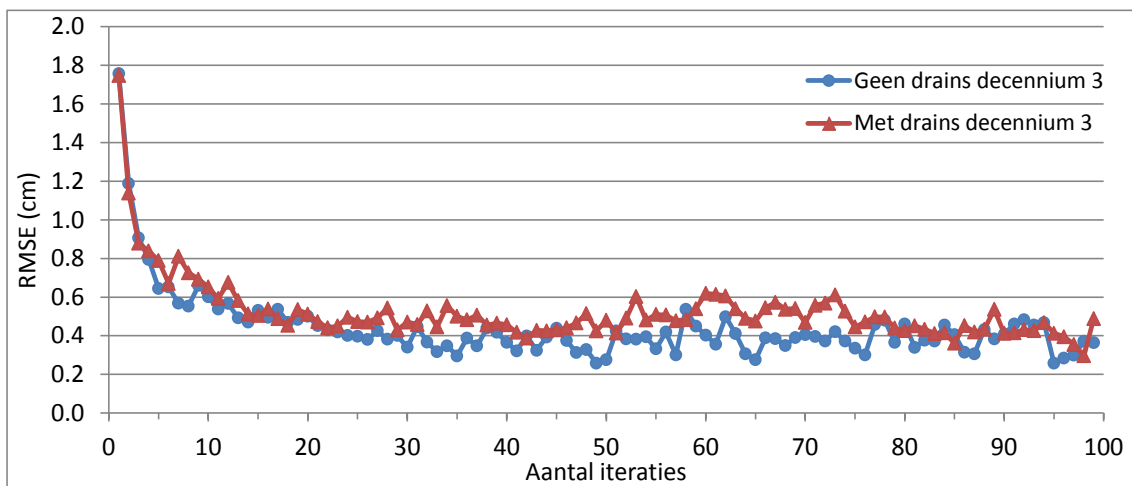
met:

$P_{i,j}$  = berekende peil van uur  $i$  en iteratiestap  $j$  (m);

$n$  = aantal uren in de simulatie (-).

Het doel bij het itereren was de *RMSE* te minimaliseren; hoe kleiner de *RMSE* hoe dichter de peilreeksen van twee opeenvolgende iteratiestappen bij elkaar liggen. De laatste peilreeks is tot stand gekomen met de drainage/infiltratiedebieten die zijn geproduceerd in de voorlaatste iteratiestap met de voorlaatste peilreeks. Als deze twee peilreeksen dicht bij elkaar liggen betekent dat dat de voorlaatste peilreeks debieten produceert die weer leiden tot nagenoeg dezelfde peilreeks. Het systeem is dan in evenwicht.

Voor de tienjarige berekeningen kwam het systeem nooit helemaal in evenwicht binnen de 99 toegestane iteraties: na convergentie en het bereiken van een acceptabel kleine *RMSE* ging het systeem meestal weer tijdelijk divergeren (uit elkaar lopen). Voorbeelden zijn gegeven in Figuur B1.6. Daarom zijn steeds de uitkomsten van de iteratiestap met de kleinste *RMSE* genomen die bereikt werd binnen 99 iteraties. Deze waren op één na allemaal kleiner dan 0,4 cm (Tabel B1.1). Uit grafieken van de twee bijbehorende peilreeksen bleek dat ze elkaar goed genoeg benaderden en dat pieken meestal volledig samenvielen. Voorbeelden zijn gegeven van jaar 1998 met een viertal pieken in Figuur B1.8. Bij de twee peilreeksen van 'zonder drains' vallen drie van de vier pieken exact samen en is er bij de vierde een afwijking van 1 cm; bij de twee peilreeksen van 'met drains' vallen de vier pieken exact samen.



**Figuur B1.6** Verloop van de *RMSE* bij het itereren van twee berekeningen van het derde decennium zónder en mét onderwaterdrains.

In detail verliep het iteratieproces niet exact als hierboven beschreven. Alleen bij de eerste twee iteraties werd de nieuwe berekende peilreeks gebruikt als invoer voor de volgende stap. Daarna werd er een gewogen gemiddelde gebruikt van de voorlaatste (oude) reeks en de laatste (nieuwe) reeks. De wegingsfactor bedroeg meestal 0,55 (voor de nieuwe en 0,45 voor de oude). Als een bepaalde

waarde van de RMSE werd bereikt, meestal 0,55, werd de wegingsfactor voor de nieuwe reeks sterk teruggebracht naar 0,05. Hiermee werd bereikt dat door langzaam aanpassen van de oude peilreeks convergentie behouden bleef. Dit is goed te zien in Figuur B1.6 tussen iteratiestappen 10 en 25 waarbij beide berekeningen nog convergeren. Na iteratiestap 25 (met drains) en iteratiestap 50 (zonder drains) lijkt convergentie verdwenen en beweegt de RMSE zich rond een bepaalde waarde. Maar toch wordt er nog in beide berekeningen een absoluut minimum van de RMSE bereikt helemaal aan het einde van het iteratieproces.

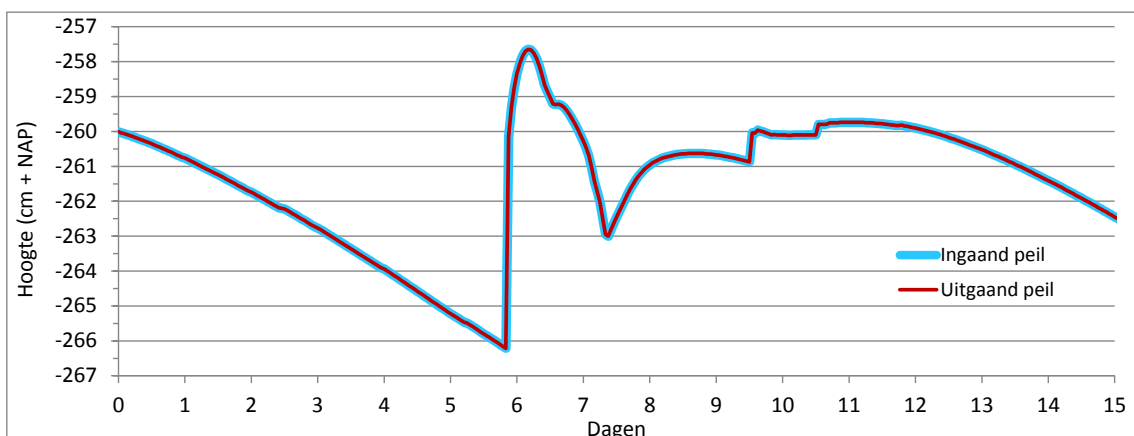
Reden voor het blijven bestaan van deze 'chaos' is dat in de tienjarige berekeningen steeds 87 660 uurwaarden van peilen werden vergeleken. Dat grote aantal maakte het moeilijk voor het systeem om stabiel evenwicht te bereiken. Zeker ook omdat in het oppervlaktewatersysteem veel dynamiek zit door het continu aftasten of het gemaal of de inlaat moeten starten of stoppen. Een klein verschil in peil tussen twee opeenvolgende iteratiestappen kan op een gegeven tijdstip tot een andere beslissing leiden voor peilbeheer waarmee grote bemalings- of inlaatdebieten gepaard gaan. Dit is ook te herkennen in de grafieken van het verloop van het oppervlaktewaterpeil van Figuur B1.8.

**Tabel B1.1**

*Resultaten van de iteraties als optimale RMSE en benodigde aantal iteraties, per decennium en gemiddeld voor de vijf decennia, voor de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains en voor de historische maaiveldaling berekeningen.*

Decennium	RMSE (cm)			Aantal iteraties (-)		
	Geen drains	Drains	Historisch	Geen drains	Drains	Historisch
1	0,36	0,41	0,34	32	68	28
2	0,27	0,36	0,30	45	86	72
3	0,26	0,30	0,29	95	98	84
4	0,33	0,31	0,29	57	69	56
5	0,28	0,32	0,31	60	79	43
Gemiddeld	0,30	0,34	0,31	58	80	55

Bij de berekeningen van de extreme buien bedroeg het aantal uurwaarden dat tussen twee opeenvolgende peilreeksen moest worden vergeleken slechts 360. Daarmee haalde het model altijd het scherpe convergentiecriteria van  $10^{-3}$  cm, in 10-15 (geen drains) tot 15-20 (drains) iteraties. Praktisch kwam dat er op neer dat beide peilreeksen exact op elkaar lagen (Figuur B1.7).



**Figuur B1.7** *Vergelijking van de berekende oppervlaktewaterpeilen van de voorlaatste (ingaaand) en de laatste (uitgaand) iteratiestap voor de berekening van de extreme bui.*



**Figuur B1.8** Vergelijking van de berekende oppervlaktewaterpeilen van de voorlaatste (ingaaand) en de laatste (uitgaand) iteratiestap voor de optie zonder drains en die met drains in het jaar 1998. Daaronder de verschillen tussen voorlaatste en laatste peilreeksen voor het gehele derde decennium voor de optie zonder drains en met drains. Op de x-as dagen in decennium 3, vanaf 1 januari 1991; op de y-as peilhoogten in cm + NAP (bovenste twee grafieken) en verschillen tussen voorlaatste en laatste peil in cm (onderste twee grafieken).



## Bijlage 2 Maaiveldddaling in de Demmeriksepolder op basis van historische gegevens

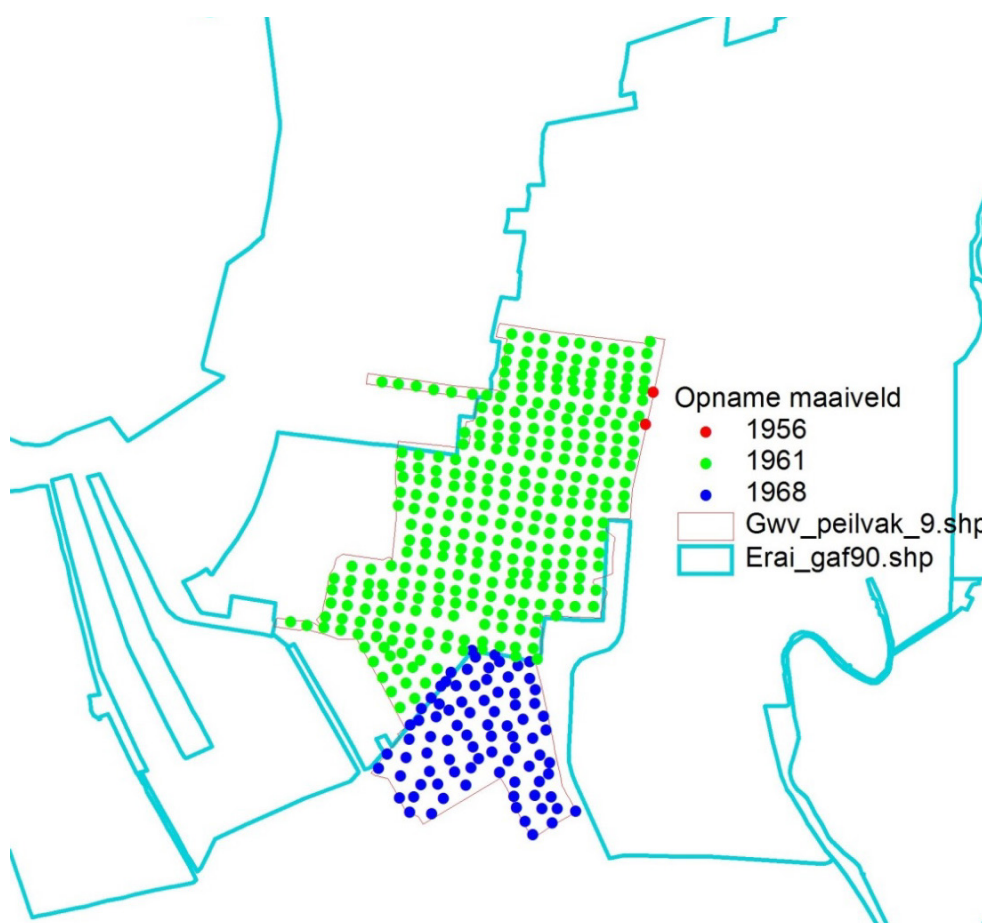
Harry Massop, dd 9-10-2013

Om de maaiveldddaling voor de Demmerikse polder te bepalen die in het recente verleden heeft plaatsgevonden is gebruik gemaakt van twee gegevensbronnen, nl.:

1. Maaiveldhoogtedata,
2. Polderpeilen.

### Ad. 1

De oudste maaiveldhoogtegegevens voor het gebied dateren uit de jaren 1961 en 1968 (Figuur B2.1).



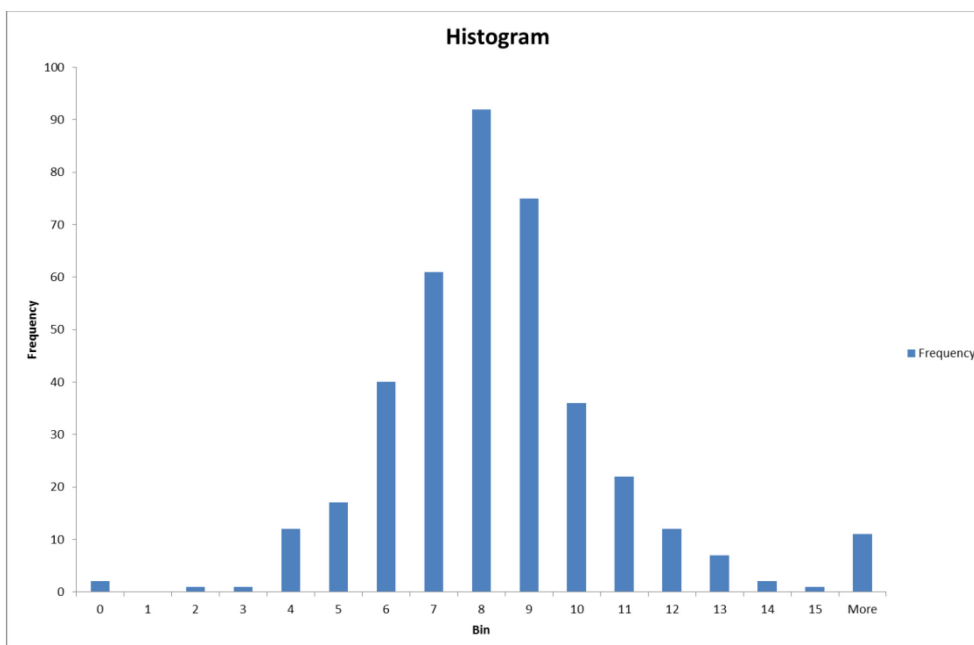
**Figuur B.2.1** Opname jaar oudst beschikbare meting maaiveldhoogte.

Deze hoogtecijfers zijn door waterpassing bepaald, per locatie zijn de xy-coördinaten, de hoogte in dm t.o.v. NAP en het jaar van de opname bekend. Totaal liggen er 392 punten in het gebied. In 2008 is de maaiveldhoogte in kaart gebracht m.b.v. laseraltimetrie. Deze opnametechniek heeft geresulteerd in een vlak dekkende maaiveldhoogtekaart, de zogenaamde AHN2. Dit is de meest recente hoogtekaart van het gebied. Voor de eerder genoemde punten kan dus tevens de huidige maaiveldhoogte worden bepaald. Omdat op twee momenten de maaiveldhoogte bekend is alsmede het tijdvak tussen beide metingen is de gemiddelde maaiveldddaling in mm/jaar afleiden, deze is weergegeven in Figuur B2.2.



**Figuur B2.2** Maaiveldddaling in mm/jaar.

In Figuur B2.3 is de verdeling van de maaivelddalingsnelheden weergegeven en in Tabel B2.1 zijn enkele statistieken van de geselecteerde punten samengevat



**Figuur B2.3** Verdeling van de maaiveldsnelheden (mm per jaar).

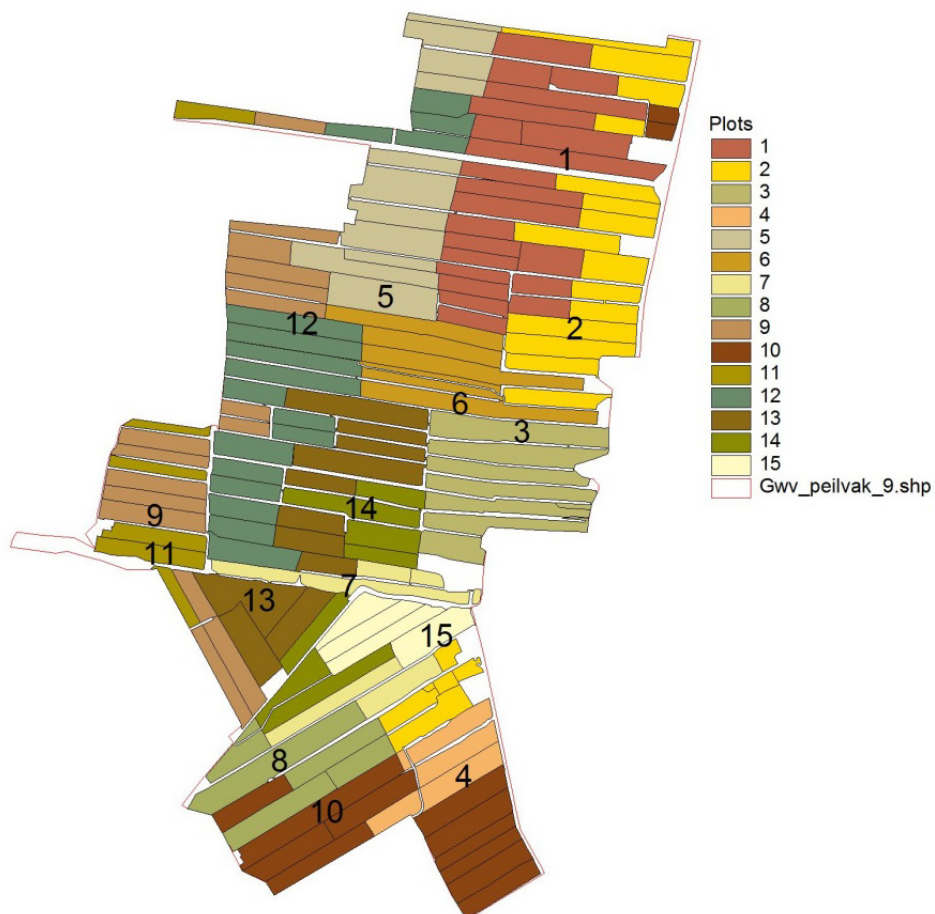
Tabel B2.1

Statistieken van de geselecteerde punten waarvoor maaiveldhoogte gegevens beschikbaar zijn.

MVDALING_M	
Mean	7.99
Standard Error	0.16
Median	7.66
Mode	7.45
Standard Deviation	3.18
Sample Variance	10.12
Kurtosis	14.66
Skewness	2.19
Range	39.22
Minimum	-8.72
Maximum	30.50
Sum	3132.77
Count	392
Confidence Level (95.0%)	0.32

Uit Figuur B2.3 en Tabel 1 kunnen we afleiden dat de gemiddelde maaiveldaling 8 mm per jaar bedraagt, terwijl de mediaan 7,7 mm per jaar bedraagt.

Peilvak 9 is opgedeeld in 15 deelgebieden (Figuur B2.4).



**Figuur B2.4** Verdeling deelgebieden voor peilvak 9.

Het puntenbestand is opgesplitst over de 15 deelgebieden, de bijbehorende statistieken zijn weergegeven in Tabel B2.2.

Tabel B2.2

Statistieken voor 15 deelgebieden gelegen binnen peilvak 9.

Plotnr	Aantal	Opnamejaar	Gemiddelde hoogte cm tov NAP	AHN2 cm tov NAP	Daling cm	Dalings- snelheid mm/jaar	Standaard- deviatie mv-daling mm
1	52	1961	-179	-214	35	7.5	1.36
2	41	1961/1968	-170	-206	36	8.0	2.34
3	27	1961	-177	-206	29	6.2	1.45
4	8	1968	-170	-206	36	9.0	3.04
5	36	1961	-183	-219	36	7.6	1.69
6	20	1961	-181	-214	34	7.2	1.57
7	12	1961/1968	-183	-216	33	7.4	1.41
8	14	1968	-163	-205	42	10.5	3.64
9	25	1961	-178	-214	37	7.8	2.37
10	27	1961/1968	-165	-196	31	7.7	2.33
11	15	1961	-167	-195	27	5.8	1.45
12	38	1961	-193	-230	38	8.0	1.76
13	27	1961	-189	-229	40	8.5	1.50
14	17	1961/1968	-180	-225	45	10.5	5.38
15	11	1968	-188	-229	40	10.1	5.56
Geen	22	1961/1968	-151	-191	41	9.4	8.24
Totaal	<b>392</b>	<b>1961/1968</b>	<b>-177</b>	<b>-213</b>	<b>36</b>	<b>8.0</b>	<b>3.18</b>

Bij opsplitsing van het puntenbestand naar deelgebied vinden we een variatie in maaiveld daling van 27 - 45 cm.

#### Ad.2

In Figuur B2.5 is het polderpeil in 1869 weergegeven.



**Figuur B2.5** Polderpeil Demmerikse polder in 1869.

Voor landbouwkundige toepassing is een voldoende ontwateringsdiepte vereist. Als het maaiveld daalt, wordt niet meer aan de vereiste ontwateringsdiepte voldaan en neemt de natschade toe. Om weer aan de vereiste ontwateringsdiepte te kunnen voldoen wordt het polderpeil verlaagd, dit betekent dat het polderpeil de maaiveldaling volgt. Omdat polderpeilen over langere perioden bekend zijn dan maaiveldhoogten kunnen deze worden gebruikt om maaiveldalingsnelheden over langere perioden af te leiden.

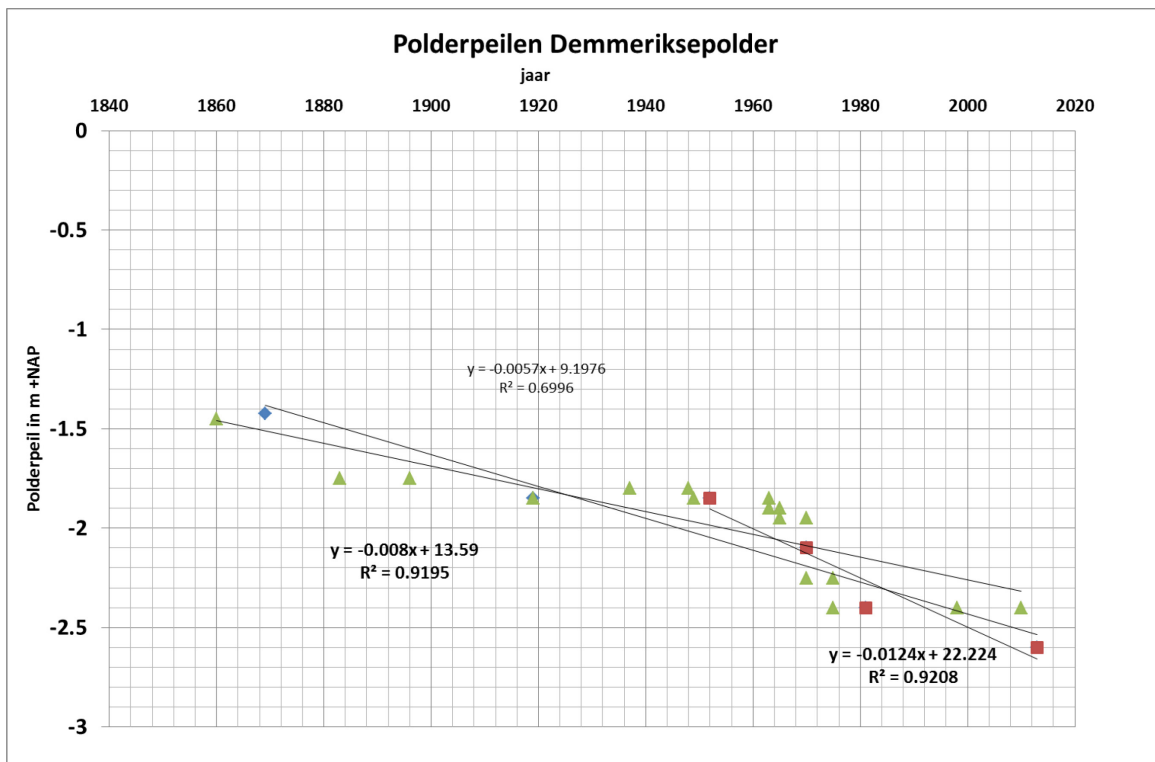
In Figuur B2.6 zijn voor enkele jaren de polderpeilen weergegeven alsmede de dalingsnelheid. De eerste polderpeilen zijn gegeven in AP (1,45 m –AP), in 1888 is het NAP ingevoerd. Het NAP is nauwkeuriger dan het AP, daarom is het oudst bekende polderpeil gecorrigeerd naar 1,425 m-NAP op basis van gegevens Rijkswaterstaat, hiervoor is het gemiddelde gebruikt van de fout in de voormalige gemeenten Breukelen-Nijenrode en Breukelen-St Pieter (Tabel B2.3).

**Tabel B2.3**

Enkele correctiewaarden voor de fout tussen AP en NAP.

Provincie	Gemeente	APvlak= NAPvlak + ..... (m)
Provincie Utrecht	Breukelen-Nijenrode	-0.020
Provincie Utrecht	Breukelen-St, Pieter	-0.030

De overige polderpeilen zijn gegeven in NAP.



**Figuur B2.6** Maaivelddalingsnelheden op basis van daling polderpeil in de Demmerikse polder, voor de periode 1869-2013 en 1952-2013.

In 1919 en 1952 worden identieke polderpeilen gegeven. Over de gehele periode is de gemiddelde daling 8 mm/jaar, nemen we de periode 1952-2013 dan wordt een dalingsnelheid gevonden van 12.4 mm/jaar, deze snelheid is groter dan op basis van maaiveldhoogte gegevens over ongeveer dezelfde periode is afgeleid.

### Conclusie

Vergelijking van de maaivelddalingsnelheid afgeleid van maaiveldhoogteverschillen met de verandering in de polderpeilen tussen 1869 en heden laat zien dat de maaivelddaling ca. 8 mm/jaar bedraagt.

### Literatuur.

Massop, H.Th.L., in prep. Maaivelddaling op veengronden. In historisch perspectief. Wageningen, Alterra-rapport ??.

# Bijlage 3    Aanvullende resultaten waterkwantiteit

In deze bijlage worden eerst alle oorspronkelijke, ongecorrigeerde resultaten van de berekeningen van de waterbalanstermen gegeven (B3.1). Daarna wordt de methode beschreven waarmee de waterbalanstermen zijn gecorrigeerd voor neerslagoverschot (B3.2).

## B3.1    Oorspronkelijke, ongecorrigeerde resultaten van waterbalanstermen

Eerst worden in Tabellen B3.1 en B3.2 de ongecorrigeerde tegenhangers van Tabellen 4.1 en 4.2 van de hoofdstuk gepresenteerd. Vervolgens worden in Tabellen B3.3 en B3.4 alle ongecorrigeerde resultaten op jaarbasis gegeven.

Tabel B3.1

**Ongecorrigeerde** areaalgewogen gemiddelde drainage- (drain.) en infiltratie- (infil.) fluxen van Peilvak 9, voor de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains, en het verschil daartussen. Waarden zijn de totalen van de vijf decennia en van de vijftigjarige periode, en het vijftigjarige jaargemiddelde ( $P$  = neerslag;  $E_{pot}$  = potentiële evapotranspiratie). De fluxen zijn uitgedrukt in mm waterschijf op basis van de totale oppervlakte: land plus water.

Periode (jaren)	P - $E_{pot}$ (mm)	Geen Drains		Drains		Verschil: Drains - Geen drains			
		drain. (mm)	infil. (mm)	drain. (mm)	infil. (mm)	drain. (mm)	infil. (mm)	drain. (%)	infil. (%)
1-10	2653	3389	1022	3804	1490	415	468	12	46
11-20	1399	2676	1298	2963	1862	286	564	11	43
21-30	1843	3211	1076	3482	1785	271	709	8	66
31-40	2425	4046	855	4087	1727	41	872	1	102
41-50	2051	3895	840	4124	1539	230	699	6	83
Som 50	10371	17217	5090	18459	8402	1243	3312	7	65
Gemiddeld 50	207	344	102	369	168	25	66	7	65

Tabel B3.2

**Ongecorrigeerde** bemalings- en inlaatdebieten, en uren malen voor de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains en het verschil daartussen in Peilvak 9, als totalen van de vijf decennia en van de 50-jarige periode, en als het 50-jarige gemiddelde (Gem. 50). De debieten zijn uitgedrukt in mm waterschijf op basis van de totale oppervlakte: land plus water.

Periode (jaren)	P - $E_{pot}$ (mm)	Geen Drains		Drains		Verschil: Drains - Geen drains			
		drain. (mm)	infil. (mm)	drain. (mm)	infil. (mm)	drain. (mm)	infil. (mm)	drain. (%)	infil. (%)
1-10	2653	3389	1022	3804	1490	415	468	12	46
11-20	1399	2676	1298	2963	1862	286	564	11	43
21-30	1843	3211	1076	3482	1785	271	709	8	66
31-40	2425	4046	855	4087	1727	41	872	1	102
41-50	2051	3895	840	4124	1539	230	699	6	83
Som 50	10371	17217	5090	18459	8402	1243	3312	7	65
Gemiddeld 50	207	344	102	369	168	25	66	7	65

Tabel B3.3

**Ongecorrigeerde gebiedsgemiddelde drainage (drain.) en infiltratie (infil.) fluxen voor de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains en het verschil daartussen, voor individuele jaren, voor de vijf decennia en voor de 50-jaarsperiode (P = neerslag; Epot = potentiële evapotranspiratie).**

Periode	P - Epot	Geen drains		Drains		Verschil: Drains - Geen drains			
		drain.	infil.	drain.	infil.	drain.	infil.	drain.	infil.
weerjaar	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(%)	
1961		386	83	439	135	53	53	14	64
1962		258	114	296	158	37	43	14	38
1963		254	82	285	121	32	39	12	47
1964		211	126	256	178	46	52	22	42
1965		572	79	610	123	38	44	7	56
1966		553	71	596	111	43	40	8	56
1967		325	141	365	192	40	51	12	36
1968		278	64	314	101	37	37	13	58
1969		222	143	267	201	45	58	20	41
1970		331	118	375	170	44	52	13	44
1971		135	167	165	230	30	64	22	38
1972		157	72	188	126	31	54	20	75
1973		285	122	318	179	33	57	12	47
1974		440	88	475	140	35	52	8	59
1975		190	172	208	225	18	53	9	31
1976		155	218	170	280	15	62	10	28
1977		344	112	378	170	34	58	10	51
1978		229	126	258	183	29	57	12	46
1979		367	108	394	157	27	48	7	45
1980		375	114	409	173	35	59	9	52
1981		491	80	522	146	31	65	6	81
1982		201	167	228	250	27	83	13	49
1983		368	123	402	202	34	80	9	65
1984		372	85	410	163	38	78	10	92
1985		227	61	255	126	28	65	12	107
1986		284	143	317	227	33	84	12	59
1987		399	35	417	87	18	52	5	150
1988		402	95	428	159	26	65	6	68
1989		225	153	248	227	22	74	10	48
1990		242	135	256	198	15	64	6	47
1991		287	116	297	216	10	101	4	87
1992		436	79	435	161	-2	82	0	103
1993		408	71	412	154	5	83	1	117
1994		546	79	540	157	-6	78	-1	100
1995		316	129	333	239	17	111	5	86
1996		234	125	239	223	5	98	2	78
1997		267	72	279	167	12	95	5	131
1998		739	41	734	107	-5	66	-1	160
1999		399	80	408	168	9	88	2	110
2000		415	63	410	134	-5	71	-1	113
2001		535	66	544	119	9	54	2	82
2002		423	60	449	131	26	70	6	117
2003		239	167	264	258	25	92	11	55
2004		372	75	399	147	27	72	7	95
2005		374	58	406	123	31	66	8	114
2006		358	107	397	198	40	91	11	86
2007		465	47	487	112	22	66	5	141
2008		407	80	420	139	13	59	3	74
2009		310	89	334	158	24	69	8	78
2010		412	92	424	153	12	61	3	66
Periode	P - Epot	Geen drains		Drains		Verschil: Drains - Geen drains			
(jaar)	(mm)	drain.	infil.	drain.	infil.	drain.	infil.	drain.	infil.
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(%)
1-10	2653	3389	1022	3804	1490	415	468	12	46
11-20	1399	2676	1298	2963	1862	286	564	11	43
21-30	1843	3211	1076	3482	1785	271	709	8	66
31-40	2425	4046	855	4087	1727	41	872	1	102
41-50	2051	3895	840	4124	1539	230	699	6	83
som 50	10371	17217	5090	18459	8402	1243	3312	7	65
Gem.	207	344	102	369	168	25	66	7	65



Tabel B3.4

**Ongecorrigeerde** bemaling(uitslag)- en inlaatdebieten en uren bemalen voor de toekomstopties zónder en mét onderwaterdrains en het verschil daartussen, voor individuele jaren, voor de vijf decennia en voor de 50-jaarsperiode .

Periode	P - Epot	Geen drains			Drains			Verschil: Drains - Geen drains				
		uitslag		inlaat	uitslag		inlaat	uitslag		inlaat	uitslag	inlaat
weerjaar		(mm)	(uren)	(mm)	(mm)	(uren)	(mm)	(mm)	(uren)	(mm)	(%)	(%)
1961		476	828	137	512	890	175	36	63	38	8	28
1962		325	565	177	351	610	208	26	45	31	8	17
1963		307	534	126	333	579	160	26	45	34	9	27
1964		260	452	182	304	529	234	44	77	52	17	28
1965		684	1189	128	712	1239	162	29	50	34	4	27
1966		657	1143	114	703	1222	155	46	79	41	7	36
1967		390	678	199	440	764	261	50	86	62	13	31
1968		336	584	110	367	639	138	31	54	28	9	26
1969		283	493	214	305	531	255	22	38	41	8	19
1970		389	676	167	434	755	217	46	79	50	12	30
1971		164	285	222	185	321	284	21	36	62	13	28
1972		187	325	107	222	386	163	35	61	56	19	53
1973		338	588	171	363	631	225	25	43	54	7	32
1974		529	921	138	561	975	191	32	55	53	6	38
1975		230	400	237	243	422	289	13	22	52	6	22
1976		191	331	300	206	358	369	16	27	69	8	23
1977		402	699	150	448	779	223	46	80	72	11	48
1978		277	481	179	295	513	232	18	32	53	7	30
1979		430	748	144	461	802	198	31	54	54	7	38
1980		433	754	154	471	820	217	38	66	63	9	41
1981		583	1014	115	610	1061	185	27	46	70	5	60
1982		247	430	240	264	458	320	17	29	80	7	33
1983		432	752	168	463	806	253	31	54	85	7	51
1984		446	775	127	462	804	198	16	29	71	4	56
1985		267	463	90	295	513	161	29	50	71	11	79
1986		339	590	204	375	653	302	36	63	98	11	48
1987		473	823	58	481	836	107	8	13	49	2	86
1988		477	829	139	506	881	213	30	52	74	6	54
1989		273	474	219	285	495	293	12	21	75	4	34
1990		284	494	183	303	526	262	19	33	78	7	43
1991		347	604	169	349	608	277	2	4	109	1	64
1992		516	897	121	514	894	222	-2	-4	101	0	83
1993		486	845	117	471	819	201	-15	-26	84	-3	72
1994		657	1142	128	639	1111	211	-18	-31	84	-3	66
1995		376	654	181	384	669	297	8	14	117	2	65
1996		278	483	172	274	477	281	-4	-7	108	-1	63
1997		312	543	99	320	557	213	8	14	114	3	115
1998		864	1502	66	844	1467	131	-20	-34	65	-2	98
1999		478	831	122	479	833	223	1	2	101	0	83
2000		494	859	97	481	837	176	-13	-22	80	-3	83
2001		632	1098	98	640	1113	161	8	14	63	1	65
2002		504	877	98	525	913	178	20	35	80	4	81
2003		285	495	236	312	543	337	27	47	101	10	43
2004		455	792	124	458	797	185	3	5	62	1	50
2005		452	786	106	482	838	179	30	52	73	7	69
2006		435	756	166	456	793	250	21	37	84	5	51
2007		551	958	88	562	977	156	11	18	68	2	77
2008		484	841	123	491	853	183	7	12	61	1	49
2009		385	670	149	397	690	216	11	20	67	3	45
2010		502	872	155	506	880	218	5	8	63	1	41
Periode	P - Epot	Geen drains			Drains			Verschil: Drains - Geen drains				
(jaar)		uitslag		inlaat	uitslag		inlaat	uitslag		inlaat	uitslag	inlaat
	(mm)	(mm)	(uren)	(mm)	(mm)	(uren)	(mm)	(mm)	(uren)	(mm)	(%)	(%)
1-10	2653	4106	7141	1553	4462	7759	1964	355	618	411	9	26
11-20	1399	3181	5533	1801	3454	6008	2390	273	475	589	9	33
21-30	1843	3820	6644	1542	4044	7032	2292	223	388	751	6	49
31-40	2425	4807	8361	1271	4756	8270	2233	-52	-90	962	-1	76
41-50	2051	4685	8147	1343	4828	8397	2064	144	250	721	3	54
som 50	10371	20600	35826	7509	21543	37467	10943	943	1641	3434	5	46
Gem.	207	412	717	150	431	749	219	19	33	69	5	46

## B3.2 Correctie waterbalanstermen voor neerslagoverschot

De neerslagoverschotten van de vijf decennia onderling verschilden sterk, tot maximaal een factor 1,9 tussen het eerste en tweede decennium (Tabel B3.1). Zij vertroebelden daardoor het algemene beeld van de relaties van drainage, infiltratie, bemaling en inlaat met de maaiveldaling. Daarom zijn de drainage-, infiltratie-, bemalings- en inlaatdebieten gecorrigeerd voor het neerslagoverschot. Dit is pas gedaan nadat bleek dat deze debieten een zeer sterke relatie vertoonden met het neerslagoverschot, gegeven de onderrandflux. Daarvoor is tweevoudige-lineaire-regressie-analyse uitgevoerd op de debieten met het neerslagoverschot en de onderrandflux als verklarende variabelen volgens:

$$Q = \alpha + \beta \cdot P_n + \gamma \cdot Q_o \quad (\text{B3.1})$$

met:

$Q$  = drainage-, infiltratie-, bemalings- of inlaatdebiet, gemiddeld per decennium (mm/j);

$P_n$  = neerslagoverschot, gemiddeld per decennium (mm/j);

$Q_o$  = onderrandflux als wegzijging of kwel, gemiddeld per decennium (mm/j);

$\alpha, \beta, \gamma$  = regressiecoëfficiënten (mm/j) en (-).

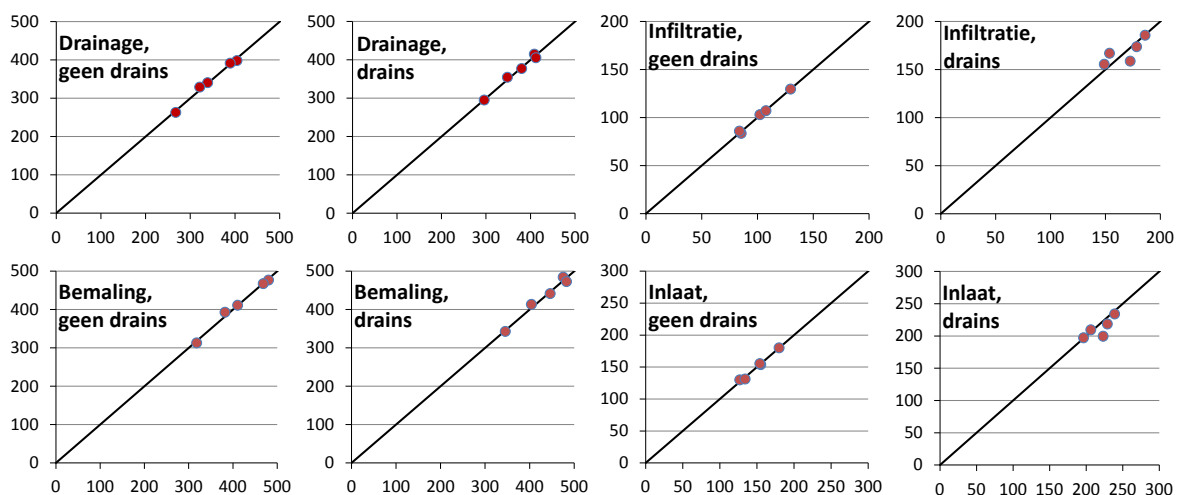
De resultaten van de regressie-analyse in termen van regressiecoëfficiënten en de determinatiecoëfficiënten zijn gegeven in Tabel B3.5. Voor alle doelvariabelen zijn determinatiecoëfficiënten  $R^2$  zeer hoog wat een zeer sterk verband uitdrukt. Uitzonderingen zijn infiltratie en inlaat bij onderwaterdrains. Reden is de geringe spreiding in de modeluitkomsten van deze variabelen. Met een  $R^2$  van 0,64 zijn deze resultaten wel acceptabel.

Voor elk decennium zijn nieuwe waarden voor de acht doelvariabelen berekend met het regressie-model, waarbij voor verklarende variabele 'neerslagoverschot' het gemiddelde van de vijftigjarige simulatieperiode is gebruikt. Dit gemiddelde neerslagoverschot bedraagt 207,4 mm per jaar (Tabel B3.1). De resultaten van de correcties zijn opgenomen in Tabellen 4.1 en 4.2 van de hoofdtekst.

Tabel B3.5

Waarden van de regressiecoëfficiënten en de determinatiecoëfficiënt  $R^2$  voor de acht gefitte tweevoudige-lineaire-regressievergelijkingen.

Parameter	Geen drains				Drains			
	drainage	infiltratie	bemaling	inlaat	drainage	infiltratie	bemaling	inlaat
$\alpha$	174,1	159,9	200,8	210,2	258,3	216,9	297,1	270,7
$\beta$	0,775	-0,264	0,908	-0,330	1,111	-0,049	1,292	-0,0901
$\gamma$	0,886	-0,303	1,095	-0,317	0,821	-0,248	0,978	-0,3081
$R^2$	0,989	0,994	0,990	0,991	0,985	0,642	0,982	0,639



**Figuur B3.1** Scatterplots van de acht doelvariabelen van de regressieanalyse met op de x-as de modeluitkomsten in mm/jaar en op de y-as de resultaten van de regressievergelijkingen in mm/jaar.

---

## Bijlage 4    Aanvullende resultaten waterkwaliteit

In de Figuren B4.1 en B4.2 zijn voor de drie nutriënten de netto jaarvrachten van nutriëntentema 'afwenteling' getoond voor de twee decennia, en in de Figuren B4.3 en B4.4 de netto zomervrachten van nutriëntentema 'waterkwaliteit'. In algemene zin zijn de vrachten groter naarmate de wegzijging kleiner is in een deelgebied. Bij grotere wegzijging zijn de uitstromingsdebieten van water kleiner en daarmee de uitspoelingsvrachten van de nutriënten (zie Figuur 5.3, hoofdtekst). De kleinste vrachten zijn te vinden bij deelgebieden 9 en 11 met de grootste wegzijging. Na 40 jaar is er een behoorlijke nivellering in maaiveld opgetreden, vooral in de toekomstoptie met drains, en zijn de verschillen tussen deelgebieden met drains voor fosfor en stikstof kleiner geworden. Voor sulfaat geldt dat minder.

In het navolgende worden de nutriëntentema's 'afwenteling' en 'waterkwaliteit' achtereenvolgens verder uitgewerkt.

### **Afwenteling**

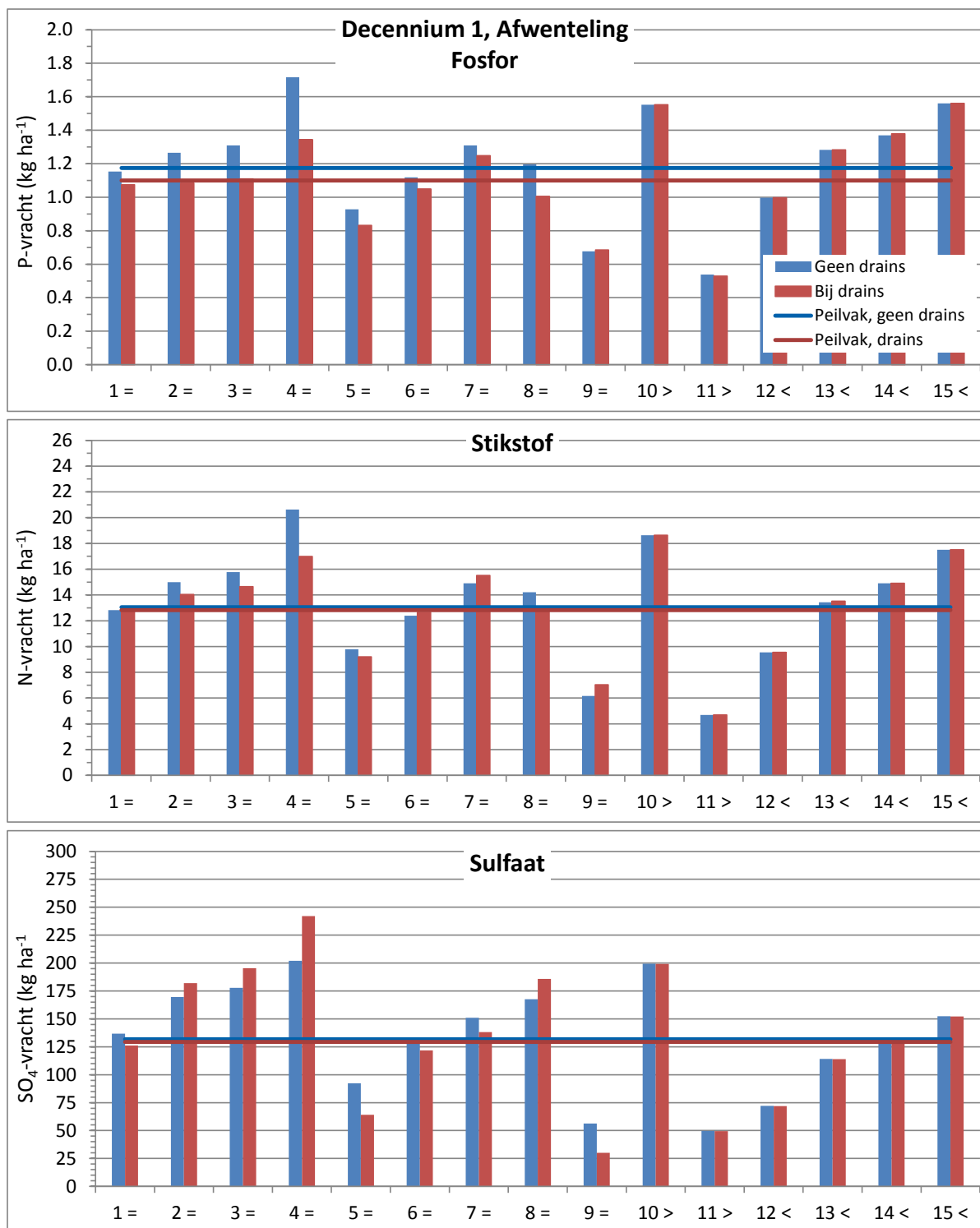
In het eerste decennium is het gemiddelde effect van onderwaterdrains nihil voor stikstof en sulfaat, en klein voor fosfor (afname van 6%). De effecten van onderwaterdrains zijn voor de deelgebieden zonder drains nihil. In dit decennium zijn de maaiveldhoogten in de toekomstopties zonder en met drains gelijk en manifesteren de drains zich alleen via het oppervlaktewaterpeil in de deelgebieden waarin geen drains liggen. Deze beïnvloeding van de drains via het oppervlaktewaterpeil is blijkbaar zeer gering.

In de negen deelgebieden waarin de drains liggen zijn de effecten zodanig wisselend dat ze gemiddeld genomen resulteren in de (zeer) geringe verschuivingen in vrachten. Tussen de deelgebieden onderling zijn de verschillen in effecten van drains wel groot; bij fosfor en stikstof werken de drains in deelgebieden met grotere drooglegging (3, 8 en vooral 4) verminderend op de vrachten. In deelgebieden met geringere drooglegging (1, 6, 7 en 9) werken drains voor stikstof juist (licht) vrachtverhogend en bij fosfor wel vrachtverlagend maar minder sterk. Bij sulfaat werkt het juist omgekeerd: toename bij grotere drooglegging en afname bij geringere. Dit is conform de resultaten van de modelberekeningen van Hendriks en Van den Akker (2012) en wordt daarin uitgebreid verklaard.

In decennium 5 is het maaiveld in de toekomstoptie zonder drains sterk gedaald, waardoor de wegzijging sterk is verminderd en de uitstromingsdebieten flink vergroot. Hierdoor zijn ook de nutriëntenvrachten zonder uitzondering sterk toegenomen. Onderwaterdrains hebben in deze situatie twee effecten bewerkstelligd: vermindering van de maaiveldval in de decennia daarvoor en actuele effecten op de waterpeilen en debieten. Dit leidt gebiedsgemiddeld tot een afnemend effect op de nutriëntenvrachten van 13% voor fosfor en stikstof, en 15% voor sulfaat.

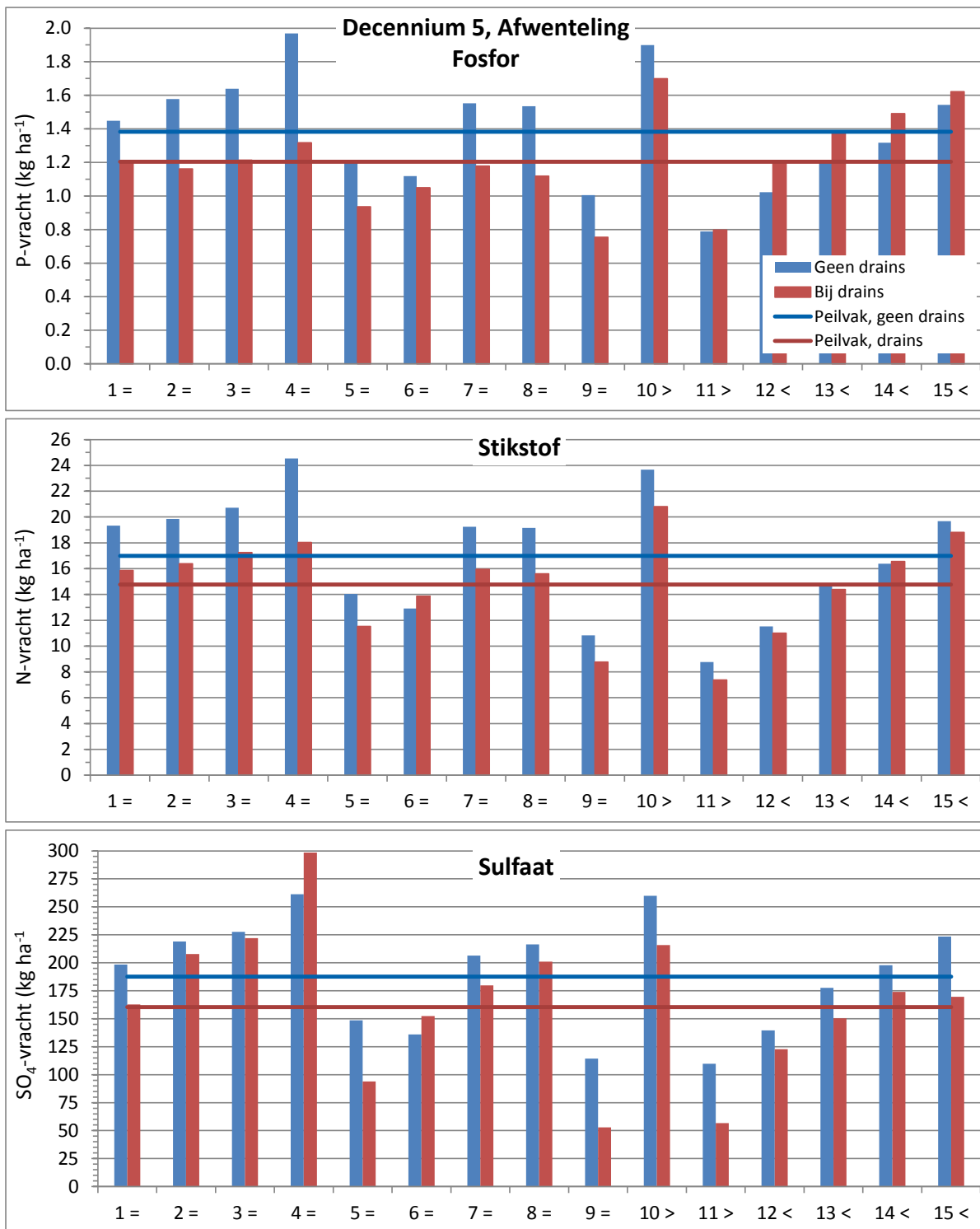
Ook hier is de drooglegging sterk bepalend. Deze is min of meer gelijk gebleven voor de deelgebieden met drains, terwijl die voor de oorspronkelijke natte deelgebieden 12 t/m 15 veel kleiner is geworden. Deze gebieden zijn nog (veel) natter geworden. Dit is goed terug te zien in de resultaten: bij fosfor is de uitspoeling door drains flink vergroot, bij stikstof enigszins, maar bij sulfaat is de uitspoelingsvracht zeer sterk afgenomen. Bij fosfor en stikstof zijn uitspoelingsvrachten juist het sterkst afgenomen door drains bij de gebieden met (nog altijd) grotere drooglegging 1 t/m 4. Bij deelgebied 4 met de grootste drooglegging is het effect op de sulfaatuitspoeling nog een toeneming van de vracht, maar bij de deelgebieden 2, 3 en 8 is de toename omgeslagen in afname door het vernattende effect van drains in de zomer waardoor pyrietoxidatie, de belangrijkste bron van sulfaat, wordt geremd. In een situatie met verminderde wegzijging is dit mechanisme blijkbaar effectief genoeg om de sulfaatproductie voldoende te doen afnemen voor een afname van de uitspoelingsvrachten.

Bij fosfor en stikstof zijn de deelgebieden 1, 6, 7 en 9 die in decennium 1 een wat minder positief (vrachtverlagend) effect van de drains vertonen nu ook omgeslagen naar een duidelijke afname van de vrachten. Bij fosfor is dat voor een groot deel het gevolg van een betere binding aan het

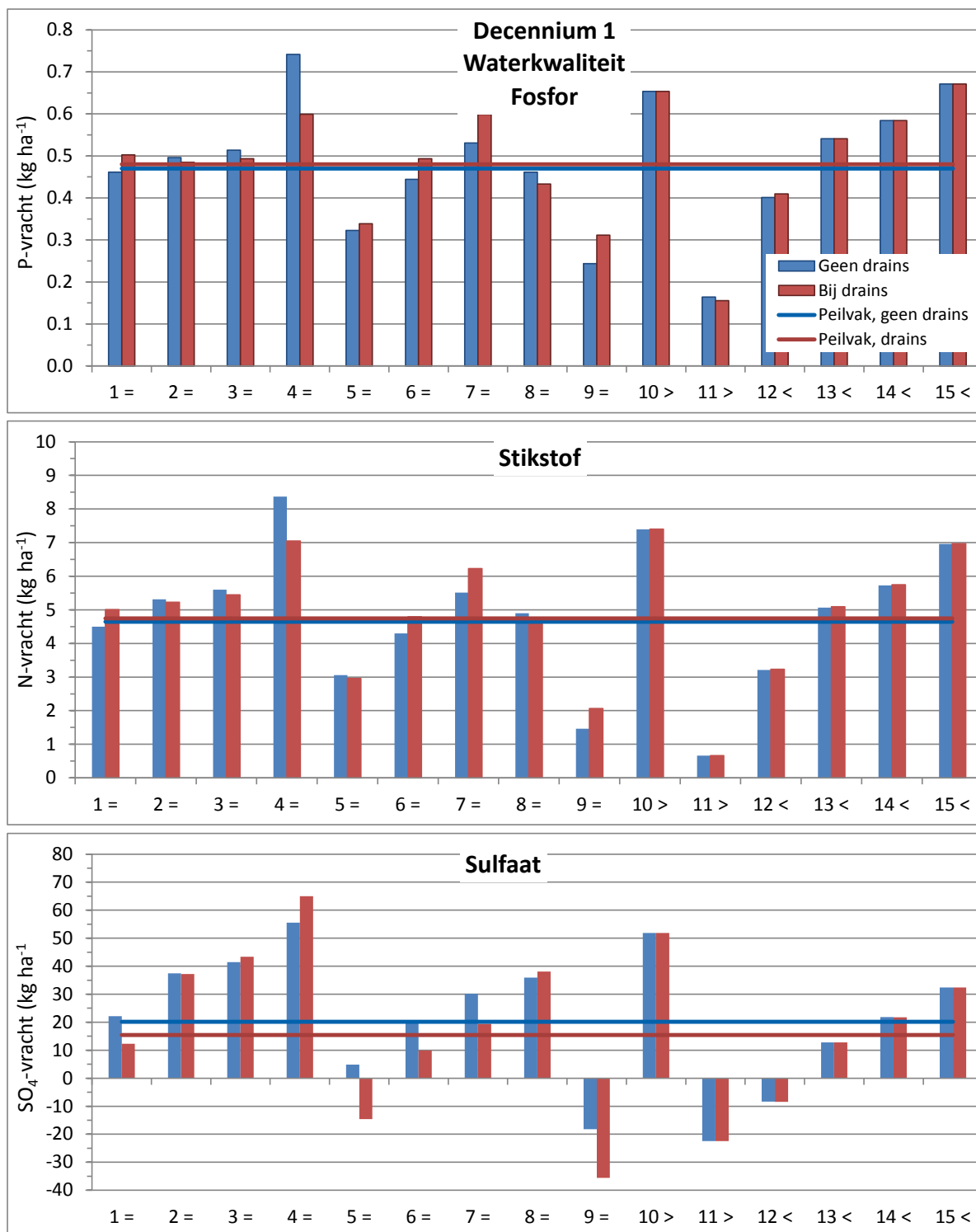


**Figuur B4.1** Nutriëntenvrachten als 'afwenteling' per deelgebied en gebiedsgemiddeld voor het peilvak voor de situatie zonder en met onderwaterdrains, gemiddeld voor het 1<sup>e</sup> decennium. 'Afwenteling' staat voor de jaarlijkse netto vracht vanuit de veenbodem naar het oppervlaktewater per ha land + water. Verklaring symbolen deelgebieden: 1 t/m 9 = voldoet (=); 10 en 11 = te groot (>); 12 t/m 15 = te klein (<); 4, en 10 = waardveen (met een kleidek); overige deelgebieden = koopveen (zonder kleidek).

bodemcomplex van fosfor uit mest in nattere tijden door de drainerende werking van drains, bij stikstof van een verminderde veenmineralisatie in droge tijden, bij beide nutriënten van verminderde afspoeling en ondiepe uitspoeling van meststoffen en een verminderde doorstroming en uitloging van het diepere veen met grote hoeveelheden opgeloste en aan de veenbodem gebonden stikstof- en fosforverbindingen (zie Hendriks en Van den Akker (2012) voor uitgebreide verklaring).



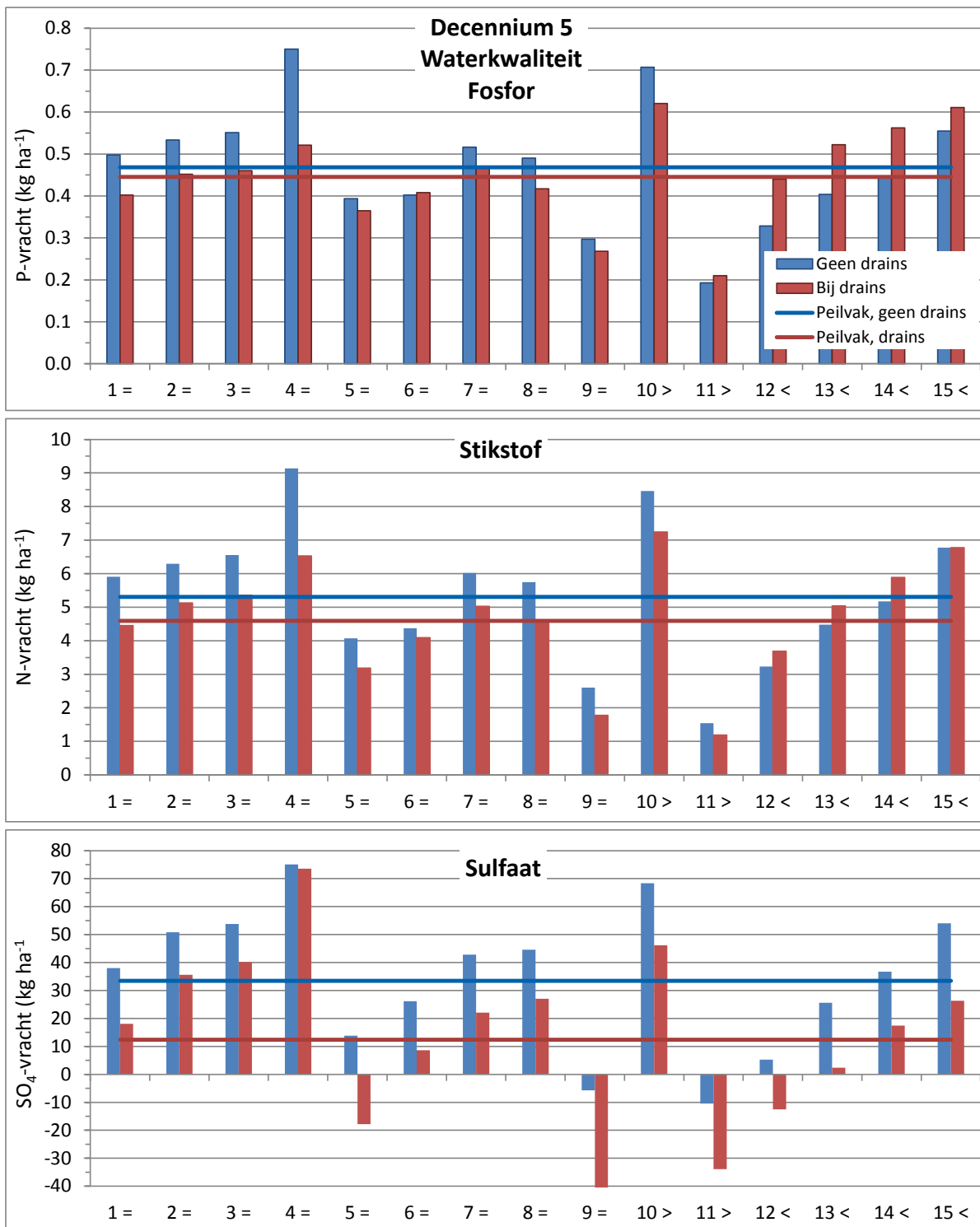
**Figuur B4.2** Nutriëntenvrachten als 'afwenteling' per deelgebied en gebiedsgemiddeld voor het peilvak voor de situatie zonder en met onderwaterdrains, gemiddeld voor het 5<sup>e</sup> decennium. 'Afwenteling' staat voor de jaarlijkse netto vracht vanuit de veenbodem naar het oppervlaktewater per ha land + water.



**Figuur B4.3** Nutriëntenvrachten als 'waterkwaliteit' per deelgebied en gebiedsgemiddeld voor het peilvak voor de situatie zonder en met onderwaterdrains, gemiddeld voor het 1<sup>e</sup> decennium. 'Waterkwaliteit' staat voor de belasting van het oppervlaktewater in het zomerhalfjaar als actuele netto zomervracht vanuit de veenbodem plus voorraad in het oppervlaktewater aan het begin van het zomerhalfjaar, in ha land + water. Verklaring symbolen deelgebieden: 1 t/m 9 = voldoet (=); 10 en 11 = te groot (>); 12 t/m 15 = te klein (<); 4, en 10 = waardveen (met een kleidek); overige deelgebieden = koopveen (zonder kleidek).

### Waterkwaliteit

Bij de zomervrachten van thema 'waterkwaliteit' speelt het 'netto-effect' van de vrachten vooral bij sulfaat een grote rol. De zomerinfiltratie is bij vier deelgebieden (5, 9, 11 en 12) zo groot dat de netto sulfaatvracht negatief is: er gaat meer sulfaat de veenbodem in dan eruit komt. Dit gebeurt alleen bij



**Figuur B4.4** Nutriëntenvrachten als 'waterkwaliteit' per deelgebied en gebiedsgemiddeld voor het peilvak voor de situatie zonder en met onderwaterdrains na het 5<sup>e</sup> decennium. 'Waterkwaliteit' staat voor de belasting van het oppervlaktewater in het zomerhalfjaar als actuele netto zomervrucht vanuit de veenbodem plus voorraad in het oppervlaktewater aan het begin van het zomerhalfjaar, in ha land + water.

sulfaat door de relatief hogere concentratie van sulfaat in het infiltrerende water. Bij fosfor en stikstof zijn de infiltratieconcentraties daarvoor te laag.

In het eerste decennium is er gebiedsgemiddeld een verwaarloosbaar verhogend effect van onderwaterdrains op de zomerbelasting van fosfor en stikstof. Bij sulfaat is er juist gebiedsgemiddeld een afname door drains van 24%. In het vijfde decennium is die afname ook in absolute zin zeer groot: 21

---

kg SO<sub>4</sub> per ha per zomer of 63%. Bij stikstof is er dan een afnemend effect van 13% en bij fosfor een gering afnemend effect van 5%.

De verschillen tussen de deelgebieden volgen bij 'waterkwaliteit' in grote lijn de patronen die bij 'afwenteling' zichtbaar zijn. Ook hier zijn de toestand van de onderrand (grootte van de wegzijging) en de drooglegging sterk bepalend. Dat komt voor een deel doordat 'afwenteling' via de netto zomervrachten en via de winterconcentraties in de winterberging doorwerkt in de vrachten van 'waterkwaliteit'. De natte deelgebieden 12 t/m 15 zijn ook hier onder de extra natte omstandigheden in decennium 5 erg kwetsbaar voor de fosfor- en stikstofbelasting. Dit is voor een groot deel vooral het gevolg van de bemesting, zij het met een factor twee kleinere giften, van deze erg natte gronden. Bemesting en natte veenweidegronden zijn een slechte combinatie uit oogpunt van nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater (Hendriks, 2003 en Hendriks *et al.*, 2008)

### **Conclusies**

Onderwaterdrains hebben op de korte termijn en gebiedsgemiddeld een zeer gering effect op de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater van Peilvak 9, zowel voor nutriëntenthema 'afwenteling' als voor thema 'waterkwaliteit'. Voor 'afwenteling' vertoont alleen fosfor een relevant effect; voor 'waterkwaliteit' is dat sulfaat. Voor beide nutriënten gaat het dan om een lichte verlaging van de vrachten. Voor de individuele deelgebieden 1-9 die de drains bevatten zijn de effecten niet (altijd) heel gering: er zijn deelgebieden met toename en deelgebieden met afname van de belasting. Verschillen in wegzijging en drooglegging spelen hierbij een belangrijke rol.

Op de langere termijn (na 40 jaar onderwaterdrains) zijn de effecten van onderwaterdrains gebiedsgemiddeld uitsluitend positief met voor thema 'afwenteling' voor de drie nutriënten een afname van de belasting van 13% voor fosfor en stikstof en 15% voor sulfaat, en voor thema 'waterkwaliteit' afnamen van 5% voor fosfor, 13% voor stikstof en 63% voor sulfaat.

Er zijn dan in de toekomstoptie met drains grote verschillen ontstaan tussen de deelgebieden mét en die zónder drains: de deelgebieden met drains kennen alle een afname van de vrachten van de drie nutriënten, terwijl de gebieden zonder drains een afname kennen van de sulfaatvrachten, maar vooral bij thema 'waterkwaliteit' een (sterke) toename van de stikstofvrachten en van vooral de fosforvrachten. Juist ook bij onderwaterdrains is de combinatie van natte veenweiden en bemesting een slechte voor de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater.

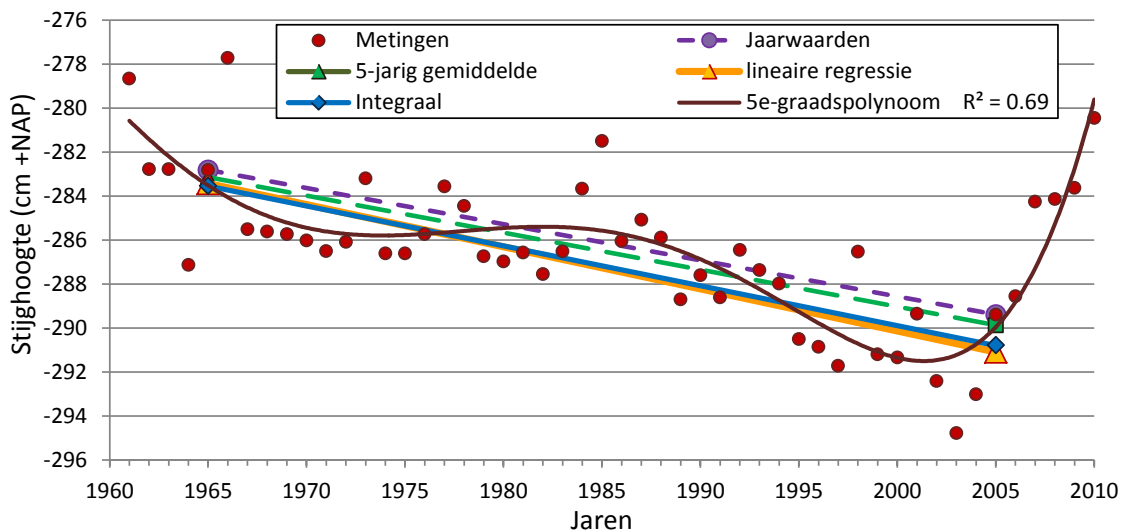
Verschillen tussen plots hebben te maken met vooral verschil in drooglegging, wegzijging en bemesting: plots 12 t/m 15 krijgen maar de helft van de bemesting van de andere plots omdat ze relatief erg nat zijn. Verder speelt natuurlijk dat plot 10 t/m 15 in de toekomstoptie met onderwaterdrains zelf geen drains hebben. Daarom zijn de verschillen tussen mét en zónder drains daar zeer klein.



# Bijlage 5 Onzekerheid in stijghoogten

## B5.1 Ingevoerde stijghoogten in het model

Om de in SWAP ingevoerde stijghoogten te beoordelen, is het van belang het stijghoogteverloop over de periode 1965-2005 te beschouwen. Het begin- en het eindjaar van deze reeks zijn het middelste jaar van respectievelijk het eerste en het laatste (vijfde) decennium. Voor de gemiddelde kwel/wegzijing in de decennia is de tijdsgemiddelde stijghoogte representatief. In een tijdreeks van de stijghoogten wordt dit gemiddelde benaderd door de waarde in het middelste jaar. Figuur B5.1 geeft het verloop in de tijd van de areaalgewogen jaargemiddelden van de stijghoogten in Peilvak 9 die zijn gebruikt in SWAP.



**Figuur B5.1** Verloop in de tijd van de areaalgewogen jaargemiddelden van de stijghoogten die zijn gebruikt in SWAP en een trendlijn hiervoor als 5<sup>e</sup>-graads-polynoom. Verder vier benaderingen voor de dalende trend in de stijghoogten tussen 1965 en 2005.

Het eerste dat opvalt in de figuur is de spreiding in de gemiddelde stijghoogten en de sterke stijging vanaf 2004/2005. Deze laatste wordt geaccentueerd door de regressielijn die met een determinatiecoëfficiënt  $R^2$  van 0,69 een redelijk goede benadering van de trend in de stijghoogten geeft. Wat hier vooral van belang is, is de duidelijke, dalende trend in de gemiddelde stijghoogten tussen 1965 en 2005. Deze trend is benaderd met vier 'modellen' die zijn weergegeven door de vier rechte lijnen. De uitkomsten hiervan zijn opgenomen in Tabel B5.1.

Het eerste 'trendmodel' is het verschil tussen de jaargemiddelde stijghoogten van 1995 en 2005 over veertig jaar. Dat model is alleen valide als deze jaarwaarden niet sterk van de algehele trend (de trendlijn) afwijken. Te zien is in Figuur B5.1 dat de afwijking gering is en voor beide jaren ongeveer even groot (0,5 cm) en in dezelfde richting. Om aan de tekortkoming van een eventuele afwijking in een puntwaarde tegemoet te komen is het tweede model gebruikt, dat gelijk is aan het eerste maar waarbij de jaarwaarde is geschat als het gemiddelde van de vijf jaren rond het toetsjaar: voor 1965 het gemiddelde van 1963 t/m 1967 en voor 2005 het gemiddelde van 2003 t/m 2007. De resultaten hiervan liggen beide op de trendlijn. Het derde is een lineair regressiemodel tussen 1964 en 2005 ( $R^2 = 0,53$ ), waarin uitschieter naar beneden 1964 is meegenomen als tegenwicht tegen uitschieter naar boven 1966. In het laatste model is de 5<sup>e</sup>-graads-polynomiale regressiefunctie geïntegreerd tussen 1965 en 2005. Uit de integraal is de gemiddelde helling afgeleid (som van de oppervlakten van de drie afsnijdingen van de bruinrode regressielijn door de blauwe rechte lijn is gelijk aan nul).

Tabel B5.1

Daling (cm) van de gemiddelde stijghoogten tussen 1965 en 2005 volgens vier trendmodellen.

Jaar \ Model	Jaarwaarde	5-jarig gemiddelde	Lineaire regressie	Integraal	Gemiddeld
1965	-282,8	-283,1	-283,4	-283,5	-
2005	-289,4	-289,8	-291,1	-290,8	-
Vershil	-6,6	-6,7	-7,7	-7,3	-7,1

De uitkomsten van de vier modellen verschillen weinig. Omdat er geen aanwijzingen zijn om een van de vier de voorkeur te geven, zijn ze gemiddeld. Het gemiddelde geeft de afname van de areaal-gewogen jaargemiddelde stijghoogte in de periode 1965-2005. Uitkomst is dat over de relevante periode van de modelberekeningen - 1965 tot 2006 - de stijghoogte in het model daalt met in totaal ruim 7 cm.

## B5.2 Effect van maaiveldddaling op de stijghoogte

Maaiveldddaling leidt tot peilverlaging waarop grondwaterstanddaling volgt waardoor wegzijging afneemt en daarmee de voeding van het 1<sup>e</sup>-watervoerende-pakket vanuit het peilvak. Hierdoor zal de stijghoogte eveneens dalen. De vraag is wat de orde van grootte is van deze daling van de stijghoogte en hoe deze zich verhoudt tot de daling van de stijghoogten die in het model zijn ingevoerd.

### Grondwaterstanddaling als functie van peilverlaging vanwege maaiveldddaling

Als eerste moet daarvoor de grondwaterstanddaling als functie van de maaiveldddaling bekend zijn. Omdat maaiveldddaling min of meer gelijk is aan peilaanpassing ter wille van behoud van de drooglegging gaat het praktisch dus om de grondwaterstanddaling als functie van peilverlaging. Dat die functie niet 'een op een' is, toonde Wind (1986) aan. Hij vond op basis van grondwaterstandmetingen van Schothorst in verschillende westelijke veenweiden dat een peilverandering voor 60% doorwerkt in de grondwaterstand. De grootte van dit percentage is sterk afhankelijk van de precieze omstandigheden. Bovendien is de grondwaterstand ook afhankelijk van de maaiveldddaling zelf en niet alleen van de peilverlaging die daaruit voortvloeit. En verder zal dit percentage veel groter zijn voor de situaties met onderwaterdrains.

De gemiddelde grondwaterstanddaling in het model in de periode 1965-2005 kan eenvoudig worden berekend uit de gemiddelde afname van de wegzijging in het peilvak (Figuur 4.1 van hoofdstuk 4) als:

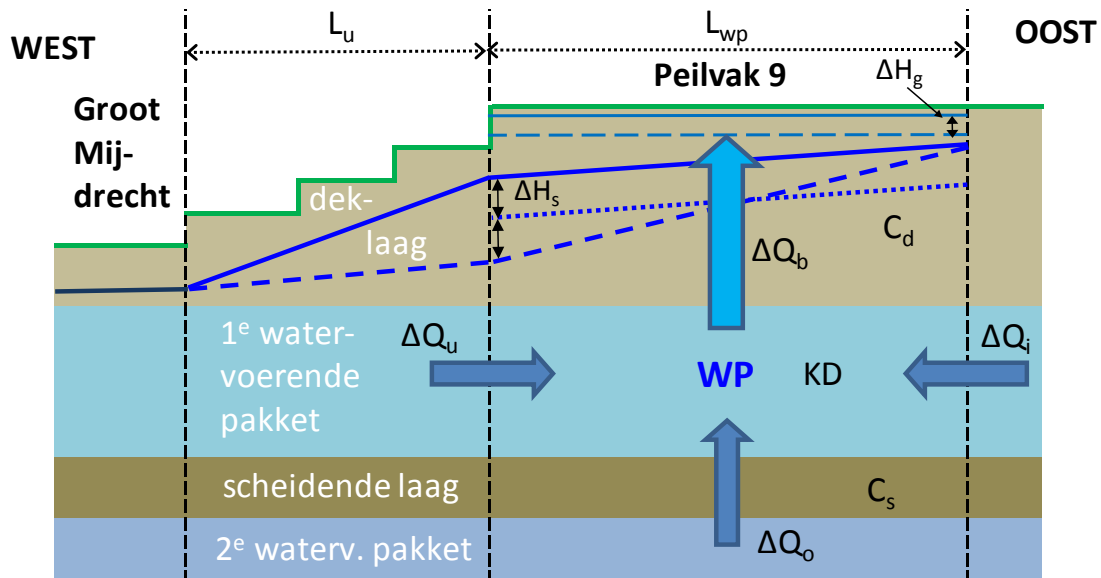
$$\text{grondwaterstanddaling (cm)} = \text{daling stijghoogte (cm)} + \text{afname wegzijging (mm/d)} * \text{deklaagweerstand (d)} / 10 \text{ (mm/cm)}$$

De afname van de wegzijging is 0,368 mm/d (135 mm/jaar) zonder drains en 0,191 mm/d (70 mm/jaar) met drains. De deklaagweerstand is 750 d. De grondwaterstanddaling is dan  $7,1 + 27,6 = 34,7$  cm en  $7,1 + 14,2 = 21,3$  cm, of 76% en 99% van de peilverlaging. Zonder drains, als de grootste peilaanpassing door maaiveldddaling plaatsvindt, gaat de grondwaterstand dus maar voor driekwart mee in de peilaanpassing. Met drains zijn peilverlaging en grondwaterstanddaling aan elkaar gelijk.

### Stijghoogtedaling als functie van grondwaterstanddaling

In het grondwatersysteem dat de stijghoogte ter plekke van Peilvak 9 bepaalt, is een groot aantal negatieve terugkoppelingen of tegenkoppelingen die het effect op de stijghoogte van een verminderde wegzijging door een verlaagde grondwaterstand bufferen. Om dit aan te tonen en de orde van grootte hiervan aan te geven is het volgende eenvoudige balansmodel van het stuk 1<sup>e</sup>-watervoerende-pakket onder peilvak 9 opgesteld (Figuur B5. 2).

Het is een sterk geschematiseerde oost-west-doorsnede door het peilvak en naar Groot-Mijdrecht. De doorsnede is niet op schaal weergegeven. Het balansmodel veronderstelt, op grond van het isohypsenpatroon van Figuur B1.2, voornamelijk oost-west-stroming door het 1<sup>e</sup>-watervoerende-pakket. Het geldt uitsluitend voor de opgetreden veranderingen in de vier randfluxen in een stationaire situatie: rechts, de instroming vanuit het oosten; links, de uitstroming naar het westen naar Groot-Mijdrecht;



**Figuur B5.2** Eenvoudig balansmodel van het stuk 1<sup>e</sup>-watervoerende-pakket onder Peilvak 9 (WP) en richting Groot-Mijdrecht als oost-west-doorsnede door het peilvak. Het geeft de veranderingen in de fluxen  $\Delta Q$  als gevolg van een stijghoogteverandering  $\Delta H_s$  die is veroorzaakt door een grondwaterstandverandering  $\Delta H_g$  als gevolg van een peilverlaging door maaiveldddaling in Peilvak 9. De blauwe pijlen zijn geen stromingsrichtingen maar geven de richting aan waarin de fluxverandering werkt: in of uit het beschouwde stuk 1<sup>e</sup>-watervoerende-pakket. De getrokken blauwe lijnen zijn de beginsituatie van de waterpeilen en de onderbroken lijnen de nieuwe situatie na grondwaterstanddaling. De gestippelde blauwe lijn geeft de gemiddelde stijghoogtedaling. Het schema is niet op schaal weergegeven!

onder, de wateruitwisseling door de 1<sup>e</sup> scheidende laag met het 2<sup>e</sup>-water-voerende-pakket; en boven, de wateruitwisseling met Peilvak 9. De blauwe pijlen zijn dan ook geen stromingsrichtingen maar geven de richting aan waarin de fluxverandering werkt: in of uit het beschouwde stuk 1<sup>e</sup>-water-voerende-pakket (in het vervolg WP genoemd). In deze doorsnede is de stromingsrichting oost-west.

Verondersteld is dat het enige dat actief verandert en daarmee de stijghoogtedaling  $\Delta H_s$  (m) bewerkstelligt, de grondwaterstand is ter grootte van  $\Delta H_g$  (m) gemiddeld over het gebied. De echte motor hierachter is de peilverlaging: door meer water uit te pompen wordt het peil verlaagd waardoor de grondwaterstand daalt. De grondwaterstandverlaging leidt tot verminderde wateraanvoer  $\Delta Q_b$  ( $\text{m}^3/\text{m}/\text{d}$ ) over de bovenrand van WP volgens:

$$\Delta Q_b = \frac{\Delta H_g - \Delta H_s}{C_d} L_{wp} \quad (\text{B5.1})$$

$C_d$  (d) is de weerstand tegen verticale stroming van de deklaag en  $L_{wp}$  (m) is de doorstroomde lengte onder het peilvak, hier dus de gemiddelde breedte van het peilvak.  $\Delta H_g$  en  $\Delta H_s$  zijn beide negatief want ze verbeelden een daling. Alle fluxen  $Q$  zijn in  $\text{m}^3/\text{d}$  per strekkende meter loodrecht op de stromingsrichting.

De pijl van de bovenrand in het schema wijst uit WP omdat deze vermindering van de aanvoer door wegzijging voor de waterbalans een uitgaande term is. Uit vergelijking (B5.1) volgt dat de verminderde wegzijging leidt tot een gemiddelde daling van de stijghoogte  $\Delta H_s$  (m) in het peilvak volgens:

$$\Delta H_s = \Delta H_g - \Delta Q_b \frac{C_d}{L_{wp}} \quad (\text{B5.2})$$

Deze stijghoogtedaling heeft zijn weerslag op de drie andere randen.

De **oostelijke rand**: door de stijghoogtedaling  $\Delta H_s$  wordt de hydraulische gradiënt vergroot (gestippelde felblauwe lijn binnen WP is steiler dan getrokken lijn) waardoor de instroming  $\Delta Q_i$  ( $m^3/m/d$ ) toeneemt (inkomende pijl voor WP) volgens Darcy als:

$$\Delta Q_i = -KD \frac{2\Delta H_s}{L_{wp}} \quad (B5.3)$$

$KD$  ( $m^2/d$ ) is het doorlaatvermogen (transmissiviteit) van WP.

De **westelijke rand**: door de stijghoogtedaling  $\Delta H_s$  wordt de hydraulische gradiënt verkleind (gestippelde felblauwe lijn links van WP is minder steil dan getrokken lijn) waardoor de uitstroming  $\Delta Q_u$  ( $m^3/m/d$ ) afneemt (inkomende pijl) volgens Darcy als:

$$\Delta Q_u = -KD \frac{2\Delta H_s}{L_u} \quad (B5.4)$$

$L_u$  (m) is de afstand van peilvak 9 naar Groot-Mijdrecht.

De **onderrand**: door de stijghoogtedaling  $\Delta H_s$  wordt de uitwisseling met het 2<sup>e</sup>-watervoerende-pakket  $\Delta Q_o$  ( $m^3/m/d$ ) zó veranderd dat instroming stijgt of uitstroming daalt (inkomende pijl) volgens:

$$\Delta Q_o = -\frac{\Delta H_s}{C_s} L_{wp} \quad (B5.5)$$

$C_s$  (d) is de weerstand tegen verticale stroming van de 1<sup>e</sup> scheidende laag.

De waterbalans is sluitend dus volgt (alle termen positief behalve  $\Delta Q_b$ ):

$$\Delta Q_b + \Delta Q_i + \Delta Q_u + \Delta Q_o = 0 \quad (B5.6)$$

De drie positieve  $\Delta Q$ 's van de twee zijranden en de onderrand dempen het effect van de negatieve  $\Delta Q$  aan de bovenrand op de stijghoogte. In de stationaire situatie is er een nieuw evenwicht. Substitueren van vergelijkingen (B5.3) t/m (B5.6) in vergelijking (B5.2) geeft een vergelijking waarin de grootte van  $\Delta H_s$  in de evenwichtssituatie afhankelijk is van één variabele namelijk de verandering van de grondwaterstand  $\Delta H_g$ . Procesmatig is dat juist omdat  $\Delta H_g$  wordt veroorzaakt door een peildaling, waarvoor extra water uit Peilvak 9 moet worden gepompt, waardoor de wegzijging afneemt en de stijghoogte daalt.

$$\Delta H_s = \frac{L_{wp}^2}{\left( L_{wp}^2 \cdot \left( 1 + \frac{C_d}{C_s} \right) + 2KD \cdot C_d \cdot \left( 1 + \frac{L_{wp}}{L_u} \right) \right)} \cdot \Delta H_g \quad (B5.7)$$

De volgende waarden voor de constanten van vergelijking (B5.7) zijn aangenomen:

$L_{wp}$  = 1000 m; afgeleid van de kaart van peilvak 9;

$L_u$  = 1500 m; geschat van topografische kaart;

$C_d$  = 750 d; uit deze modelstudie;

$C_s$  = 168 d; uit gegevens 'aangepast grondwatermodel Groot-Mijdrecht' (Zaadnoordijk *et al.*, 2008);

$KD$  = 600  $m^2/d$ ; idem (Zaadnoordijk *et al.*, 2008).

Invullen in vergelijking (B5.7) geeft:

$$\Delta H_s = 0,1436 \cdot \Delta H_g \quad (B5.8)$$

Dat betekent dat de verandering van de stijghoogte, gemiddeld voor het peilvak, ongeveer eenzevende van de gemiddelde grondwaterstandverandering bedraagt. En voor de optie met drains ook eenzevende van de peildaling in het peilvak. Voor de optie zonder drains is dat 76% van eenzevende is 11% van de peildaling. Exact volgens vergelijking (B5.8) is de stijghoogtedaling:

- Zonder onderwaterdrains: stijghoogtedaling =  $0,1436 * 34,7 \text{ cm} = 4,98 \text{ cm}$
- Met onderwaterdrains: stijghoogtedaling =  $0,1436 * 21,1 \text{ cm} = 3,06 \text{ cm}$ .

Dit is duidelijk kleiner dan de nu al in de modelberekeningen opgenomen 7,1 cm aan daling van de stijghoogte. Het simpele model van Figuur B5.2 geldt dan ook alleen voor de lokale situatie. In werkelijkheid zijn er nog meer invloeden. De belangrijkste factoren zijn het intrekgebied van de (zuid)oostelijke aanvoer en de (noord)westelijke onttrekking in vooral Groot-Mijdrecht. De stijghoogtegradiënt in oost-west-richting over de breedte van het peilvak ( $L_{wp}$ ) bedraagt nu 1 : 1000 (1 m over 1 km; zie Figuur B1.2). Dat is een grote gradiënt die aangeeft dat er ten westen van het peilvak grote wateronttrekking plaatsvindt. Daar is de 6-10 cm extra gradiënt die uit vergelijking (B5.8) komt voor de optie zonder onderwaterdrains relatief klein bij.

### Invloed van omringende dalende veenweiden op stijghoogtedaling

Om af te tasten wat het voor de stijghoogte onder het peilvak betekent als het peilvak is ingebed in een groter veenweidegebied dat met dezelfde maaiveld daling en peilaanpassing te maken heeft, zijn extra scenario berekeningen met het balansmodel uitgevoerd:

- Scenario 1: het gebied tussen het peilvak en Groot-Mijdrecht wordt zo sterk bemalen dat de oude gradiënt wordt hersteld en dat dus  $\Delta Q_u \rightarrow 0$ . In het model is dit praktisch te verwezenlijken door  $L_u$  heel groot te maken; gekozen is:  $L_u = 10^6$ . Dat  $\Delta Q_u$  nagenoeg 0 is, is niet erg waarschijnlijk, dus dit scenario is een *worst case*.
- Scenario 2: stel dat stroomopwaarts voor de stromingsrichting van het grondwater, dus ten (zuid)oosten van Peilvak 9, veenweiden liggen die dezelfde peilverlagingen ondergaan. Realiteit: in de zuidoostelijk punt van het peilvak ligt ten oosten een bijna 5 km lange strook veenweiden loodrecht op de isohypsen (zie Figuur 1.1, hoofdstuk). Noordelijk daarvan, langs nagenoeg de hele oostgrens van het peilvak is deze strook loodrecht op de isohypsen nog geen kilometer lang. Stel dat er 5 km veenweiden ten oosten van het hele peilvak ligt. Dan wordt  $L_{wp} = 1000 + 5000 = 6000$  m. Dit is ten opzichte van de werkelijke situatie door het veel groter nemen van de extra lengte een *worst case*.
- Scenario 3: combinatie van scenario's 1 en 2. Dit is een absolute *worst case*.

Invullen in vergelijking (B5.7) en daarna (B5.8) met dezelfde grondwaterstandverlagingen geeft de resultaten van Tabel B5.2. Hierin is ook 'scenario 0' opgenomen, de bovenstaande berekeningen voor de actuele situatie.

Tabel B5.2

*Daling (cm) van de gemiddelde stijghoogten tussen 1965 en 2005 voor het uitgangsscenario 0 en volgens drie scenario's waarin Peilvak 9 ligt ingebed in veenweiden die eveneens dalen, voor de twee toekomstopties.*

Toekomstoptie	Scenario 0	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Geen onderwaterdrains	4,98	5,42	6,17	6,29
Wel onderwaterdrains	3,06	3,33	3,78	3,84

Ook in deze *worst case* scenario's blijft de stijghoogtedaling onder de nu al ingebrachte 7,1 cm in 40 jaar. Conclusie hieruit is dan ook dat stijghoogtedalingen in de orde van 7 cm zoals in de simulaties zijn ingebracht, als ze werkelijkheid zouden zijn - ze zijn immers ontstaan door correcties van de werkelijke metingen (Figuur B1.3) - zouden moeten zijn veroorzaakt door krachten buiten het veenweidegebied waarvan Peilvak 9 onderdeel uitmaakt. Een voor de hand liggende factor daarbij is het intrekgebied in het (zuid)oosten.

---

### **Verwachtingen voor toekomstige stijghoogten**

De vraag is wat er in de toekomst met de factoren die de stijghoogte onder het peilvak bepalen gaat gebeuren. Daarbij is vooral van belang wat er in het intrekgebied van het water in het 1<sup>e</sup>-waternoerendepakket gebeurt, en dan vooral onder invloed van de klimaatverandering. Gaat de neerslag in de toekomst in de winter toenemen zoals wordt voorspeld in de klimaatscenario's van het KNMI? En gaat het dan om 4% stijging (G-scenario) of 14% stijging (W+-scenario)?

Op basis van deze klimaatvoorspellingen behoort een scenario waarbij de stijghoogte juist stijgt theoretisch zeker tot de mogelijkheden. De metingen van de stijghoogten in de periode 1961-2010 (Figuur B1.1) laten vanaf 1961 tot 1985 een sterke daling van de stijghoogten zien, vervolgens tot ongeveer 2005 een geleidelijke daling en vanaf 2005 tot 2013 een geleidelijke stijging met ongeveer 10 cm (buis E0008) of zelfs met 40 cm (buis E0301). Het is niet duidelijk of de laatste sterke stijging niet eventueel berust op meetfouten. Ook is het niet duidelijk of buis E0008, die een stabiele indruk maakt gedurende ruim 50 jaar, een structurele stijging laat zien of dat het gaat om een tijdelijk effect. En wat zou daar dan de oorzaak van zijn?

### **Conclusies**

De ontwikkeling van de stijghoogten onder Peilvak 9 in de toekomst is onzeker, zowel een structurele daling als stijging behoren theoretisch tot de mogelijkheden.

In de modelstudie is een lichte daling van 7 cm in veertig jaar tijd meegenomen. Dit is meer dan kan worden verwacht als zijnde het gevolg van dieper uitmalen van het peilvak door maaiveld daling, of zelfs van de veenweide-omgeving van het peilvak. Dit geldt zeker voor de toekomstoptie met onderwaterdrains.

De uitgevoerde modelberekeningen kunnen daarom worden gezien als een voortzetting van de situatie van de laatste dertig jaar waarin een lichte daling van de stijghoogte in de toekomst is voorzien die tot stand komt door lokale en regionale hydrologische en klimatologische/meteorologische processen.



---

Alterra Wageningen UR  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra)

Alterra-rapport 2480  
ISSN 1566-7197



---

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

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

---





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



Alterra Wageningen UR  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
T 317 48 07 00  
[www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra)

Alterra-rapport 2480  
ISSN 1566-7197

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

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

