



ALTERRA
WAGENINGEN UR



Behoud van veenbodems door ander peilbeheer

Maatregelen voor een robuuste inrichting van het westelijk veenweidegebied

Alterra-rapport 2009
ISSN 1566-7197

P.C. Jansen, R.F.A. Hendriks en C. Kwakernaak



ALTERRA
WAGENINGEN UR

leven met water



Waarheen met het veen

Behoud van veenbodems door ander peilbeheer

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het Bsik programma 'Leven met Water'.

Het onderzoek is mede gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, het ministerie van VROM, het ministerie van Verkeer en Waterstaat, de provincies Zuid- en Noord-Holland en Utrecht, en de Hoogheemraadschappen De Stichtse Rijnlanden, Rijnland, Schieland en de Krimpenerwaard en Waternet/AGV.

Behoud van veenbodems door ander peilbeheer

Maatregelen voor een robuuste inrichting van het westelijk veenweidegebied

**P.C. Jansen
R.F.A. Hendriks
C. Kwakernaak**

Alterra-rapport 2009

Alterra, Wageningen, 2009

REFERAAT

Jansen, P.C., R.F.A. Hendriks en C. Kwakernaak, 2009. *Behoud van veenbodems door ander peilbeheer; Maatregelen voor een robuuste inrichting van het westelijk veenweidegebied*. Wageningen, Alterra, rapport 2009. 103 blz.; 41 fig.; 20 tab.; 33 ref.

In het kader van het programma 'Leven met Water' is het project 'Waarheen met het Veen' uitgevoerd dat de gevolgen van waterbeheer in relatie tot ruimtegebruik en natuur in het westelijk veenweidegebied heeft onderzocht. Dit rapport vormt de afsluiting van een deelproject waarin de gevolgen van verschillende peilstrategieën voor onder andere maaiveldddaling, waterinlaat, emissies en waterkwaliteit zijn onderzocht. Hiervoor is gebruik gemaakt van modeluitkomsten uit twee eerdere studies die in representatieve deelgebieden zijn uitgevoerd.

Bij de peilstrategieën zijn verschillen in drooglegging, peilvakgrootte, onderwaterdrains en peilregimes in beschouwing genomen. Ook is een verkenning gedaan naar de gevolgen van klimaatverandering.

Trefwoorden: veen, veenweide, maaiveldddaling, onderwaterdrains, peilstrategieën, waterinlaat, Laag Holland, West-Nederland, Groene Hart

ISSN 1566-7197

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

© 2009 Alterra
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Tel.: (0317) 480700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

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

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

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	15
1.1 Achtergrond	15
1.2 Eerder onderzoek	15
1.3 Opzet van de extrapolatie	16
1.4 Leeswijzer	18
2 Veen in West-Nederland	19
2.1 Ontstaan en ontginning	19
2.2 Verspreiding en dikte van het veen	22
2.3 Het maaiveld	28
2.3.1 Actuele maaiveldhoogte	28
2.3.2 Maaivelddaling	30
2.4 Landgebruik	34
2.5 Waterhuishouding	37
3 Oorzaken van maaivelddaling en effecten van ingrepen	39
3.1 Inleiding	39
3.2 Drooglegging	40
3.2.1 Veenprofiel	42
3.2.2 Veensoort	43
3.2.3 Kwel en wegzijging	45
3.2.4 Toegepaste relaties drooglegging - maaivelddaling	46
3.2.5 Onderwaterdrains en waterkwantiteit	46
3.2.6 Onderwaterdrains en gevolgen voor waterkwaliteit en broeikasgassen	49
3.2.7 Peilbeheer	56
4 Peilstrategieën	61
4.1 Werkwijze	61
4.1.1 Overzicht peilstrategieën	62
4.1.2 Klimaatscenario's	64
4.2 Gevolgen van peilstrategieën voor maaivelddaling	66
4.3 Gevolgen van peilstrategieën voor waterinlaat en waterafvoer	70
4.4 Gevolgen van peilstrategieën voor broeikasgassen en uitspoeling van nutriënten	73
4.5 Gevolgen van peilstrategieën voor landgebruik	74
4.6 Peilstrategieën en klimaatverandering	76
Literatuur	83
Bijlage 1 Vergelijking oude en recente hoogtemetingen	87
Bijlage 2 Vergelijking maaivelddalings met pilot Zegveld	89

Bijlage 3	Relaties tussen drooglegging en waterafvoer en wateraanvoer voor regulier en flexibel peilbeheer	93
Bijlage 4	Maaiveldddaling in afzonderlijke peileenheden bij verschillende peilstrategieën	95
Bijlage 5	Oppervlakte van peileenheden en hoogteverschillen in relatie tot de toepasbaarheid van onderwaterdrains	97
Bijlage 6	Afname van de hoeveelheid veen bij verschillende klimaatscenario's en peilstrategieën	99
Bijlage 7	Hoeveelheid kooldioxide die vrijkomt in het westelijk veenweidegebied bij verschillende klimaatscenario's en peilstrategieën	101
Bijlage 8	Geïndexeerde hoeveelheden veen en kooldioxide in 2050 en 2100 bij verschillende peilstrategieën	103

Samenvatting

Algemeen

Het westelijk veenweidegebied behoort tot de meest karakteristieke Nederlandse landschappen. In internationaal opzicht is het zelfs een uniek cultuurlandschap. Daarom zijn het Groene Hart en Noord-Hollands Midden (ook wel aangeduid als Laag Holland) in de Nota Ruimte (VROM, 2004) aangewezen als Nationale Landschappen. Dankzij de landbouw is dit landschap zo gevormd, en de tragedie is dat dankzij de landbouw dit landschap ook weer zal verdwijnen. Door landbouwkundige ontwatering treedt inklinking en oxidatie van veen op, waardoor de veenbodem als drager van het cultuurlandschap in de komende eeuwen zal verdwijnen. Dit proces wordt nog versneld door effecten van klimaatverandering. In de Nota Ruimte is aangegeven dat het cultuurlandschap behouden moet worden en dat ook de bodemdaling moet worden geremd. In het project 'Waarheen met het Veen?' is onderzocht hoe snel de bodem daalt bij het huidig peilbeheer, en hoe effectief andere strategieën voor waterpeilbeheer kunnen zijn om de bodemdaling te reduceren. Daarbij gaat het om combinaties van geringere drooglegging met vergroting van peilvakken, al of niet in combinatie met onderwaterdrains. Van deze peilstrategieën is ook nagegaan welke gevolgen deze kunnen hebben voor de uitstoot van broeikasgassen, de waterkwaliteit, de natuur en de landbouw en daarmee het agrarisch cultuurlandschap. Dit rapport doet verslag van de uitkomsten van deze analyses.

Maaiveldddaling

De maaiveldddaling is vooral tussen 1975 en 1985 toegenomen van een enkele millimeter tot wel meer dan een centimeter per jaar omdat in die periode de drooglegging fors is toegenomen. Naast de drooglegging is de maaiveldddaling ook afhankelijk van de bodemopbouw, het soort veen en de hydrologische situatie. Bij de bodemopbouw beperken minerale lagen die boven grondwatervlakte liggen de maaiveldddaling. Van de veensoorten daalt oligotroof veen, dat gevormd is onder invloed van voedselarm regenwater, ca. 1 mm/jaar sneller dan meso- en eutroof veen bij een voor landbouw gunstige drooglegging. Mesotroof veen is onder matig voedselrijke omstandigheden en eutroof veen onder zeer voedselrijke omstandigheden gegroeid. In het westelijk veenweidegebied verdwijnt veel oligotroof veen overigens als eerste omdat het op veel plaatsen bovenop voedselrijker veen tot ontwikkeling is gekomen.

Bij gelijke drooglegging is de maaiveldddaling in kwelgebieden aanzienlijk minder dan in wegzijgingsgebieden. Dat komt omdat de grondwaterstand in kwelgebieden minder diep wegzakt. Een verschil tussen kwel en wegzijging van 1 mm/dag levert voor veengronden zonder mineraal dek een verschil op in maaiveldddaling van ongeveer 2 mm/jaar. Naar verwachting neemt de kwel in de toekomst toe cq. de wegzijging af als de polderpeilen het dalende maaiveld volgen en de peilen in aangrenzende diepe droogmakerijen, die de drijvende kracht achter de wegzijging zijn, niet veranderen.

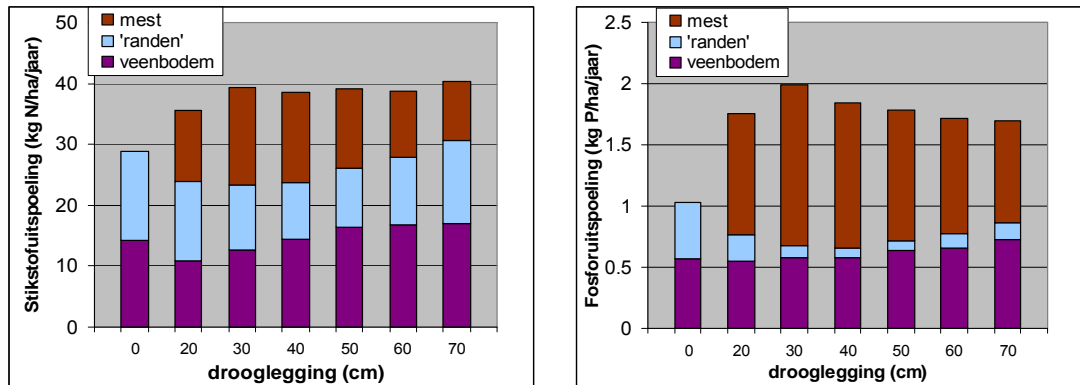
Als het streven erop gericht is om de maaiveldddaling te beperken zal de grondwaterstand in de zomer hoger moeten worden. Dat kan door het polderpeil te verhogen waardoor de drooglegging afneemt. Een bijzondere maatregel die voorkomt dat de grondwaterstand in de zomer (diep) uitzakt is het aanleggen van onderwaterdrains. Onderwaterdrains zijn in feite gewone drains, maar ze liggen permanent 10 - 15 cm onder het slootpeil waardoor ze een kortsluiting vormen tussen sloten en het grondwater midden in de percelen. De voorwaarden waaronder onderwaterdrains effectief zijn en de waterkwaliteit het minst beïnvloeden betreffen de drooglegging, die tussen de 35 en 60 cm moet liggen, en de afwezigheid van kwel. Het slootpeil mag niet beneden het drainniveau zakken omdat anders zuurstof diep de percelen indringt waardoor de veenafbraak juist wordt bevorderd. Omdat onderwaterdrains voor een stabielere grondwatersituatie zorgen (in natte perioden werken de drains drainerend) kan het slootpeil vaak met een decimeter worden verhoogd zonder dat dat ten koste gaat van de bedrijfsvoering. Met een stabielere, hogere grondwaterstand in de zomer kan de maaiveldddaling wel met de helft afnemen.

Kwaliteitsaspecten

Minder veenafbraak door een geringere drooglegging en/of onderwaterdrains leidt er toe dat ook de emissie van het broeikasgas kooldioxide (CO₂) min of meer evenredig vermindert. Ook de emissie van lachgas (N₂O) neemt af bij hogere grondwaterstanden. Het broeikasgas methaan (CH₄) komt ook onder erg natte situaties niet in grote hoeveelheden voor omdat het opstijgende gas al met een kleine drooglegging in de bovengrond kan oxideren.

De grootte van de drooglegging en de aanwezigheid van onderwaterdrains zijn van invloed op de belasting van het grond- en oppervlaktewater met nutriënten. Hierbij zijn drie soorten bronnen te onderscheiden; 'veenbodem', 'bemesting' en 'randen'. Onder veenbodem vallen mineralisatie en uitloging van de veenbodem en onder randen de nutriënten die via atmosferische depositie, kwel of infiltratie van slootwater worden aangevoerd.

Een grote drooglegging heeft een grotere bijdrage van de bron 'veenbodem' tot gevolg. Bij stikstof (N) komt dat voor het grootste deel door extra mineralisatie in het drogere profiel; bij fosfor (P) vooral door meer uitloging als gevolg van het doorstromen van diepere stroombanen in het verzadigde veen naar de sloot. Een geringere drooglegging versterkt de uit- en afspoeling van meststoffen: bemesting en natte veenweiden verhouden zich slecht als het gaat om belasting van het oppervlaktewater. Bij een erg geringe drooglegging wordt in de praktijk niet meer bemest.



Figuur 0 Bijdrage van verschillende bronnen aan de uitspoeling van N en P, berekend voor Zegveld

De bron 'randen' is bij het doorgerekende perceel van Zegveld het kleinst bij een drooglegging van 40 cm. Bij kleinere droogleggingen neemt de infiltratie van slootwater toe omdat de wegzijging groter wordt. Met het extra slootwater dat daarbij nodig is komt extra N en P mee de veenbodem in, en vaak ook extra sulfaat. Dat spoelt in natte tijden weer voor een deel uit. Als er kwel optreedt wordt er N en P vanuit het diepere grondwater aangevoerd. In een situatie met overwegend wegzijging kan tijdelijk kwel optreden als de grondwaterstand 's zomers diep uitzakt. Het effect van N is uitgesprokener dan voor P omdat bij dit perceel de concentraties van P in sloot- en kwelwater geringer zijn.

Door verandering van de drooglegging treden er dus verschuivingen op in belasting van grond- en oppervlaktewater door de diverse bronnen. Omdat bij een andere drooglegging een toename van de belasting van de ene bron gepaard gaat met een afname van een andere bron verandert de totale belasting weinig.

Onderwaterdrains versterken de trends die hierboven onder 'veenbodem', 'bemesting' en 'randen' zijn beschreven. Met het oog op het minimaliseren van de nutriëntenbelasting blijkt er een optimale diepte te zijn waarop onderwaterdrains worden aangelegd. Deze ligt op 50 tot 75 cm beneden maaiveld. Dat komt overeen met een drooglegging van 35 tot 60 cm, uitgaande van een draandiepte van 10 - 15 cm beneden slootpeil. Liggen de drains te ondiep, dan 'tappen' ze 'mestwater af'; liggen ze te diep dan draineren ze de N- en P-rijke veenbodem onder de GLG.

Peilstrategieën

Een belangrijk doel van de studie is om door middel van modelberekeningen van peilstrategieën op regionale schaal inzicht te krijgen in de gevolgen van het vergroten van peileenheden, het verminderen van de drooglegging, het peilbeheer en de inzet van onderwaterdrains. Daarnaast zal de klimaatverandering een steeds belangrijkere stempel gaan spelen op het functioneren van het veenweidesysteem. Bij de gevolgen is onder andere gekeken naar de maaiveld daling, de watervraag, de broeikasgasemissie, de waterkwaliteit en het landgebruik. De belangrijkste conclusies van de verschillende peilstrategieën zijn hieronder samengevat.

Drooglegging

Een logische maatregel om de maaiveldddaling te beperken is het verkleinen van de drooglegging. In het volgende overzicht staan de gemiddelde maaiveldddalingen die bij verschillende droogleggingen voor het hele westelijke veenweidegebied berekend zijn:

Drooglegging	Maaiveldddaling	
	Veen zonder kleidek	Veen met kleidek
50-80 cm	10,2 mm/jr	4,9 mm/jr
30 cm	6,6 mm/jr	2,2 mm/jr
45 cm	9,2 mm/jr	3,6 mm/jr

Een drooglegging van 50 - 80 cm is erg gunstig voor de landbouw. Dan is 95% , van de oppervlakte daar geschikt voor. Ook een drooglegging van 45 cm is nog gunstig. Dan is 84% van de oppervlakte geschikt. Bij een drooglegging van 30 cm zijn grotere delen niet (meer) geschikt voor landbouw, maar wel voor natte natuur of extensieve landbouw (64%), en als het daar te nat voor is voor moeras (2%).

Omvang peileenheden

De laatste decennia is het aantal peileenheden sterk toegenomen. Deze versnippering in kleine peilvakken heeft het peilbeheer duurder en complexer gemaakt. Het weer samenvoegen van huidige peilvakken past bij het streven naar meer robuuste watersystemen. Voor de landbouw zal vergroting van peilvakken betekenen dat er binnen een gebied en mogelijk ook binnen een bedrijf sprake zal zijn van verschillen in drooglegging ('heterogeen droogleggen'). Dit houdt in dat de laagste delen, waar het maaiveld het meest gedaald is, te maken krijgen met een (erg) geringe drooglegging waardoor de maaiveldddaling daar het sterkst zal afnemen. Afhankelijk van de gemiddelde drooglegging en de hoogteverschillen kunnen zelfs delen inunderen waardoor daar helemaal geen maaiveldddaling meer optreedt. Daar staat tegenover dat de maaiveldddaling in de hoogste gelegen delen (tijdelijk) groter kan worden omdat de drooglegging daar toeneemt. Afhankelijk van de opschaling van peileenheden zullen de ruimtelijke verschillen in maaiveldddaling wel toenemen, maar het volgende overzicht laat zien dat de grootte van de peileenheden weinig invloed heeft op de gemiddelde maaiveldddaling op regionschaal.

Gem. opp.	Drooglegging	Maaiveldddaling	
		Veen zonder kleidek	Veen met kleidek
400 ha	30 cm	6,6 mm/jr	2,2 mm/jr
1550 ha	30 cm	6,9 mm/jr	2,4 mm/jr

Verschillen in drooglegging hebben gevolgen voor het landgebruik. De zones met een grote drooglegging zijn bij uitstek geschikt voor landbouw. Bij een gemiddelde drooglegging van 30 cm is bij de grote peileenheden 45% van de oppervlakte

¹³ Na 1973 werd de maaiveldddaling groter omdat op grote schaal de drooglegging werd vergroot.

geschikt voor landbouw. Dit is bijna 10% meer dan bij de kleinere peleenheden. De rest is geschikt voor extensieve landbouw, natte natuur, en op de natste plekken moerasnatuur. Omdat de laagste delen vaak één aaneengesloten gebied vormen waar moerasnatuur het meest geëigend is, kan dat goed worden ingezet voor waterberging.

Onderwaterdrains

Onderwaterdrains zorgen in droge perioden voor een goede toevoer van slootwater in de percelen waardoor de grondwaterstand niet diep wegzakt. In natte perioden werken ze drainerend waardoor het land eerder begaanbaar is. De aanleg van onderwaterdrains kan daardoor vaak gecombineerd worden met een vermindering van de drooglegging zonder dat dat ten koste gaat van de bedrijfsvoering.

De hydrologische randvoorwaarden waarbij onderwaterdrains toegepast kunnen worden betreffen de drooglegging die tussen de 35 en 60 cm moet zijn en het ontbreken van kwel. Met weinig hoogteverschillen binnen een peilvak en een drooglegging van 45 - 50 cm is ca. 70% geschikt voor toepassing van onderwaterdrains. Onderwaterdrains hebben dan ook geen grote nadelige effecten op de waterkwaliteit. Het volgende overzicht laat zien dat het percentage dat geschikt is voor onderwaterdrains bij een drooglegging van 30 cm met de helft afneemt. Bij een kleine drooglegging zijn kleine peilvakken in het nadeel omdat er minder drogere (en nattere) plekken voorkomen dan bij de grote peilvakken met grotere hoogteverschillen.

Gem. opp.	Drooglegging	Geschikt voor onderwaterdrains	
		Veen zonder kleidek	Veen met kleidek
400 ha	45 cm	70%	53%
400 ha	30 cm	30%	36%
1550 ha	30 cm	39%	42%

De maaiveldddaling van de veengronden zonder kleidek neemt met onderwaterdrains en een 10 cm hoger peil gemiddeld met ongeveer 45% af. Afhankelijk van de drooglegging en wegzijging kan maaiveldddaling halveren. Bij veengronden met een kleidek kan de maaiveldddaling tot vrijwel nul reduceren als de grondwaterstand niet meer tot in de veenondergrond wegzakt.

Door onderwaterdrains neemt de vraag naar inlaatwater toe omdat de wegzijging en de verdamping toenemen. Ook moet eerder water worden ingelaten terwijl daarvoor in een natte periode water is afgevoerd. Dat komt omdat er door de hogere grondwaterstand minder buffer is om water op te vangen. Gemiddeld neemt de vraag naar inlaatwater bij toepassing van onderwaterdrains in een gemiddelde zomer toe met ongeveer 15%. Dit kan echter, afhankelijk van onder andere de wegzijging, sterk variëren. In vergelijking met de totale watervraag van het westelijk veenweidegebied in een droge zomer is de extra hoeveelheid die nodig is vanwege gebruik van onderwaterdrains marginaal.

Onderwaterdrains zorgen voor een betere drainage waardoor de grondwater sneller daalt en de afvoer tijdelijk toeneemt (en daarna afneemt). Over een hele winter is het verschil met de afvoer in niet-gedraineerde gebieden klein.

Peilregime

Naast kwel of wegzijging en de grootte van het zomerse neerslagtekort zijn het peilregime en de oppervlakte openwater belangrijk voor de vraag naar inlaatwater.

Bij de peilstrategieën is uitgegaan van regulier peilbeheer waarbij de fluctuatie rond het streefpeil + of – 2 cm mag bedragen. De consequentie daarvan is dat:

- het slootpeil en de grondwaterstand het meest stabiel is wat gunstig is voor de maaiveld daling
- er vaak water moet worden ingelaten of afgevoerd, maar dat dan om relatief kleine hoeveelheden gaat
- er weinig buffer is waardoor in natte perioden net ingelaten water soms weer moet worden afgevoerd, of omgekeerd dat in droge perioden water moet worden ingelaten dat even daarvoor nog is afgevoerd. Per saldo wordt er relatief veel gebiedsvreemd water ingelaten.

Bij flexibel peilbeheer is de fluctuatie rond het streefpeil groter. Bij een fluctuatie van + of – 10 cm zijn de consequenties dat:

- het slootpeil geregeld lager is dan het streefpeil waardoor de grondwaterstand dieper uitzakt. Het gevolg daarvan is dat de maaiveld daling bij eenzelfde drooglegging ongeveer 1,3 mm/jr groter kan zijn dan bij regulier peilbeheer.
- er minder vaak water moet worden ingelaten of afgevoerd, maar als dat gebeurt gaat het om relatief grote hoeveelheden. Vergroten van de inlaatcapaciteit leidt er wel toe dat het streefpeil sneller wordt bereikt, maar niet dat de grondwaterstand minder uitzakt of dat de maaiveld daling afneemt.
- er veel waterbuffer is waardoor lang gebufferd of ingeteerd kan worden. Daardoor komt het minder vaak voor dat water wordt afgevoerd dat even later weer nodig is. In een gemiddelde zomer is 20% minder inlaatwater nodig dan bij regulier peilbeheer.

Een uitgekende vorm van dynamisch peilbeheer, waarbij afhankelijk van de neerslagverwachting of regulier of flexibel peilbeheer wordt toegepast, combineert de gunstige omstandigheden wat betreft de grondwaterstand en bodemdaling van regulier peilbeheer en de waterinlaat van flexibel peilbeheer.

Voor alle peilregimes geldt dat in een erg droge zomer nagenoeg evenveel extra inlaatwater nodig zal zijn. De toename kan oplopen tot meer dan 50% van de hoeveelheid in een gemiddelde zomer.

Klimaatverandering

De onzekerheid over het toekomstige klimaat is nog groot. In alle KNMI-klimaatscenario's zal de temperatuur stijgen, de potentiële verdamping toenemen en de neerslag meer in de vorm van hevige buien vallen. Door de temperatuursstijging van minimaal 0,9 °C neemt de daling in 2050 met in ieder geval 10% toe ten opzichte van het basisjaar 1990 en bij een stijging van 2,8 °C voor het meest extreme scenario met ongeveer 35%. In 2100 zullen de effecten ongeveer verdubbeld zijn.

Zonder gebruik van onderwaterdrains en bij de huidige slootafstand blijft de toestroom van water vanuit de sloten naar het midden van de percelen onvoldoende om te voorkomen dat de zomergrondwaterstand dieper uitzakt met een grotere bodemdaling als gevolg. Door sterkere verdamping door klimaatverandering zal deze bodemdaling nog verder toenemen. Daarnaast is het de vraag of er voldoende inlaatwater beschikbaar blijft omdat de Rijnafvoer afneemt en ook andere claims op rivierwater zullen toenemen.

In de extreme klimaatscenario's neemt niet alleen de maaivelddaling toe, maar ook de broeikasgasemissie kan met wel 50% (veen zonder kleidek) of 40% (veen met kleidek) toenemen. Onderwaterdrains zijn dan, zeker in combinatie met een geringere drooglegging, een belangrijk instrument om toename van de maaivelddaling en broeikasgasemissie te voorkomen of zelfs te verminderen.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Het Groene Hart en Noord-Hollands Midden (ook wel aangeduid als Laag Holland) zijn in de Nota Ruimte (VROM, 2004) aangewezen als Nationale Landschappen. Deze veenweidegebieden zijn in internationaal opzicht unieke cultuurlandschappen. Dankzij de landbouw is dit landschap zo gevormd, en de tragiek is dat dankzij de landbouw dit landschap ook weer zal verdwijnen. Door landbouwkundige ontwatering treedt inklinking en oxidatie van veen op, waardoor de veenbodem als drager van het cultuurlandschap in de komende eeuwen zal verdwijnen. Dit proces wordt nog versneld door effecten van klimaatverandering.

Maaiveldaling is vooral een probleem omdat er veel verschillen in waterpeilen zijn. Natuurgebieden (plassen en moerassen) dalen nauwelijks omdat het peil hooggehouden wordt. In landbouwgronden komen veel particuliere onderbemaalingen voor, en vraagt de landbouw om steeds kleinere peilgebieden voor een optimale ontwatering. Zo wordt het waterbeheer steeds complexer en dus ook steeds duurder. Bovendien biedt het zeer complexe waterbeheersysteem weinig ruimte voor tijdelijke berging van water bij extreme neerslag. Het watersysteem is met andere woorden heel weinig robuust.

Ook de Nota Ruimte erkent deze problematiek. In deze nota wordt voorgesteld om verschillende peilstrategieën te toe te passen, afhankelijk van de kwetsbaarheid voor bodemdaling. Gesproken wordt over ‘volledige vernatting’ in zeer kwetsbare gebieden tot het volledig vrij laten van het peilregime in gebieden met een heel dun veenpakket. Hiermee worden bodemeigenschappen en bijbehorend peilbeheer sturend voor de inrichting en de gebruiksmogelijkheden van het gebied.

In het onderzoeksprogramma ‘Waarheen met het Veen’ (www.waarheemethetveen.nl) staat de problematiek van maaiveldaling in relatie tot peilbeheer centraal. Berekend is wat effecten zijn van verschillende waterpeilstrategieën op de grondwaterstanden, de bodemdaling en op kansen voor ruimtegebruik en natuur. Bij de onderzochte waterpeilstrategieën komt ook de toepassing van onderwaterdrains aan de orde. In eerdere rapporten zijn resultaten van onderzoek in proefgebieden (Zegveld, Linschoten; Jansen et al., 2007 en 2008) gepubliceerd. Dit rapport doet verslag van het onderzoek op het schaalniveau van het westelijk veenweidegebied.

1.2 Eerder onderzoek

In de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw was Schothorst (1967, 1978) een pionier die zich bezighield met onderzoek naar de ‘zakking’ van veengronden. In die periode werden polderpeilen op grote schaal extra verlaagd om de draagkracht van

het veen te verbeteren. Een bijkomend gevolg van de peilverlaging was dat er meer veen oxideerde waardoor het maaiveld sneller daalde.

Een belangrijk deel van het onderzoek voerde Schotkorst uit op de proefboerderij in Zegveld. En nog steeds wordt die locatie voor onderzoek naar maaiveldddaling gebruikt waardoor inmiddels jarenlange meetreeksen beschikbaar zijn. Beuving en Van den Akker (1996), en recenter Van den Akker (2007) hebben uit die meetreeksen relaties afgeleid tussen drooglegging en maaiveldddaling en de gemiddeld laagste grondwaterstand en maaiveldddaling.

Een bijkomend voordeel van de oxidatie van veen was dat er voedingsstoffen voor de veenweiden vrij beschikbaar kwamen. Soms werd het slootpeil via onderbemalingen tot meer dan een meter beneden maaiveld verlaagd, waardoor ook de teelt van landbouwgewassen zoals maïs mogelijk werd. Maar lang niet alle voedingsstoffen worden door de begroeiing opgenomen. Een deel spoelt uit naar de ondergrond of komt in de sloten terecht waardoor daar eutrofiëring optreedt (Hendriks, 1993; Hendriks et al., 2004). Ook werd duidelijk dat de kwaliteit van water dat werd ingelaten - om sloten op peil te houden of om de sloten met zuurstofrijk water door te spoelen - door de hogere calcium- en sulfaatconcentraties de veenafbraak, en daarmee de eutrofiëring, bevordert (Lamers, 2001; Lamers et al., 2001).

Om de teloorgang van het veenweidelandschap tegen te gaan zijn inmiddels de nodige initiatieven genomen. Op bestuurlijk niveau zijn Rijk, provincies, gemeenten en waterschappen actief. Samen met diverse maatschappelijke partners werken ze in het samenwerkingsverband 'Groene Hart' waarin een groot aantal programma's en projecten zijn ondergebracht die vaak betrekking hebben op het westelijke veenweidegebied (www.toekomstgroenchart.nl). Een belangrijk deel van de kennis die hier aan ten grondslag ligt komt van gebiedsstudies (o.a. Taskforce Noord-Hollands Midden, 2003; Meulenkamp et al., 2008) en van breed opgezet onderzoek. Voor dit laatste is het kennisimpulsprogramma 'Leven met Water', een initiatief van onder andere de Unie van Waterschappen, STOWA en het ministerie van Verkeer en Waterstaat, een stuwende kracht (www.levenmetwater.nl). Eén van de projecten die daaronder vallen is 'Waarheen met het Veen', dat consequenties van waterbeheer in relatie tot ruimtegebruik en natuur in het westelijk veenweidegebied onderzoekt (www.waarheemethetveen.nl). Inmiddels heeft dit project een breed scala aan onderzoeksresultaten opgeleverd, van veiligheid, economie en beleidsvraagstukken tot waterpeilstrategieën, onderwaterdrains en kwaliteitsaspecten.

1.3 Opzet van de extrapolatie

In de pilotstudies Zegveld en Linschoten (Jansen et al., 2007 en 2008) kon vanwege de beperkte omvang en de structuur van de gebieden gebruik worden gemaakt van dynamische modellen om de waterhuishouding op dagbasis en de maaiveldddaling op jaarbasis te berekenen. Bij de maaiveldddaling kon toen rekening worden gehouden met de dikte van de veenlaag en, als die aanwezig was, ook met de dikte van het

kleidek. Een dergelijke aanpak is voor het hele westelijk veengebied niet mogelijk. Het model zou te complex worden en bovendien is een deel van de benodigde modelinvoer niet of onvoldoende goed bekend. Daarom is er voor gekozen om alleen de relaties tussen drooglegging en maaiveldddaling te gebruiken om de maaiveldddaling te berekenen. De drooglegging is ook niet altijd bekend, maar op grond van vigerende peilbesluiten kan daar wel een goede schatting van worden gemaakt.

Relaties tussen drooglegging en maaiveldddaling zijn er voor veen en veen met een dun kleidek (Van den Akker et al., 2007). Deze relaties worden opgesplitst naar profielopbouw, veensoort en er wordt rekening gehouden met kwel of wegzijging. Om dit onderscheid aan te kunnen brengen wordt gebruik gemaakt van tienduizenden oude hoogtemetingen.

Met de relaties tussen drooglegging en maaiveldddaling worden verschillende scenario's doorgerekend. Belangrijk voor wat betreft het tegengaan van de maaiveldddaling zijn de peilstrategieën en de toepassing van onderwaterdrains. Bij peilstrategieën komen hogere slootpeilen en grotere peilvakken in aanmerking. Onderwaterdrains maken dat het grondwaterpeil zich goed aan het slootpeil conformeert en daardoor minder diep wegzakt.

Uitgegaan wordt van een regulier peilregime, wat hier inhoudt dat het slootpeil slechts weinig fluctueert. Er zijn ook peilregimes waarbij het peil meer mag fluctueren en regimes waar waterinlaat en -afvoer afhankelijk zijn van bij voorbeeld neerslagverwachting en/of het grondwaterpeil, maar het zou te ver voeren om er hier uitgebreid op in te gaan. Wel wordt van flexibel peilbeheer, dat vooral wordt ingezet om de hoeveelheid inlaatwater te verminderen, de maaiveldddaling en waterinlaat en -afvoer vergeleken met dat van regulier peilbeheer.

Een ander aspect dat consequenties heeft voor veengebieden is klimaatverandering. Als er minder neerslag valt, of als dezelfde hoeveelheid meer in korte perioden valt, zal dat van invloed zijn op de waterhuishouding en daarmee op de maaiveldddaling. Daarnaast zorgt een hogere temperatuur ervoor dat de mineralisatie van veen sneller verloopt. In de pilotstudie 'Zegveld en Linschoten' zijn voor de minst en meest extreme klimaatscenario's die door het KNMI zijn opgesteld de gevolgen voor de maaiveldddaling berekend. De kennis die daarbij is opgedaan wordt hier gebruikt om inzicht te krijgen in wat de klimaatverandering in het hele westelijke veengebied voor gevolgen kan hebben.

Naast de kwantiteit van water spelen ook de kwalitatieve aspecten een belangrijke rol in het veengebied. Afgezien van de fysieke beschikbaarheid van inlaatwater in droge perioden, is de samenstelling ervan vaak wezenlijk anders dan het gebiedseigen water waardoor de afbraak van veen sneller kan verlopen en er eutrofiering van het polderwater optreedt. Ook onderwaterdrains kunnen een negatieve invloed hebben op de waterkwaliteit omdat het slootwater in principe tot diep in de percelen kan doordringen. Omdat daarover nog weinig bekend is wordt het nutriëntenmodel ANIMO ingezet om daar helderheid over te krijgen.

Afgezien van de directe gevolgen die peilstrategieën, onderwaterdrains en klimaatverandering hebben op de maaiveldddaling, waterhuishouding en waterkwaliteit kunnen de gevolgen voor het landgebruik ingrijpend zijn. Nattere omstandigheden bieden kansen voor natuur, en omgekeerd kunnen onderwaterdrains voor betere omstandigheden voor landbouw zorgen. Op eenvoudige wijze wordt aangegeven welke vormen van landgebruik bij de verschillende peilstrategieën en drooglegging mogelijk zijn.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 van dit rapport wordt een schets gegeven van de vorming van het veen in West-Nederland en van de ontwikkelingen die er later plaatsvonden. Het veen is onder natuurlijke omstandigheden gegroeid, maar het is de mens die er verantwoordelijk voor is dat het huidige veenlandschap is ontstaan. Om dit landschapstype voor langere tijd in stand te houden is het zaak dat het veen op de een of andere manier wordt vernat waardoor de maaiveldddaling zal afnemen. Niet overal zal eenzelfde vernatting dezelfde effect hebben op de maaiveldddaling. In hoofdstuk 3 wordt daarom uitvoerig aandacht besteed aan de factoren die van invloed zijn op de maaiveldddaling.

In hoofdstuk 4 worden de resultaten van peilstrategieën, onderwaterdrains, peilregimes en klimaatverandering op de maaiveldddaling en de waterhuishouding besproken. Ook de gevolgen van onderwaterdrains voor de waterkwaliteit komen aan bod, evenals de consequenties voor CO₂-emissie en broeikasgassen. Verder is er een paragraaf gewijd aan de samenhang met mogelijke vormen van landgebruik. Tot slot volgt hoofdstuk 5 met conclusies.

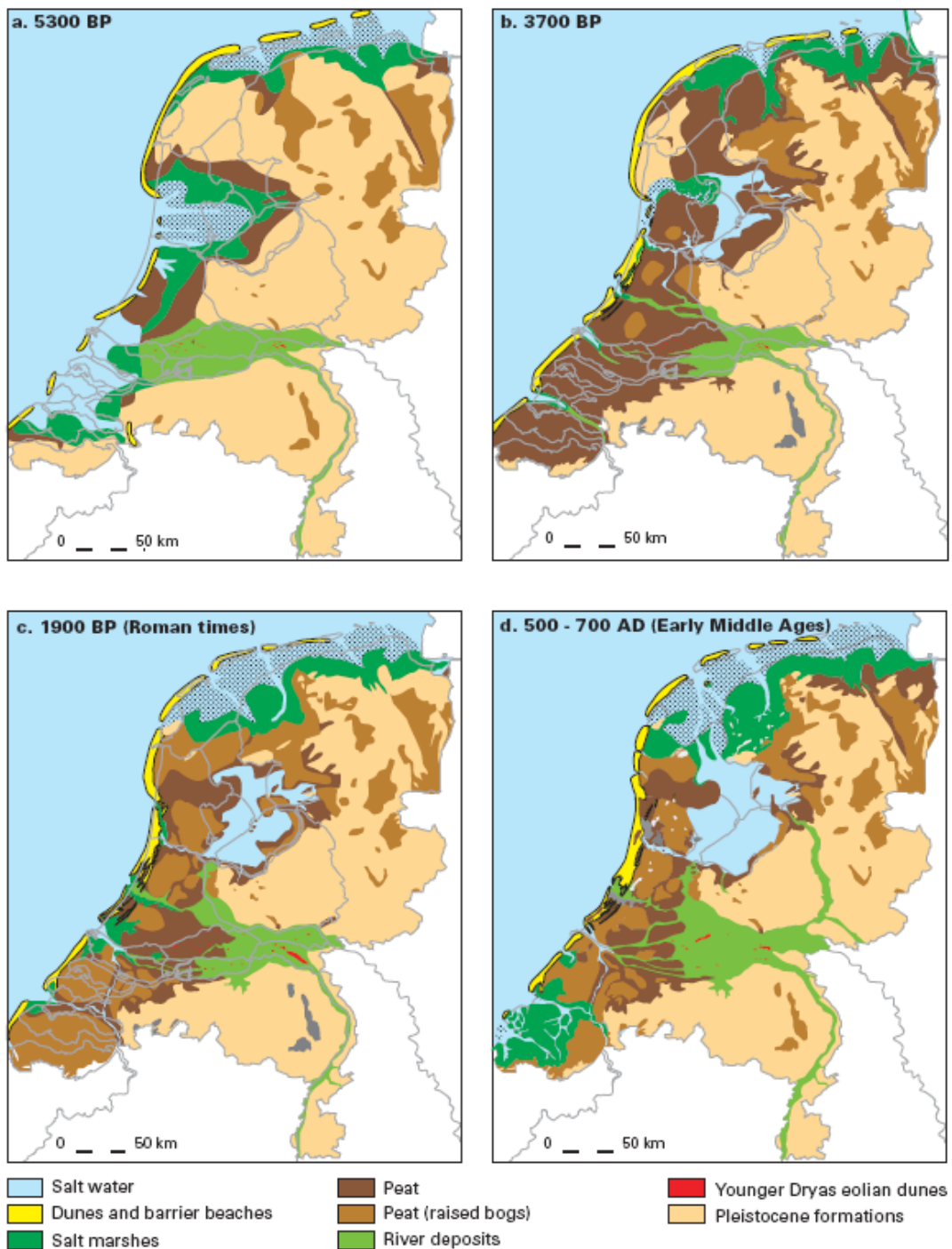
2 Veen in West-Nederland

2.1 Ontstaan en ontginning

Het huidige veenweidelandschap in West-Nederland dankt zijn ontstaan aan de ontwikkelingen die in de jongste helft van het Holoceen hebben plaatsgevonden (Zagwijn, 1986 en Berendse, 2004, De Bont, 2009). Achter de strandwallen die zich rond 11.500 v. Chr. hadden gevormd ontstond een uitgestrekt veenmoeras waar uit afgestorven plantenresten het zogenaamde Hollandveen werd gevormd (Figuur 2.1). Er kon een metersdik veenpakket ontstaan, omdat de veengroei gelijke tred hield met de stijging van de zeespiegel.

In eerste instantie was het water nog brak en voedselrijk waardoor eutroof veen uit zeebies-, riet- en zeggevegetaties werd gevormd. Langs de rivieren en riviertjes ontstond eutroof veen uit niet alleen riet- en zeggevegetaties maar ook uit moerasbossen. Buiten de invloedsfeer van de zee en de rivieren is gaandeweg de invloed van regenwater toegenomen waardoor er steeds meer veenmosveen is gaan groeien. Ten noorden van het IJ heeft dat een dik pakket oligotroof veen opgeleverd. Ook ten oosten van de Vecht is oligotroof veen gevormd. Dat gebied ligt als geheel wat hoger tegen de flanken van het Gooi en de Utrechtse Heuvelrug van waaruit zacht grondwater naar de veengebieden stroomde waar het als kwel voor natte, voedselarme omstandigheden zorgde.

De veenvorming werd vanaf 2000 v. Chr. verstoord omdat de zeespiegel tijdens vier Duinkerke-transgressiefasen sterk steeg waardoor de zee op verschillende plekken door de strandwallen brak. In de loop der tijd werd de strandwal wel weer gesloten, maar tot die tijd trad overslibbing op en erodeerde veen waardoor geulen en plassen ontstonden. Vooral ten noorden van het IJ is veel veen op die manier verdwenen. In de Middeleeuwen zijn daardoor de Beemster, de Schermer, de Purmer en de meren in het Waterland ontstaan.



Figuur 2.1 Ontwikkelingen in het Holoceen vanaf 5300 voor Chr. (Zagwijn, 1986)

Los van het binnendringen van de zee hebben, vooral in het centrale veengebied in Zuid-Holland en Utrecht, de rivieren altijd een belangrijke rol gespeeld. Langs de grote rivieren als de Vecht, Hollandse IJssel, Oude Rijn en Lek en Linge zijn oeverwallen afgezet. Verder naar het westen ontbreken de oeverwallen omdat de stroomsnelheid daar onvoldoende groot voor was. Dicht langs de rivieren en verder

naar het oosten is veel klei afgezet, dat verder van de rivieren geleidelijk over het veen uitwigt. Langs de kleinere riviertjes als de Meije, Kromme Mijdrecht en Gouwe die het overtollig water van het veengebied afvoerden, zijn geen oeverwallen ontstaan. Wel is er soms kleiig materiaal gesedimenteerd. Ook verschillende andere, voormalige stroomgeulen zijn opgevuld met kleiig materiaal.



Figuur 2.2 Verschillende ontwikkelingsfasen in het westelijk veengebied (Google-Earth, 2008)

Al aan het begin van de Middeleeuwen woonden er verspreid in het veengebied mensen op de oeverwallen langs de rivieren en langs de kleinere veenrivieren. Vanaf 1000 n. Chr. begon men het veen stelselmatig te ontginnen tot landbouwgebied. Dit

gebeurde meestal volgens strikte voorschriften waardoor de voor het veenweidegebied kenmerkende verkavelingspatronen zijn ontstaan. In de beginperiode van de ontginning lag het veen hoger dan het rivierpeil, maar door de ontwatering daalde het maaiveld snel. Momenteel ligt het maaiveld 1,5 à 2,0 m onder het oorspronkelijke maaiveldniveau. Na verloop van tijd moesten er dan ook molens en later gemalen worden ingezet om overtollig water uit het veengebied te lozen. De vrij afwaterende veengebieden zijn veenpolders geworden en de rivieren fungeren nu als boezem.

Na de ontginning is gedurende meerdere eeuwen geprobeerd de bovengrond van het veen te verbeteren. Daarvoor werd de bagger, die uit de sloten afkomstig was, gemengd met huisvuil uit de grote steden of met stalmest waaraan soms ook zand was toegevoegd. Na droging en rijping werd het over het land verspreid. De aanwezigheid van een dergelijk 'toemaakdek' staat apart op de bodemkaart aangegeven. Het baggeren ten behoeve van de toemaak heeft er toe geleid dat de sloten soms meters breed werden.

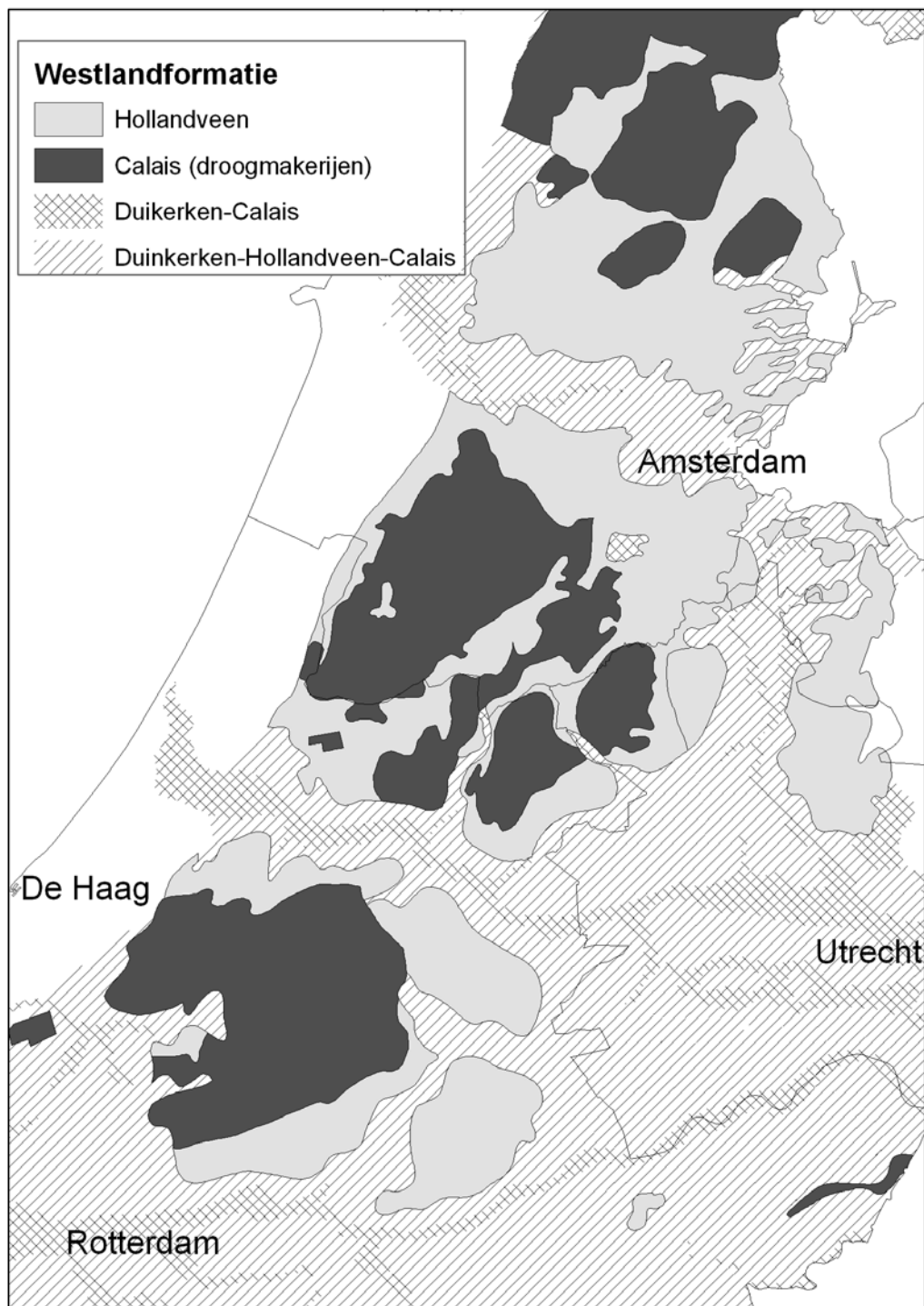
Naast ontginning heeft vervening een grote impact op het veengebied gehad. Er is op grote schaal veen afgegraven dat in gedroogde vorm (turf) als brandstof diende. Dat is vooral gebeurd op plekken met een dik veenpakket waarin weinig slib of zout zat. Uit langgerekte trek- of petgaten werd veen opgebaggerd dat op tussenliggende stroken land (legakkers) werd verwerkt. Als de petgaten niet te diep werden uitgeveend konden ze dichtgroeien en verlanden waardoor opnieuw veenvorming optrad. Maar als de legakkers smal en de petgaten diep waren, werden de legakkers door golfslag vaak weggeslagen waardoor grote plassen ontstonden (Figuur 2.2). Ook bestaande meren als het Haarlemmermeer zijn door afslag van veenoevers aanzienlijk vergroot.

Veel van de plassen die door vervening zijn ontstaan zijn in de loop der tijden drooggelegd. Het maaiveld en slootpeil van deze droogmakerijen ligt vaak meters lager dan de omgeving. Aan de oppervlakte komt soms nog veen voor dat eerder niet is afgegraven of veen dat na de vervening bezonken is op de meerbodem.

2.2 Verspreiding en dikte van het veen

In Figuur 2.3 staan de afzettingen van de Westlandformatie in West-Nederland. Op plekken waar waterplassen zijn drooggemalen is de oude (blauwe) zeeklei van de afzettingen van Calais aan de oppervlakte komen te liggen. De verspreiding van de Formatie van Calais komt goed overeen met de ligging van de droogmakerijen. Verschillende droogmakerijen zijn niet uit uitgegraven veenplassen voortgekomen, maar zijn drooggemalen natuurlijke meren (Haarlemmermeer) of meren die vroeger door zee-erosie zijn ontstaan (Beemster, Purmer). In de droogmakerijen die zijn ontstaan uit veenplassen komt op plekken waar het oorspronkelijke veenpakket erg dik was plaatselijk nog veen voor (Polder Groot-Mijdrecht). Dit veen wordt ook wel aangeduid als restveen.

Rond de droogmakerijen ligt Hollandveen aan de oppervlakte. Bij de andere afzettingen van de Westlandformatie ligt jonge zeelei aan de oppervlakte (Formatie van Duinkerken en Formatie van Gorkum). Vaak ligt er nog wel een veenpakket onder. Langs de grote rivieren ontbreekt het veen en ligt de jonge zeelei rechtstreeks op de oude zeelei.



Figuur 2.3 Afzettingen van de Westlandformatie in West-Nederland

De uiteindelijke grens van het westelijk veenweidegebied waar hier verder van wordt uitgegaan is gebaseerd op het voorkomen van de veengronden op de bodemkaart 1 : 50.000 (Stiboka, 1963-1982). Recentere bodemkaarten zijn alleen van delen van het westelijk veenweidegebied beschikbaar. De opnames voor de bodemkaart hebben minimaal 25 jaar geleden plaatsgevonden, waardoor inmiddels veenbodems door oxidatie of vergraving zijn verdwenen of een andere profielopbouw hebben gekregen. Over heel Nederland voldoet 20-25% van de veengronden op de bodemkaart niet meer aan de criteria van veengronden (Kuikman et al., 2005). In het westelijk veenweidegebied is dat echter beduidend minder omdat het veen meestal dikker is en de grondwaterstand minder diep is dan in Noord-Nederland. Alleen zijn inmiddels wel veel veengronden gedeformeerd die in het oosten van het Vechtplassengebied liggen. Het betreft dan met name veengronden waarvan de zandondergrond binnen 80-120 cm begint en die vaak ook nog een zanddek hebben. Ze beslaan echter nog geen 1% van het totale veenareaal in West-Nederland.

Volgens een nieuwe veenkaart van de provincie Utrecht (Stouthamer et al., 2008) is op verschillende plekken de laatste decennia de kleiige bovengrond dikker geworden waardoor er een verschuiving is opgetreden van koopveengronden naar weideveengronden en van weideveengronden naar drechtvaaggronden. Andere detailkarteringen (Pleijter et al., 2007a,b,c) laten zien dat met meer opnames ook meer stroomruggen en dergelijke worden onderscheiden, maar ook dat de toegenomen bebouwing een verklaring zijn voor de afname van het areaal veenbodems.

Op de bodemkaart 1 : 50 000 staan ook moerige gronden. Soms grenzen ze aan de veengebieden waar ze vroeger onderdeel van zijn geweest. Dat geldt met name voor de zogenaamde Plaseerdgronden (bodemcode Wo). Dat zijn moerige, niet gerijpte zavel- of kleigronden. Maar sinds de periode waarin de opnamen voor de bodemkaart zijn gemaakt - de oudste kaartbladen dateren van 1963 - zijn deze gronden bij een gangbare ontwatering gerijpt en is veel van het moerige materiaal verdwenen. Deze gronden zijn buiten beschouwing van de analyse gelaten.

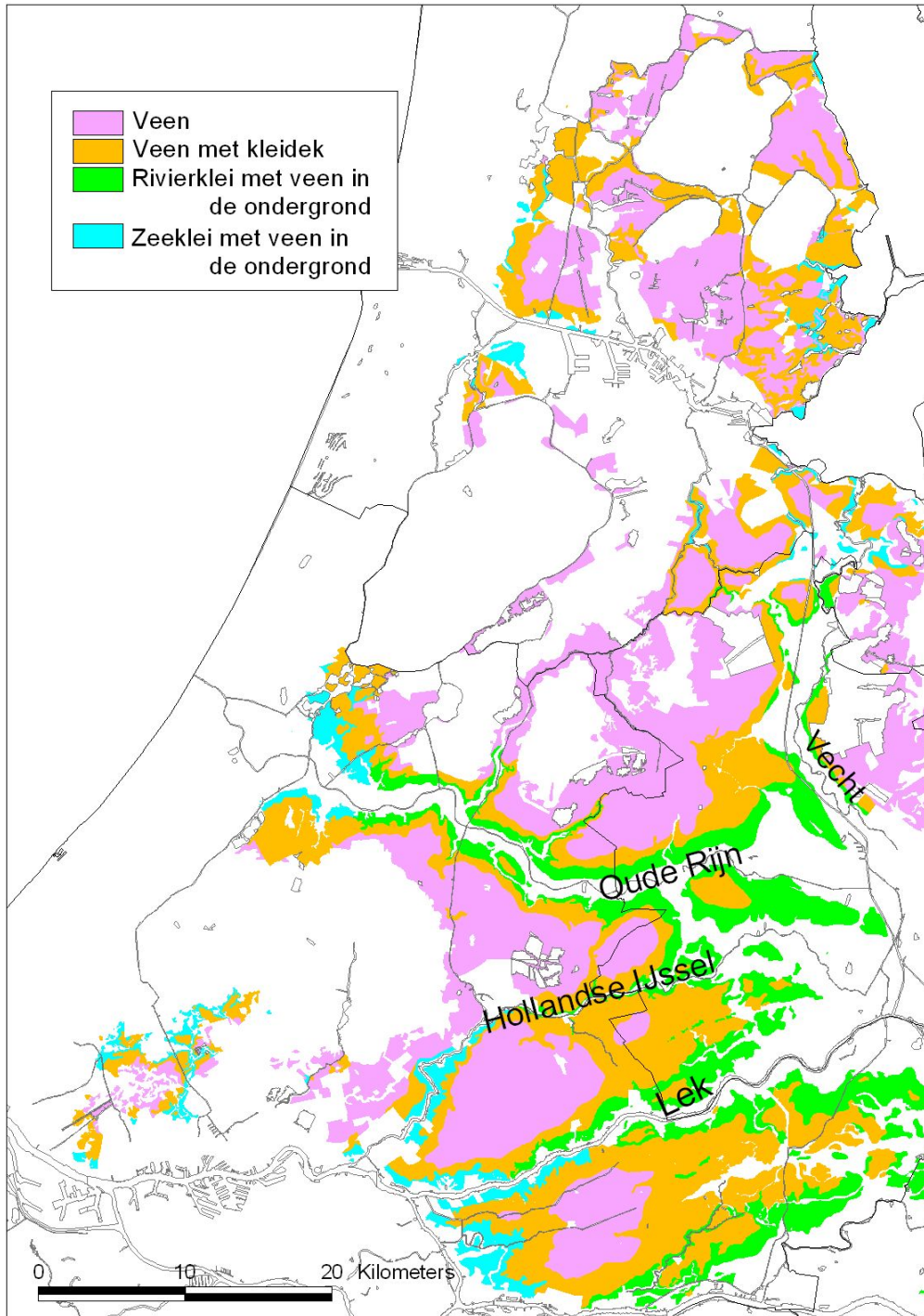
Als grens voor het westelijk veengebied is hier de Ursummervaart ter hoogte van Alkmaar in het noorden, de Vechtplassen in het oosten en de Oude Maas/Beneden Merwede in het zuiden aangehouden. Tot de veengronden zijn hier ook de moerassen en petgaten gerekend. Veen met een kleidek tot 40 cm dikte worden ook tot de veengronden gerekend. Wanneer de afdekkende kleilaag tussen de 40 en 80 cm dik is zijn het kleigronden met een veenondergrond. Deze gronden zijn hier ook tot het veengebied gerekend omdat het veen hier bij diepe grondwaterstanden kan oxideren. Veengronden in de binnenduinen en veengebiedjes kleiner dan 1 ha zijn niet in beschouwing genomen. In Figuur 2.4 staat de verspreiding van de veengronden en de kleigronden met een veenondergrond. De oppervlakte van de verschillende grondsoorten staat in Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Oppervlakte veengronden en kleigronden met veenondergrond in West-Nederland

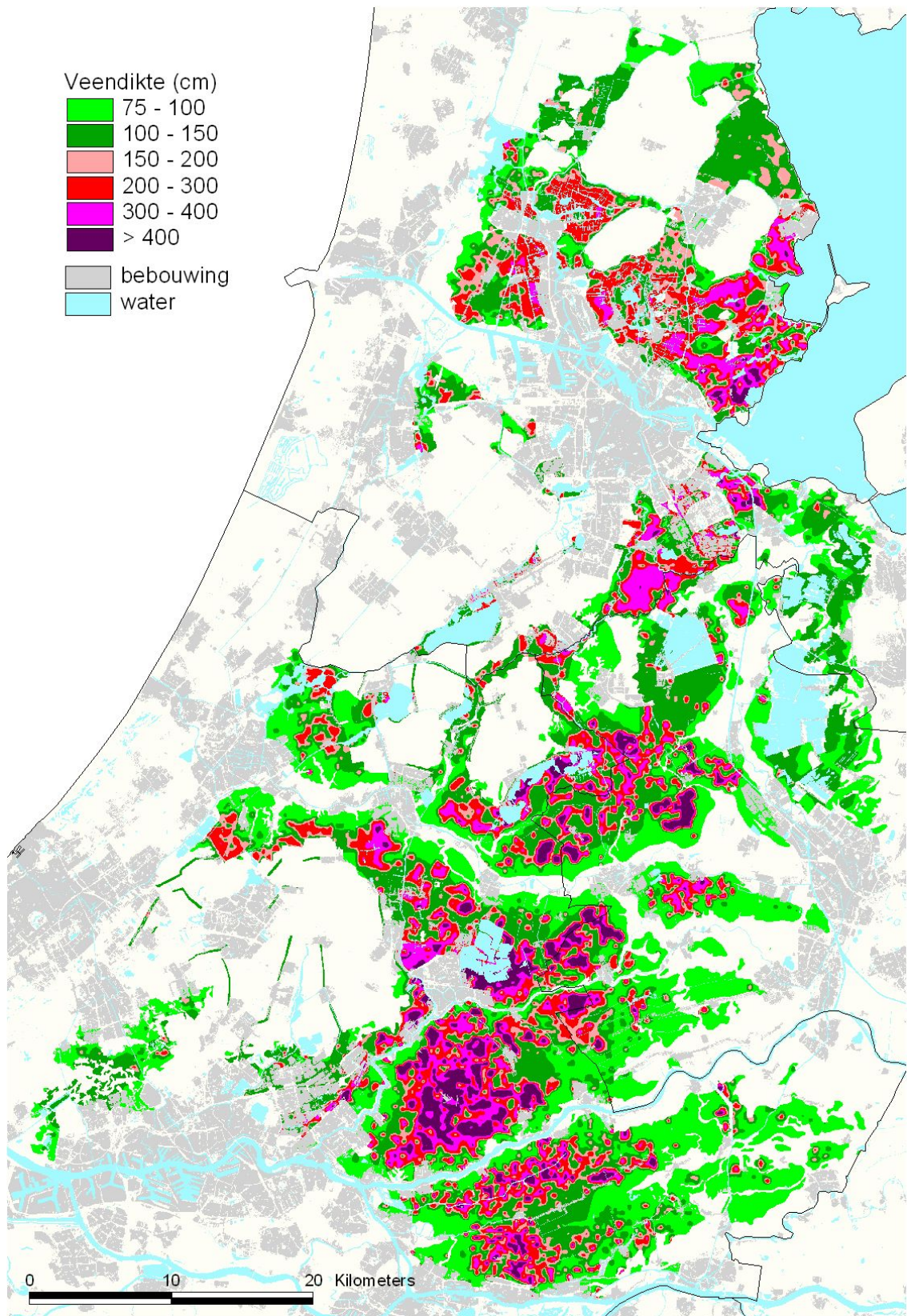
Grondsoort	oppervlakte (ha)
moeras/petgaten	6 454
veen	61 191
veen met dun kleidek	50 577
klei met veenondergrond	23 573
<i>totaal</i>	<i>141 795</i>

De totale veendikte in het veenweidegebied kan oplopen tot meer dan 10 meter. Meestal betreft het geen homogeen veenpakket, maar komen er zand- of kleilagen in voor. Het veen in de ondergrond kan oxideren mits het in aanraking komt met zuurstof. Dat is het geval als de grondwaterstand tot in het veen reikt. Wanneer de dikte van de minerale laag aan de oppervlakte groter is dan de diepste grondwaterstand stopt het oxidatieproces. Door vernatting kan een minder dikke minerale afdeklaag al afdoende zijn om de oxidatie van diepere veenlagen te stoppen. Anderzijds zal de klimaatsverandering bij een onveranderde drooglegging tot diepere grondwaterstanden kunnen leiden. Daardoor zouden ook diepere veenlagen in aanraking kunnen komen met zuurstof. Hier wordt uitgegaan dat de bodemdaling zal stoppen wanneer al het veen dat zich boven een minerale laag van ca. 50 cm bevindt is verdwenen. Dit komt overeen met de drooglegging die voor de landbouw in veengebieden gebruikelijk is.

Voor de veendiktekaart is de bodemkaart 1 : 50.000 gebruikt omdat deze een consistent beeld van het hele gebied geeft en goed aansluit bij de schaal waarop deze studie wordt uitgevoerd. De bodemkaart geeft informatie tot 120 cm diepte. Een kanttekening is wel dat de opnames voor de bodemkaart 20-30 jaar geleden hebben plaatsgevonden. Inmiddels is het nodige veen geoxideerd. Daarom zijn dunne veenlagen (<50 cm) hier niet in beschouwing genomen. Voor de veendikte beneden de 120 cm is gebruik gemaakt van boorgegevens die informatie geven over de volledige Holocene deklaag (Massop, pers. mededeling). Tussen de boorpunten is de veendikte door interpolatie berekend. De dikte van het veen die bij landbouwkundige drooglegging kan oxideren staat in Figuur 2.5.



Figuur 2.4 Verspreiding veengronden en kleigronden met veenondergrond in West-Nederland

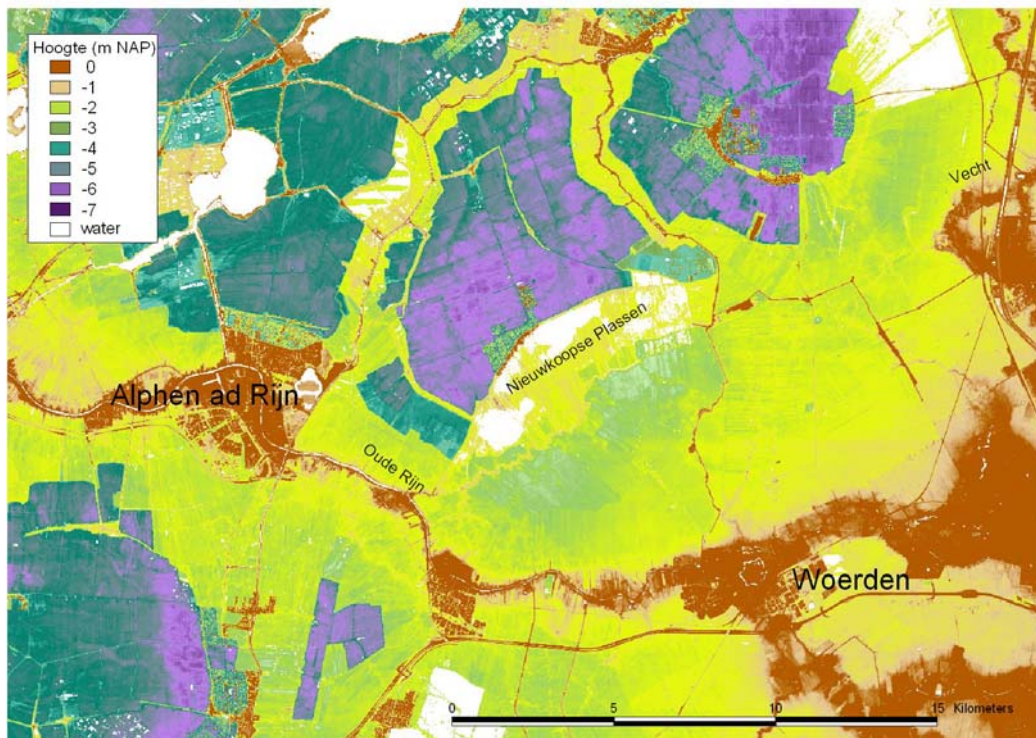


Figuur 2.5 Dikte van het veen dat bij landbouwkundige drooglegging kan oxideren

2.3 Het maaiveld

2.3.1 Actuele maaiveldhoogte

De maaiveldhoogte in het veengebied in West-Nederland kent grote verschillen. Voor een deel hangen die samen met de bodemsamenstelling, zoals de dikte van het veen en het voorkomen van kleilagen. Een belangrijk deel van de hoogteverschillen zijn veroorzaakt door ingrepen van de mens, waarbij combinaties van wel of niet afgraven en ontwateren tot hoogteverschillen van meer dan 5 meter hebben geleid. De laagste ligging hebben de veenrestanten in droogmakerijen. In de regel zijn de droogmakerijen goed ontwaterd, waardoor de maaiveldddaling er na de drooglegging doorgaat. Veengebieden die niet zijn afgegraven maar wel zijn ontgonnen liggen wat hoger, maar afhankelijk van het tijdstip waarop de ontginning heeft plaatsvonden en de diepte van de ontwatering kan het maaiveld hier al wel meer dan 2 m zijn gedaald. Er zijn ook kleinere delen van het veengebied niet ontgonnen. Deze worden ook wel aangeduid als bovenland. Ook veenkaden en bloklanden kunnen hier toe gerekend worden. Onder invloed van de ontwaterde omgeving is hier wel maaiveldddaling opgetreden. Tot slot is er veen dat niet is afgegraven of weer is gaan groeien in (boezem)wateren met een hoog peil. Dit veen heeft het hoogste maaiveld.

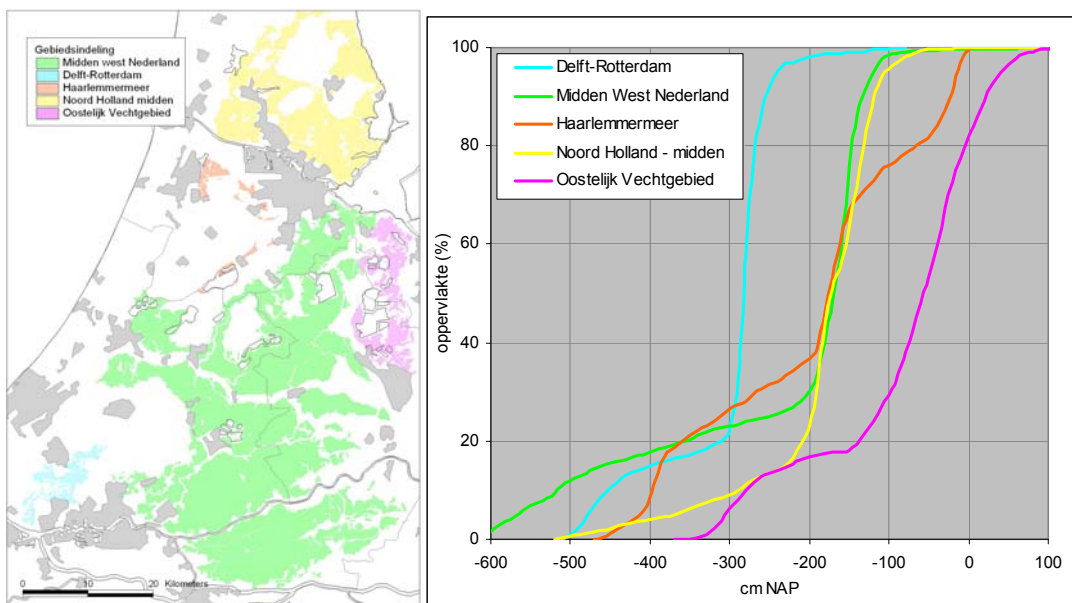


Figuur 2.6 Detail van de hoogtekaart rond Woerden

In Figuur 2.6 staat de hoogtekaart van een gedeelte van midden West-Nederland. De droogmakerijen zijn hierop duidelijk te herkennen als de laagstgelegen polders. De hoogste delen zijn naast bebouwing, wegen en spoorlijnen de kleigronden langs de Oude Rijn en de Vecht en de dijken langs de boezemvaarten. Verder van de Oude

Rijn en Vecht ligt het maaiveld steeds lager omdat daar geen kleilaag meer voorkomt. Het maaiveld in de pure veengronden is inmiddels gedaald tot ruim 2 m-NAP (zie ook Figuur 2.10).

In Figuur 2.7 staat de procentuele verdeling in maaiveldhoogte voor de veengronden zonder kleidek. Moerassen, petgaten en veengronden met een kleidek zijn hier niet meegerekend. Het veengebied is opgedeeld in vijf regio's omdat deze onderling nogal verschillen. Het veengebied in de regio Delft-Rotterdam is klein en versnipperd, maar ligt duidelijk in diepe polders. Ongeveer 80% van het veenareaal heeft er een maaiveldhoogte van tussen de -3,0 en -2,5 m NAP. De rest ligt nog lager. In de regio's midden West-Nederland en Noord Holland-midden is in 70-80% van het gebied het verschil in hoogte minder dan één meter. Er komen nauwelijks veengronden voor met een maaiveld dat boven de -1,0 m NAP ligt.

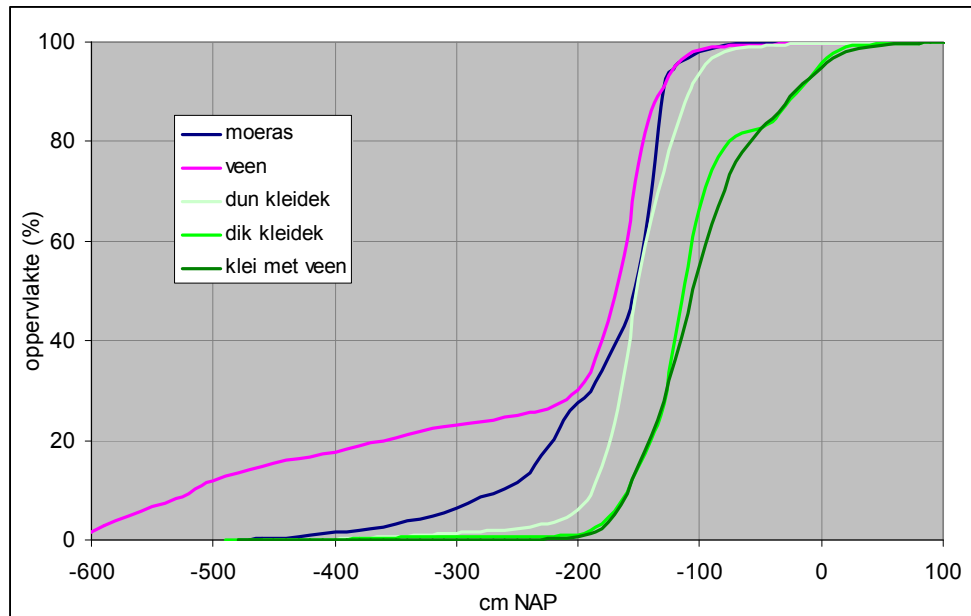


Figuur 2.7 Verdeling maaiveldhoogte van verschillende veengronden (zonder kleidek) in verschillende regio's in West-Nederland

In de omgeving van de Haarlemmermeer liggen weinig veengronden. Omdat ook een deel ervan in polders buiten de Haarlemmermeerpolder zelf ligt, is de verdeling tussen het minimum van -5,0 tot 0,0 m NAP gelijkmatig. In het oostelijk Vechtgebied is de spreiding in hoogteverdeling groot. Hier komen ook de hoogst gelegen veengronden voor. Het veengebied ligt tegen de Utrechtse Heuvelrug aan. Er is ook veel veen afgegraven. In de diepe droogmakerijen die daaruit zijn ontstaan komt plaatselijk ook nog veen voor.

Voor de regio midden West-Nederland is ook een maaiveldverdeling gemaakt van vijf groepen veengronden; moerassen/petgaten, veen zonder kleidek, veen met een dun of dik kleidek en klei met een veenondergrond (Figuur 2.8). Het maaiveld van kleigronden met een veenondergrond en van de veengronden met een dikke kleilaag ligt gemiddeld het hoogst (-2,0 tot 0,0 m NAP). De veengronden met een dunne kleilaag liggen wat lager (-2,0 tot -1,0 m NAP). Bij een gangbare drooglegging zal het

polderpeil hier tussen de -2,5 en -1,5 m NAP zijn. De maaiveldhoogte van moerassen en petgaten is niet overal bekend. Van plekken waar het wel bekend is, is de spreiding groot. De laagste moerassen liggen in droogmakerijen. Bij de veengronden geeft de knik in de duurlijn bij -2,0 m NAP globaal de scheiding aan tussen veen in veenpolders en veen in droogmakerijen. Ongeveer 30% van het oppervlak heeft een maaiveldhoogte van -2,0 tot -6,0 m NAP.



Figuur 2.8 Verdeling maaiveldhoogte van verschillende bodemtypen met veen in midden West-Nederland

2.3.2 Maaivelddaling

Er zijn verschillende oorzaken waardoor de bodem in West-Nederland daalt. Isostatische en tectonische krachten zorgen voor een constante daling die in midden West-Nederland enkele tienden millimeters per jaar bedraagt (Figuur 2.9). Deze krachten worden veroorzaakt door daling van het Noordzeebekken en bewegingen van lithosfeerplaten die in de aardkorst voorkomen.

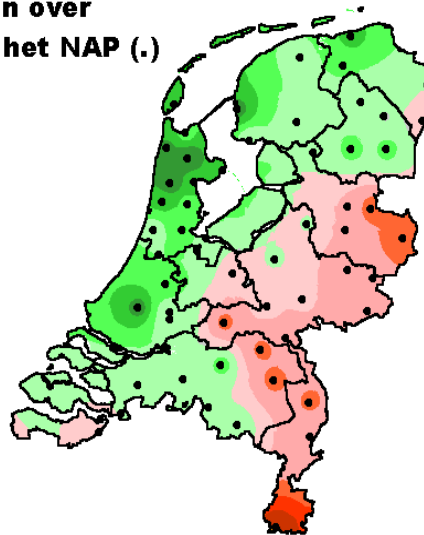
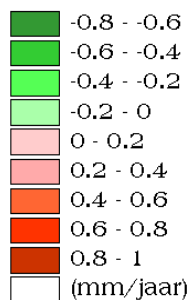
Voor het veenweidegebied komt daar de maaivelddaling bij die het gevolg is van oxidatie, klink, krimp (Schothorst, 1967) en van zetting en anaerobe afbraak:

1. Oxidatie treedt op als organische stof na ontwatering in aanraking komt met zuurstof. Het oxidatieproces, dat temperatuursafhankelijk is, vindt vrijwel uitsluitend in de zomer plaats.
2. Klink treedt op na ontwatering. De bodem zakt als het ware in elkaar omdat de opwaartse druk afneemt, terwijl het eigen gewicht van de bovenste bodemlaag toeneemt.
3. Krimp en zwelling van organisch materiaal treedt ook op na ontwatering. Krimp treedt vooral in de zomer op, zwelling in de winter. Een deel van de krimp is irreversibel.

4. Zetting treedt op door druk van landbouwmachines, vee of opgebrachte bodemlagen.
5. Anaerobe afbraak treedt beneden het grondwaterniveau op als er nitraat of sulfaat aanwezig is dat als oxidator optreedt. Mest en depositie zijn de belangrijkste oorzaken van de aanwezigheid van met name nitraat.
6. Anaerobe afbraak door bacteriën waardoor methaan gevormd wordt.

Klink en krimp nemen bij een verlaging van de grondwaterstand sterk toe, maar bij een constante grondwaterstand zijn het eindige processen. Bij afwezigheid van een veraarde of minerale bovengrond gaat de oxidatie van organisch materiaal door tot het op is. In de praktijk blijkt dat een klein deel van het organische materiaal overblijft omdat het resistent is voor oxidatie. Als er zich wel een veraarde of minerale bodemlaag ophoopt, neemt de oxidatie af. Per saldo is oxidatie de belangrijkste oorzaak van maaiveldddaling in veengebieden. Voor de praktijk is onderscheid van maaiveldddaling als gevolg van oxidatie, klink, krimp, zetting en aerobe afbraak minder relevant dan de som ervan.

**Vertikale bewegingen Pleistoceen
bepaald uit waterpassingen over
ondergrondse merken van het NAP (.)**



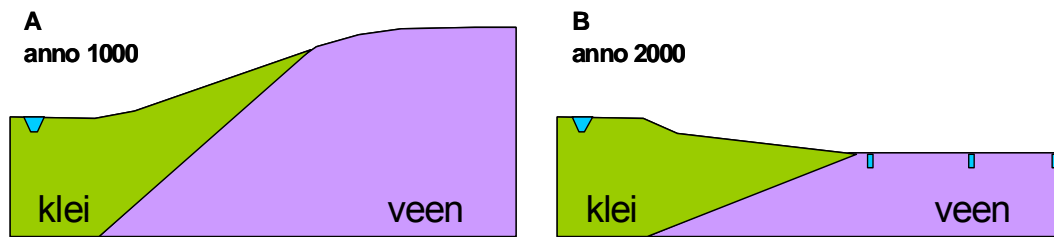
RWS Meerkundige Dienst 1997

Figuur 2.9 Bodemdaling van de zandondergrond door tektonische bewegingen

Oorspronkelijk lag het veen hoger dan het waterpeil in de rivieren dat op haar beurt weer hoger was dan het zeeniveau. Vanaf het moment dat veen ontwaterd werd, is de bodem gaan dalen. De eerste eeuwen verliep dit proces nog langzaam, maar sinds de laatste decennia van de vorige eeuw een grotere drooglegging werd nagestreefd is ook de maaiveldddaling toegenomen.

Het tempo waarin de bodem daalt is niet overall gelijk. Afgezien van drooglegging, veensoort en kwel of wegzijging is de profielopbouw een belangrijke factor. Normaliter is de maaiveldddaling op plekken zonder kleidek het grootst. De daling neemt af naarmate het afdekkende kleidek dikker is. Figuur 2.10 toont een schematische dwarsdoorsnede loodrecht op één van de grotere rivieren. Inmiddels

zijn de veengronden zonder kleidek zover gedaald, dat ze lager liggen dan de kleigronden langs de rivieren.



Figuur 2.10 De maaivelddaling in het veengebied in de afgelopen duizend jaar in een doorsnede loodrecht op één van de rivieren. Het maaiveld van de kleigronden is niet gedaald

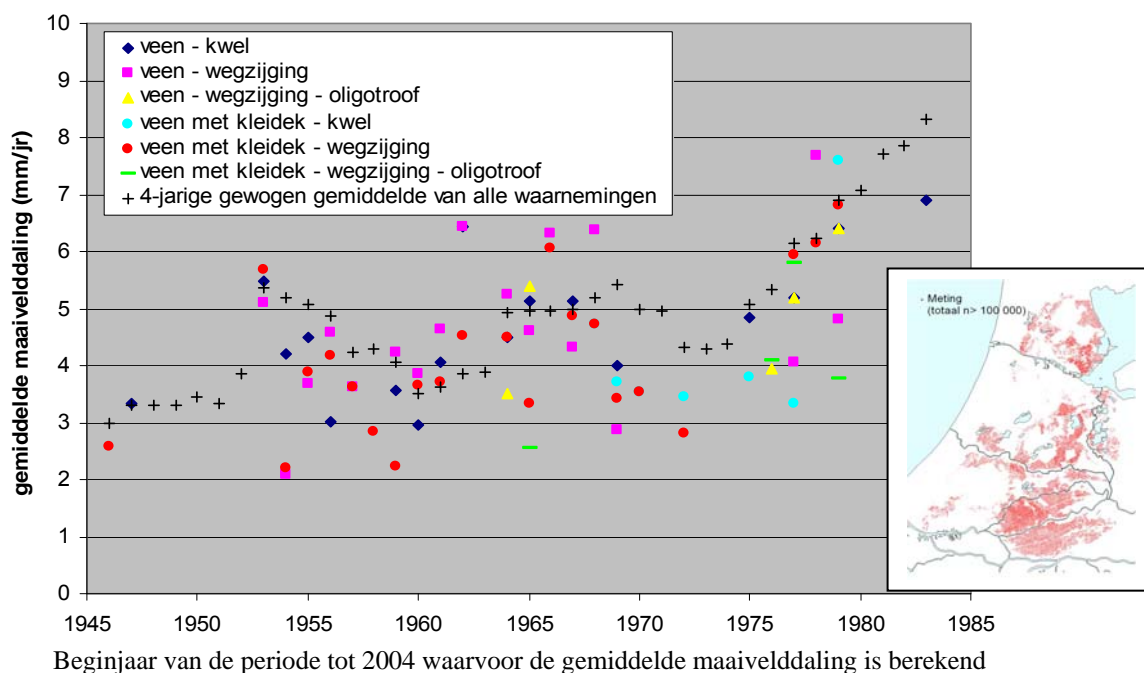
Pas vanaf 1945 is systematisch de maaiveldhoogte gemeten met een dichtheid van één waarneming per hectare. Door Massop (pers. mededeling) zijn deze waarnemingen voor de Krimpenerwaard vergeleken met actuele hoogtegegevens. De gemiddelde maaiveldddaling per bodemtype staat in Tabel 2.2. In de koopveengronden, die in het centrale gedeelte van de Krimpenerwaard liggen, was de daling het grootst. Vergeleken met de huidige situatie waarin de daling al gauw meer dan 10 mm/jr bedraagt was de drooglegging veel kleiner. Opvallend is dat ook het maaiveld van de kleigronden met veen in de ondergrond fors daalde. Dat is niet alleen veroorzaakt door oxidatie van het veen, maar ook door klink en zetting van klei. Massop heeft ook de polderpeilen uit 1882 vergeleken met de huidige peilen en komt, omgerekend naar een gemiddelde verlaging per jaar, tot waarden die ook tussen de 3 en 5 mm/jr liggen. De gemiddelden zullen niet over de hele periode gelijk zijn omdat in de laatste decennia van de vorige eeuw de polderpeilen zijn verlaagd waardoor de maaiveldddaling toenam.

Tabel 2.2 Maaiveldddaling in de Krimpenerwaard gebaseerd op hoogtemetingen uit de periode 1946-1972 en het AHN (naar Massop, pers. mededeling)

Naam	Omschrijving	Bodemcode	Gt	aantal (n)	daling (mm/jr)	st. dev (mm/jr)
koopveengrond	bosveen	hVb	II	6069	4.6	4.6
koopveengrond	zeggeveen	hVc	II	4144	4.8	4.2
weideveen	bosveen	pVb	II	3061	3.6	8.6
waardeveen	kleilaag op bosveen	kVb	II	544	1.0	17.2
drechtvaag	rivierklei op veen	Rv01C	II	849	3.0	12.8
liedeerd	zeeklei op veen	pMv81	II	310	3.0	16.0
drechtvaag	zeeklei op veen	dMv41C	II/III	113	3.8	5.4
drechtvaag	zeeklei op veen	eMv61C	II	128	1.8	3.4

Op vergelijkbare wijze is een analyse voor het hele westelijke veengebied uitgevoerd (bijlage 1). Omdat er meer dan 100.000 waarnemingen beschikbaar zijn, kon een opdeling worden gemaakt naar profielopbouw, veensoort en hydrologie (kwel of wegzijging).

Figuur 2.11 laat de gemiddelde maaiveldddaling zien vanaf het moment waarop de meting heeft plaatsgevonden tot 2004. De werkelijke maaiveldddaling in het jaar waarin de eerste meting heeft plaatsgevonden zal minder groot zijn geweest omdat de daling in de laatste decennia groter dan het gemiddelde is geweest. Vanaf 1973 neemt de gemiddelde maaiveldddaling sterk toe. Dat hangt samen met de grote peilverlagingen die rond die tijd in de veengebieden zijn doorgevoerd. Er zijn geen metingen verricht na 1983, maar de verwachting is dat de toename van snelheid waarmee het maaiveld daalt daarna vrij snel afvlakt.



Figuur 2.11 Gemiddelde (mediaan) maaiveldddaling voor verschillende groepen veengronden vanaf het jaar dat de hoogte van het maaiveld is gemeten tot 2004 als $n \geq 100$. Het 4-jarig gemiddelde is het gewogen gemiddelde van alle meetpunten uit voorafgaande vier jaar

In de periode 1944-1973 zijn golfbewegingen in de gemiddelde maaiveldddaling zichtbaar. De verklaring daarvoor is dat de metingen in natte jaren het veen was opgezwollen waardoor een relatief hoog maaiveld is gemeten. Een dergelijk effect kan nog enige tijd na-ijlen. Het verschil met de huidige maaiveldhoogte is dan relatief groot. Dat geldt dan ook voor de gemiddelde maaiveldddaling. Metingen die in droge jaren zijn verricht (o.a. 1959), laten het omgekeerde zien; het maaiveld was door indroging (deels reversibel) gedaald waardoor een lage maaiveldhoogte is gemeten. Het verschil met de huidige maaiveldhoogte is daardoor relatief klein.

De veengronden met een kleidek laten op een wat lager niveau een vergelijkbaar verloop zien (Figuur 2.11). Door de toename van de drooglegging sinds 1973 is de maaiveldddaling van deze gronden ook sterk toegenomen, vaak in de orde van grootte van die van de veengronden zonder kleidek. Behalve oxidatie van de veenondergrond zal de klink sterk zijn toegenomen. De klink is daarna weer afgenomen.

In Tabel 2.3 staan de gemiddelde en mediane maaiveldddalingen van de verschillende veengronden. De getallen uit de tabel zijn gebaseerd op alle waarnemingen uit de periode 1944-1973. In die periode was de drooglegging gering³. Er zijn tienduizenden hoogtemetingen verricht. Mediane waarden geven hier een beter beeld dan de gemiddelde daling omdat de meetpunten met een grote daling niet onevenredig zwaar meetellen. De belangrijkste conclusies uit Tabel 2.3 zijn:

- de maaiveldddaling is kleiner naarmate de dikte van de kleilaag toeneemt
- de maaiveldddaling in kwelsituaties is kleiner is dan bij wegzijging
- de maaiveldddaling in oligotrofe veengebieden verloopt sneller dan in meso- en eutrofe veengebieden.

Tabel 2.3 Gemiddelde maaiveldaling voor verschillende indelingen in veensoorten sinds de periode 1944-1973

profiel	hydrologie	trofie	aantal waarnemingen (-)	gemiddelde daling (mm/jr)	mediane daling (mm/jr)	standaard dev. (mm/jr)
veen	kwel	meso/eutroof	9462	4,3	3,6	3,3
veen	wegzijging	meso/eutroof	20821	5,1	4,8	3,0
veen	wegzijging	oligotroof	1281	5,5	5,1	3,3
veen met kleidek	kwel	meso/eutroof	16517	3,6	3,0	2,9
veen met kleidek	wegzijging	meso/eutroof	15294	4,5	3,9	3,2
veen met kleidek	wegzijging	oligotroof	1501	4,8	4,8	2,8
klei met veenondergrond	kwel	onbekend	7315	3,6	2,8	3,1
klei met veenondergrond	wegzijging	onbekend	6710	4,3	3,5	3,5

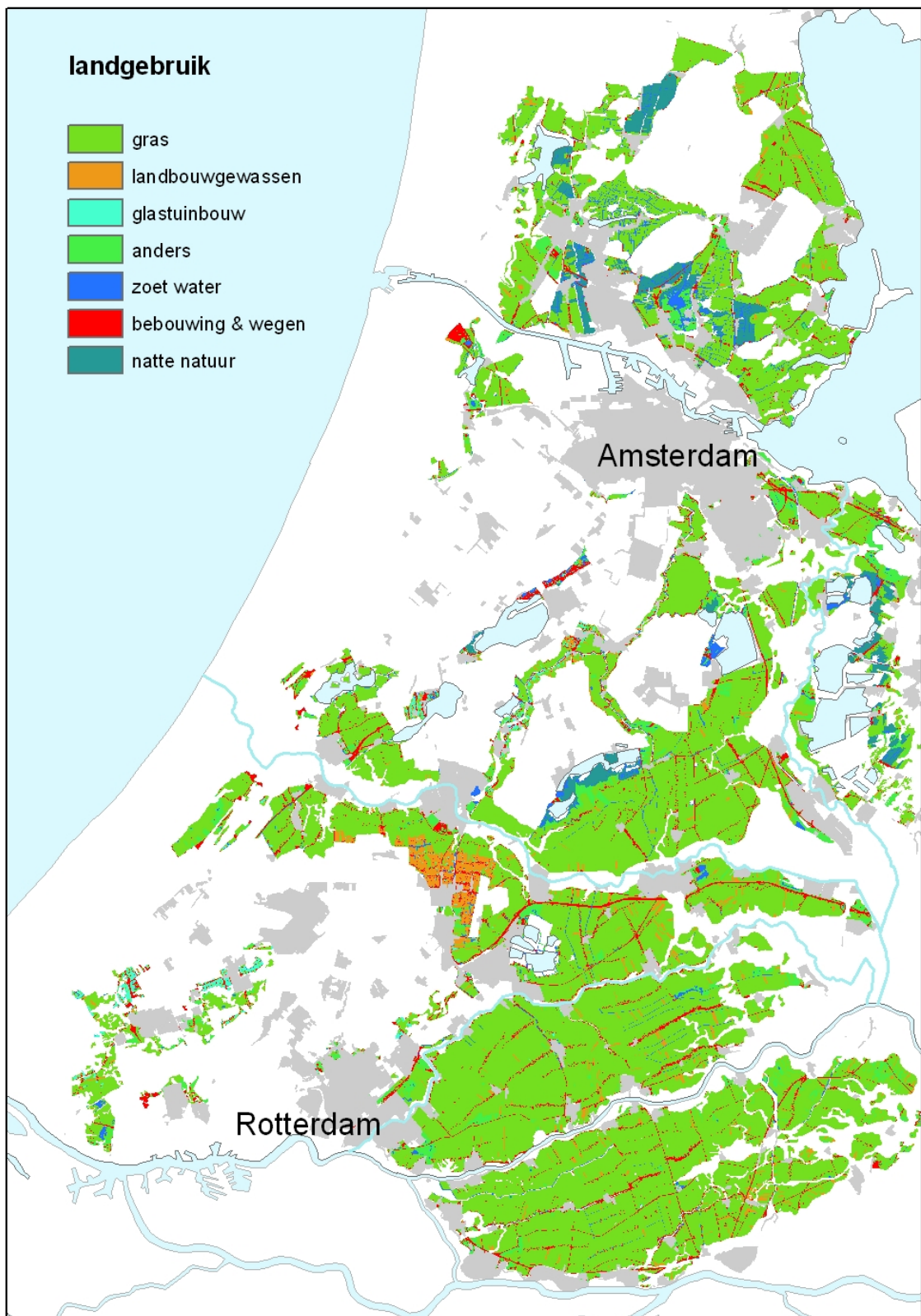
Een belangrijk onderzoek naar maaiveldaling in het veenweidegebied wordt sinds 1966 uitgevoerd op het Praktijkcentrum Zegveld dat onderdeel is van de Animal Sciences Group van Wageningen UR. De maaiveldaling tussen 1966 en 2003 bedroeg voor een diep ontwaterd perceel 12 mm en voor een ondiep ontwaterd perceel 6 mm per jaar. Ook het effect van een kleilaag is vastgesteld. Uit de meetresultaten zijn algemeen geldende relaties tussen maaiveldaling enerzijds en grondwaterstand of drooglegging anderzijds afgeleid (Van den Akker et al., 2008). Deze relaties zijn bij de modelstudies in Zegveld en Linschoten toegepast. In hoofdstuk 3 worden ze als uitgangspunt gebruikt voor de extrapolatieberekeningen van de maaiveldaling.

2.4 Landgebruik

In Figuur 2.12 staat het huidige landgebruik in de veengebieden volgens LGN5 (CGI-Wageningen UR, 2007). Een groot gedeelte is als grasland in gebruik, maar bij onder andere Amsterdam en Rotterdam is sinds de opname van de bodemkaart (20-30 jaar geleden) veel stedelijke bebouwing in het veengebied ontstaan. Ook bij veel kleinere plaatsen is dat het geval. In totaal is meer dan 7400 ha inmiddels bebouwd (Tabel 2.4). Samen met de andere bebouwing, zoet water en infrastructuur is inmiddels bijna 15% van het veengebied vergraven. Van bos en gras in bebouwd gebied is niet bekend in hoeverre het oorspronkelijke bodemprofiel is verstoord.

Tabel 2.4 Oppervlakte van landgebruik in het veengebied in West-Nederland volgens LGN5 (CGI -Wageningen UR, 2007)

	veen (ha)	veen met kleidek (ha)	klei-op-veen (ha)	totaal (ha)	(%)
gras	35210	40235	21642	97087	73.3
overige landbouwgewassen	1814	1021	836	3671	2.8
glastuinbouw	482	49	50	581	0.4
boomgaard	20	120	349	489	0.4
bos	740	491	562	1793	1.4
zoet water	2541	904	456	3901	2.9
stedelijk bebouwd	3124	2218	2064	7406	5.6
bebouwing buitengebied	1127	845	648	2620	2.0
hoofdwegen	1112	1420	1301	3833	2.9
begroeiing in bebouwd gebied	2059	1549	1762	5371	4.1
moeras, moerasbos en riet	1711	31	20	1761	1.3
natuurlijk grasland (veenweide vgl's Natuurmonumenten)	2001	439	0	2440	1.8
open natuur	810	332	274	1416	1.1
totaal	52751	49653	29964	132368	100

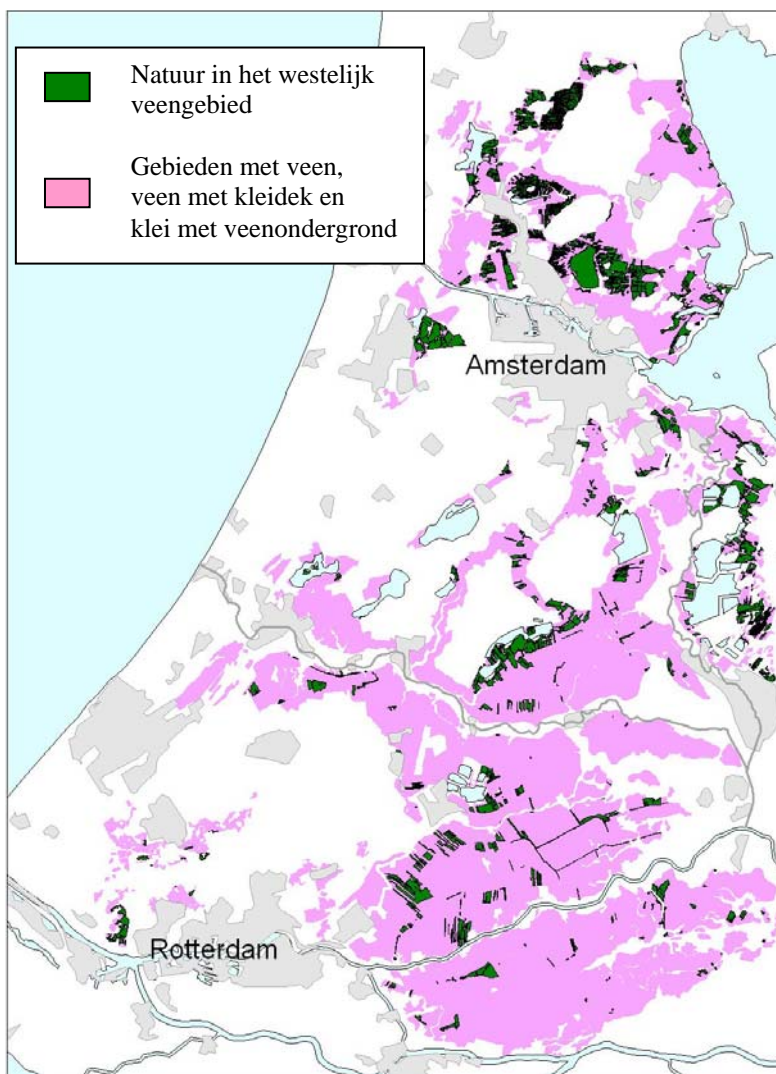


Figuur 2.12 Landgebruik in het veengebied

Tabel 2.5 Verdeling van natuurgebied over verschillende bodemtypen

	veen (ha)	veen met kleidek (ha)	klei-op-veen (ha)	totaal (ha)
eigendommen natuurorganisaties	9161	3496	775	13432

Een aanzienlijk gedeelte van het veengebied is natuur (Tabel 2.5 en Figuur 2.13). De eigendommen van de grote natuurorganisaties, Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten, Provinciale Landschappen) beslaan meer dan de oppervlaktes 'moeras en open 'die in Tabel 2.4 worden genoemd Naast bos en moeras beheren de natuurorganisaties namelijk ook grote oppervlaktes extensief grasland. De meeste natuur komt voor in veengronden zonder kleidek. Deze gronden zijn het gevoeligst voor maaiveldddaling, maar de natuurstatus biedt een goede waarborg voor natte omstandigheden en dus weinig maaiveldddaling. Grote, aaneengesloten natuurgebieden liggen rond de Vechtplassen, de Nieuwkoopse plassen en ten noorden van het IJ bij de polder Oostzaan en het Ilpenerveld.



Figuur 2.13 Natuurgebieden in het westelijk veengebied

2.5 Waterhuishouding

In het lage gedeelte van West-Nederland hebben de verschillende boezemsystemen constante peilen van rond de 0,5 m - NAP. De polders slaan overtollig water uit op de boezemwateren en onttrekken er in droge periode vaak water uit om tekorten op te vullen. Op hun beurt wateren de boezems af op de grote rivieren of de zee en worden de peilen in droge perioden op niveau gehouden met water dat direct of indirect afkomstig is uit de Rijn.

De peilen in de polders zijn soms meters dieper dan het boezempeil. Door de ongelijke daling van het maaiveld is het aantal peileenheden in de loop der jaren steeds verder toegenomen. Binnen de veengebieden en kleigronden met een veenondergrond uit Figuur 2.4 bedraagt het aantal verschillende bemalingseenheden (peileenheden) meer dan 1700. Veel van die peileenheden zijn met behulp van stuwtjes en gemaaltjes opgesplitst in meerdere delen die elk een afwijkend peil hebben. Het peil in de peileenheden wordt in de regel door de waterschappen vastgesteld. Maar daarnaast is er ook een groot aantal kleinere peileenheden waarvan het peil door particulieren wordt geregeld. Enerzijds gaat het om onderbemalingen om een grotere drooglegging te bewerkstelligen en anderzijds om natuurgebieden of huiskavels om juist een hoger peil te realiseren. Een hoog peil rond bebouwing moet voorkomen dat funderingen worden aangetast. De ligging, en zeker de peilen, van onderbemalingen zijn lang niet altijd bekend bij de waterschappen.

De peilbesluiten van de waterschappen worden regelmatig aangepast aan het dalende maaiveld. In gebieden met een grote maaiveldaling kan binnen de 10-15 jaar weer een aanpassing nodig zijn. De veengronden zonder kleidek hebben in landbouwgebieden normaliter een drooglegging van 40-60 cm. De veengronden met een kleidek zijn wat minder gedaald en hebben daardoor een wat grotere drooglegging (50-70 cm). En de kleigronden met veen in de ondergrond dalen nog wat minder snel en hebben vaak een drooglegging van 60-80 cm.

3 Oorzaken van maaiveldddaling en effecten van ingrepen

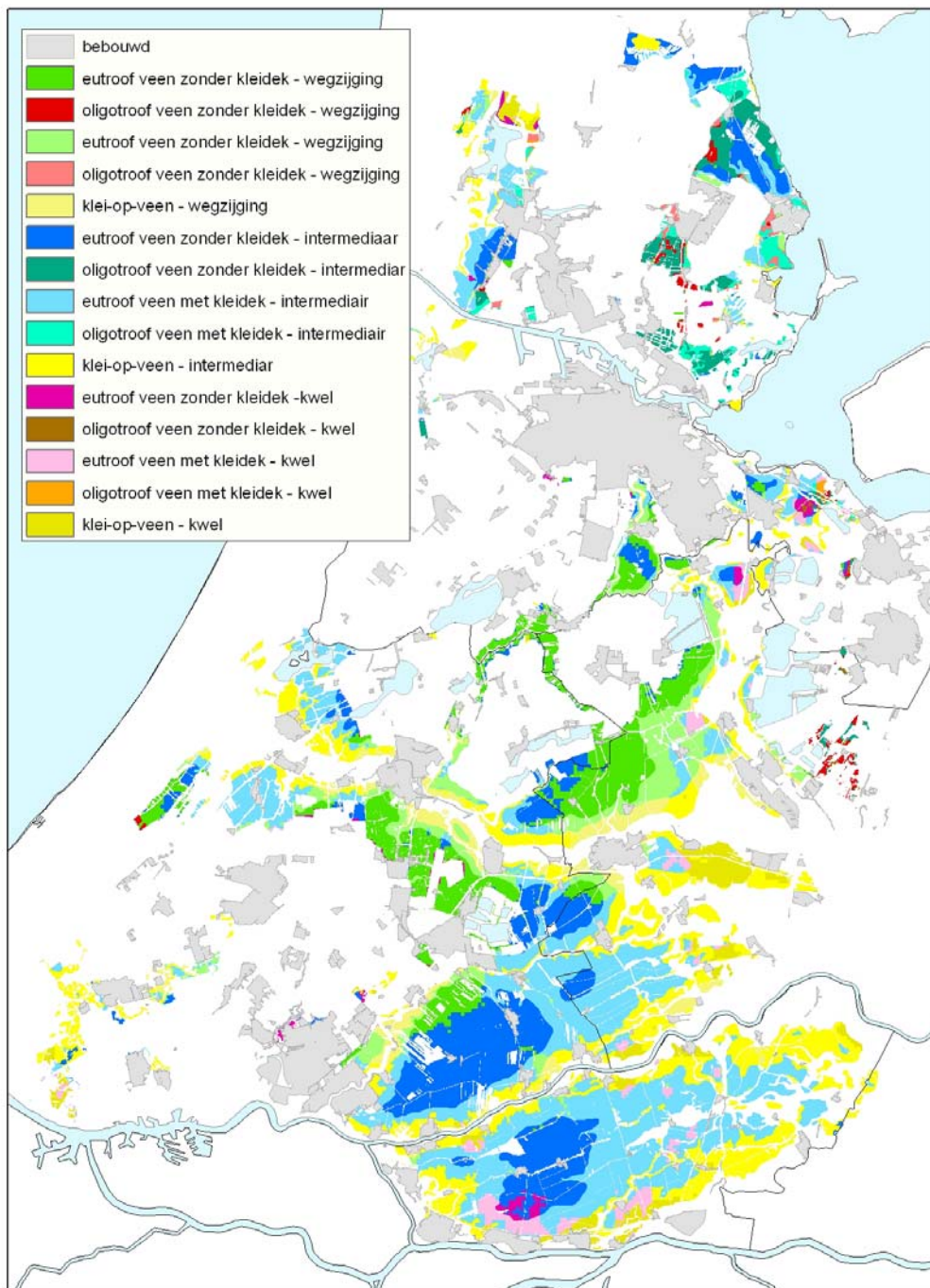
3.1 Inleiding

Een belangrijk deel van dit rapport gaat over de maaiveldddaling van veengronden met verschillende waterpeilstrategieën en met het veranderende klimaat. In de volgende paragrafen wordt eerst besproken welke vergelijkingen worden gebruikt bij het berekenen van de maaiveldddaling. De daling hangt vooral sterk samen met de grondwaterstand die op haar beurt weer samenhangt met de drooglegging. Hier zijn bestaande relaties tussen drooglegging en maaiveldddaling gebruikt. Aanvullende gegevens maken het mogelijk om ook rekening te houden met bodemopbouw, veensoort en de hydrologische omstandigheden (Figuur 3.1).

De huidige drooglegging en de daaraan gerelateerde maaiveldddaling wordt als referentie gebruikt. Vervolgens worden verschillende waterpeilstrategieën toegepast. Voorbeelden daarvan zijn het opzetten van het polderpeil en het toepassen van één peil in een groter gebied. Bij een volgende reeks berekeningen worden de peilstrategieën uitgebreid met onderwaterdrains. Onderwaterdrains zorgen in de zomer voor een hogere en in de winter voor een lagere grondwaterstand dan onder dezelfde omstandigheden zonder drains het geval zou zijn (Jansen et al., 2007).

De gemiddelde jaarlijkse maaiveldddalingen worden ook gebruikt om een schatting te geven van de maaiveldddaling in de jaren 2050 en 2100. Daarbij wordt rekening gehouden met de dikte van het veen en de verandering van het klimaat.

Er komt ook een aantal nevenaspecten aan bod die direct of indirect met de maaiveldddaling samenhangen. Hierbij gaat het om het vrijkomen van broeikasgassen, de waterkwaliteit, de watervraag en veranderingen van het landgebruik.



Figuur 3.1 Verschillen in bodemopbouw, veensoort en hydrologische omstandigheden die van invloed zijn op de maaiveldaling

3.2 Drooglegging

Bij de berekening van de maaiveldaling rond Zegveld en Linschoten (Jansen et al., 2007) is rekening gehouden met de bodemopbouw (wel of geen kleidek), en de dikte van het kleidek en de veenlaag die door interpolatie uit overgangen tussen bodemeenheden zijn berekend. De maaiveldaling is in die studies afgeleid uit

3.2.1 Veenprofiel

De relaties uit Figuur 3.2 tussen drooglegging en maaiveldddaling die voor de analyse gebruikt worden gelden voor respectievelijk veengronden zonder en veengronden met een kleidek. Het kleidek mag een dikte hebben van hooguit 40 cm. Voor veengronden met een dikker kleidek is geen relatie beschikbaar, maar bij grondwaterstanden die dieper zijn dan 40 cm zal daar wel veen oxideren. Voor dergelijke veenbodems is daarom door extrapolatie een relatie toegevoegd (Tabel 3.1). In feite zijn dit kleigronden met een veenondergrond.

Tabel 3.1 Relaties tussen maaiveldddaling en drooglegging (maaiveld minus slootpeil)

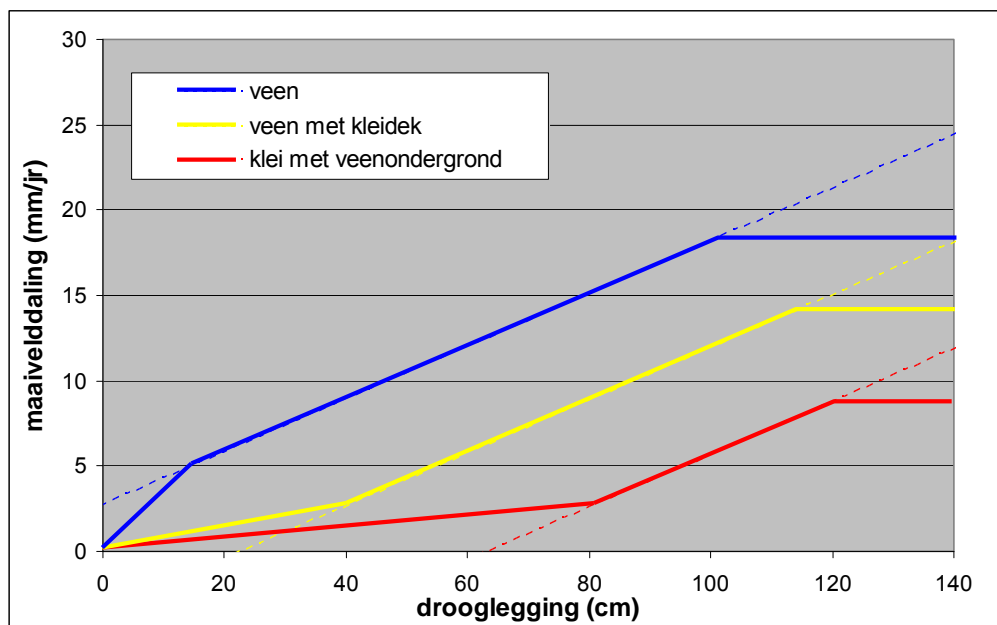
Veenprofiel	Dikte kleidek (cm)	Relatie
Veen	0 (- 15)	$Y = 15,455X + 2,73$ *)
Veen met kleidek	15 - 40	$Y = 15,455X - 3,53$ voor $X > 0,23$
Klei met veenondergrond	40 - 80	$Y = 15,455X - 9,79$ voor $X > 0,63$

*) Y = maaiveldddaling (mm/jr)

X = drooglegging (m)

Omdat de lineaire relaties niet geschikt zijn voor kleine en grote droogleggingen zijn de relaties ten behoeve van de extrapolatieberekeningen aangepast. Bij veengronden zonder kleidek wordt de maaiveldddaling hiervoor bij droogleggingen groter dan 100 cm afgetopt. Voor de veengronden met een dun kleidek gebeurt dat bij 110 cm en bij kleigronden met een veenondergrond op 120 cm. Voor droogleggingen van 0-15 cm is de relatie voor veen zonder kleidek aangepast volgens Figuur 3.3 ⁴. Bij de veengronden met een kleidek en klei met een veenondergrond worden met de relaties bij kleinere droogleggingen geen maaiveldddalingen berekend. In de praktijk treedt maaiveldddaling wel op. Om daar bij de extrapolatieberekeningen aan tegemoet te komen is voor beide relaties een geleidelijk verloop gemaakt in maaiveldddaling tussen een drooglegging van 0 cm en de grootste dikte van de afdekkende kleilaag (40 cm voor veen met een kleidek en 80 cm voor klei met een veenondergrond). De maaiveldddalingen in deze trajecten kunnen gezien worden als overgang van anaerobe naar aerobe veenafbraak. Met klink is niet expliciet rekening gehouden omdat dit proces eindig is.

⁴ In de detailstudies Zegveld en Linschoten is om dezelfde reden de relatie maaiveldddaling - GLG aangepast voor standen tussen 0 en 40 cm. In beide gevallen betreft maaiveldddalingen tussen 0 en 5 mm/jr



Figuur 3.3 Relaties drooglegging - maaivelddaling met aanpassingen zodat met de relaties bij een drooglegging van 0 cm een maaivelddaling van 0 mm/jr wordt berekend (verdere toelichting: zie tekst)

Tabel 3.2 Indeling van de veengronden en veengronden met een kleidek

Naam en Omschrijving	Bodemcode	Indeling
Vlierveengrond zonder zand-zavel -of kleidek	Vb Vc Vd Vk Vo Vr Vp Vs	1 *)
Madeveengrond kleiarne bovengrond (15-50 cm)	aVp	1
Vlietveengrond niet gerijpt materiaal binnen 20 cm	zVp	1
Koopveengrond kleiige bovengrond (15-50 cm)	hVc hVc hVd hVk hVr hVz h	1
Waardveengrond met zavel- of kleidek zonder minerale eerdlaag en/of humusrijke bovengrond (>15 cm)	kVb kVc kVd kVk kVr kVz kV	2
Weideveengrond met zavel- of kleidek waarin minerale eerdlaag of humusrijke bovengrond (>15 cm)	pVb pVc pVd pVk pVr pVz p	2
Andere veengronden	Moeras, AAP, AP, hEV	1
Rivierklei met moerig materiaal beginnend tusse 40 en 80 cm	Rv01C pRv81	3
Zeeklei met moerig materiaal beginnend tusse 40 en 80 cm	Mv41C Mv61C Mv81A pMv5	3

*) 1 veen 2 veen met kleidek 3 klei met veenondergrond

In Tabel 3.2 staat welke bodemtypen van de bodemkaart 1 : 50.000 bij de berekeningen tot de veengronden, de veengronden met een kleidek en de kleigronden met een veenondergrond worden gerekend.

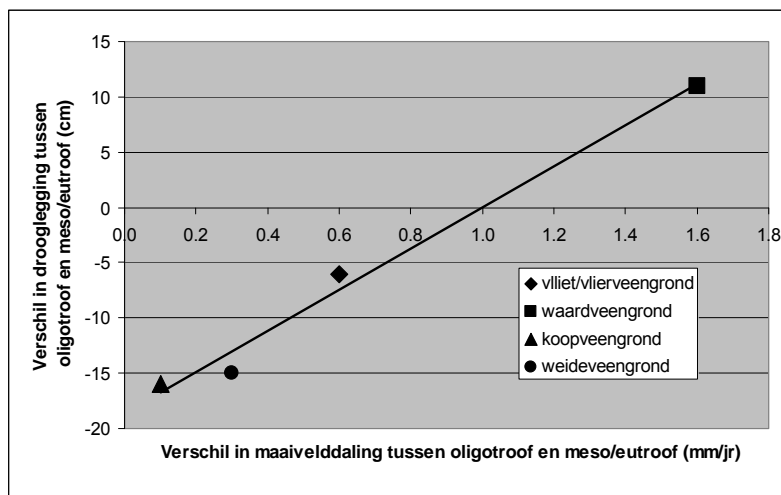
3.2.2 Veensoort

Oligotroof veen wordt door micro-organismen langzamer afgebroken dan mesotroof of eutroof veen, maar daar staat tegenover dat oligotroof veen een grotere porositeit heeft. Bij gelijke volumes bevat oligotroof veen minder organische stof en minder minerale delen dan het eutroof veen. Per saldo blijkt uit Tabel 2.3 dat de maaivelddaling in oligotrofe veengebieden met wegzijging wat sneller verloopt dan in meso-/eutrofe veengebieden met wegzijging⁵. Er kon niet worden aangetoond dat verschillen in drooglegging het verschil in maaivelddaling heeft veroorzaakt. Voor

⁵ In alle gevallen zijn alleen plekken met wegzijging gebruikt omdat oligotroof veen normaliter niet in kwelsituaties is ontstaan. Door bijvoorbeeld zeespiegelstijging kan dat nu wel kwel optreden, maar dat betreft vooralsnog nog weinig plekken.

een verdere analyse zijn de vele duizenden gegevens verdeeld over een beperkt aantal strata (groepen). Gekozen is voor de belangrijkste bodemtypen met veen die op de bodemkaart 1 : 50.000 worden onderscheiden. Van iedere groep zijn voor de oligotrofe veengronden en van de meso-/eutrofe bodemtypen elk de mediane maaiveldddaling tussen 1944/1973 en 2004 en de drooglegging berekend.

De verschillen tussen de de oligotrofe en meso-/eutrofe variant van ieder bodemtype zijn in Figuur 3.4 tegen elkaar uitgezet. Volgens deze figuur zijn bijvoorbeeld de oligotrofe waardveengronden 1,6 mm/jr sneller gedaald dan de meso-/eutrofe waardveengronden, en dat bij een drooglegging die 11 cm groter was dan van de meso-/eutrofe waardveengronden. Bij de andere bodemtypen is de daling van de oligotrofe variant ook het snelst verlopen, maar daar is de drooglegging juist kleiner dan van de meso-/eutrofe variant. Het verband tussen de verschillen laat zien dat als er geen verschil in drooglegging is, het oligotroof veen 1,0 mm/jaar sneller daalt dan meso-/eutroof veen.



Figuur 3.4 Verband tussen de verschillen in maaiveldddaling en drooglegging tussen oligotroof veen en meso-/eutroof veen voor verschillende groepen veengronden

Voor de drooglegging zijn actuele waarden gebruikt omdat die voor de periode 1944-1973 niet bekend zijn, maar aangenomen mag worden dat de drooglegging gemiddeld genomen evenredig kleiner was in vergelijking met de huidige drooglegging. De verschillen op de y-as in Figuur 3.4 zouden met de vroegere drooglegging kleiner zijn, maar het snijpunt met de x-as, bij 1 mm/jr, zou hetzelfde zijn.

De relaties uit Figuur 3.2 zijn gebaseerd op metingen in oligotroof, mesotroof en eutroof veen (Van den Akker, pers. mededeling). Om de extrapolatieberekeningen te nuanceren voor het verschil in dalingssnelheid tussen oligotroof veen en mesotroof/eutroof veen wordt de snelheid voor oligotroof veen in de berekeningen verhoogd met 0,5 mm/jr (de helft van het totale verschil van 1,0 mm/jr) en die voor de relatie voor mesotroof en eutroof veen verlaagd met 0,5 mm/jr.

In Tabel 3.2 staat welke bodemtypen van de bodemkaart 1 : 50.000 bij de berekeningen tot de oligotrofe en tot de mesotrofe/eutrofe variant van het betreffende bodemtype worden gerekend.

Er moet rekening mee worden gehouden dat het (herkenbare) oligotrofe veen al voor een belangrijk deel zal zijn geoxideerd omdat het ontstaan is op mesotroof en eutroof veen.

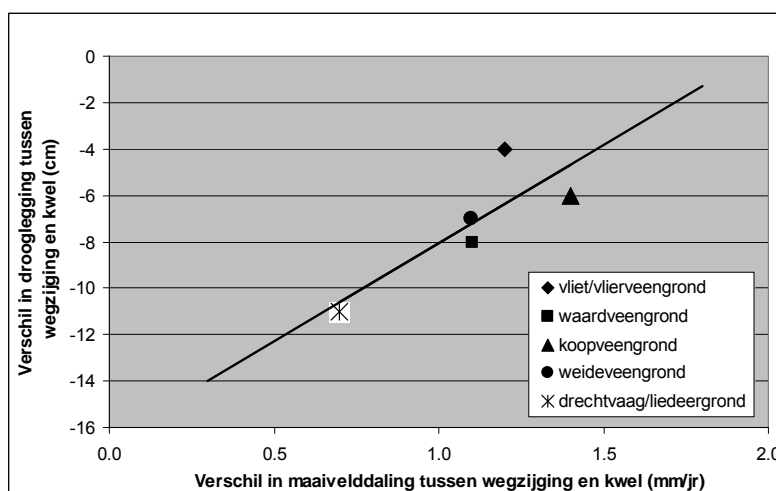
Tabel 3.3 Indeling van de veengronden naar voedselrijkdom

Naam en Omschrijving	Bodemcode	
	meso-/eutroof veen	oligotroof veen
Vlieerveengrond zonder zand-zavel -of kleidek	Vb Vc Vd Vk Vo Vr	Vp Vs
Madeveengrond kleiarme bovengrond (15-50 cm)		aVp
Vlietveengrond niet gerijpt materiaal binnen 20 cm		zVp
Koopveengrond kleiige bovengrond (15-50 cm)	hVc hVc hVd hVk hVr hVz	hVs
Waardveengrond met zavel- of kleidek zonder minerale eerdlaag en/of humusrijke bovengrond (>15 cm)	kVb kVc kVd kVk kVr kVz	kVs
Weideveengrond met zavel- of kleidek waarin minerale eerdlaag of humusrijke bovengrond (>15 cm)	pVb pVc pVd pVk pVr pVz	pVs
Andere veengronden	Moeras, AAP, AP, hEV	

3.2.3 Kwel en wegzijging

Tabel 2.3 laat zien dat de maaiveldddaling in wegzijgingsituaties groter is dan bij kwel. De verschillen worden kleiner naarmate het kleidek dikker is. In Figuur 3.5 zijn conform Figuur 3.4 van de belangrijkste bodemtypen met veen de verschillen in maaiveldddaling bij wegzijging en kwel uitgezet tegen de verschillen in drooglegging. Volgens het figuur zijn bijvoorbeeld de waardveengronden met wegzijging 1,1 mm/jr sneller gedaald dan bij kwel terwijl de drooglegging juist 8 cm kleiner is.

Het is gezien de schaal van deze studie niet haalbaar om voor verschillende situaties gebiedsdekkende kwelfluxen te kunnen bepalen. Daarom zijn aan de hand van een berekende kwelkaart voor West-Nederland (Griffioen et al., 2002) duidelijke kwel- en wegzijgingsgebieden en een intermediaire klasse onderscheiden. In de berekeningen wordt de drooglegging aangepast volgens Tabel 3.4. De grootte van de aanpassing is gebaseerd op de uitkomst van Figuur 2.1 en de kalibratie in pilotgebied Zegveld (Bijlage 2).



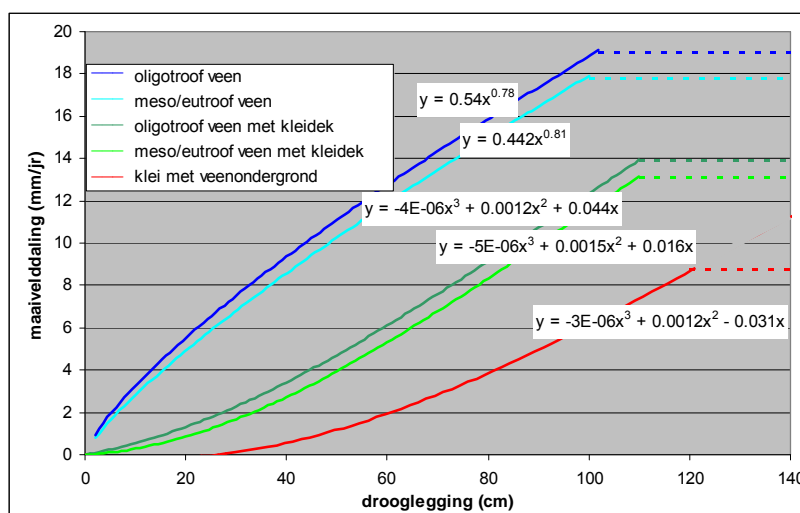
Figuur 3.5 Verband tussen de verschillen in ontwatering en maaiveldddaling bij kwel en wegzijging voor verschillende groepen veengronden

Tabel 3.4 Aanpassing van de drooglegging in kwel- en wegzijgingsgebieden

Flux	Aanpassing drooglegging
> 0,5 mm/etm (kwel)	-10 cm
< 0,5 en >-0,5 (intermediair)	- 4 cm
> -0,5 (wegzijging)	+ 2 cm

3.2.4 Toegepaste relaties drooglegging - maaiveldaling

De relaties uit Figuur 3.3 zijn, uitgebreid met het onderscheid tussen oligotroof en meso-/eutroof veen, omgezet in niet-lineaire relaties. De nieuwe relaties staan in Figuur 3.6. Voor de kleigronden met een veenondergrond geldt dat de drooglegging minimaal 28 cm moet zijn omdat bij kleinere droogleggingen negatieve dalingen zouden worden berekend. Voordat de vergelijkingen worden toegepast wordt de drooglegging aangepast voor de kwelklasse (Tabel 3.4). De relaties kunnen worden toegepast in de gebieden die in Figuur 3.1 staan.



Figuur 3.6 Relaties maaiveldaling-drooglegging voor verschillende veensoorten

3.2.5 Onderwaterdrains en waterkwantiteit

Als in de zomer de som van de gewasverdamping en wegzijging groter is dan som van de neerslag en de infiltratie vanuit de sloten, dan daalt de grondwaterstand en ontstaan holle grondwaterspiegels. De grondwaterstand kan midden in de percelen dan decimeters onder het slootpeil uitkomen, waardoor een dikke laag veen aan zuurstof wordt blootgesteld en daardoor wordt geoxideerd, met als gevolg dat het maaiveld daalt. De toepassing van onderwaterdrains is een mogelijke oplossing om maaiveldaling in veenweidegebieden te vertragen. Het betreft echter een nieuwe techniek waar nog betrekkelijk weinig over bekend is.

Onderwaterdrains zijn in feite gewone drainbuizen, maar ze worden tien tot twintig centimeter onder het slootpeil aangelegd, op een onderlinge afstand van vier tot zes meter dwars op de perceelsrichting. Via de drains kan het slootwater in droge periodes dan overall in het veenweideperceel goed infiltreren. Daarmee wordt

voorkomen dat het grondwater in het midden van de percelen diep onder het slootpeil wegzakt en de maaiveld daling fors toeneemt. Een verminderde maaiveld daling heeft ook een vermindering van de emissie van CO₂ en N₂O tot gevolg.

Een andere effect van onderwaterdrains is dat ze in natte perioden drainerend werken. Daardoor wordt verhinderd dat het grondwater te hoog wordt. De grond blijft droger en de draagkracht neemt toe. Voor de melkveehouderij levert dit een belangrijke toename van de bedrijfszekerheid op, omdat het land eerder kan worden bereiden, de koeien eerder en langer op het land kunnen en berijding- en vertrappingschade wordt beperkt. Daarnaast wordt er minder water - met daarin eventueel mest - over het maaiveld naar de greppels en sloten afgevoerd.

De verbeterde drainage biedt ook de mogelijkheid om het slootpeil te verhogen, waardoor de effectiviteit van onderwaterdrains om de maaiveld daling en de CO₂- en N₂O-emissie te beperken verder toeneemt. Een tien centimeter hoger slootpeil in combinatie met toepassing van onderwaterdrains lijkt een realistisch compromis. Een praktijkproef met onderwaterdrains op proefboerderij Zegveld (Hoving et al., 2006, www.waarheenmethetveen.nl) gaf nog geen uitsluitsel over de afname van de maaiveld daling omdat die niet direct gemeten kon worden door het trage verloop ervan en de onnauwkeurigheid als gevolg van zwel en krimp.

Het toepassen van onderwaterdrains heeft ook nadelen. Er moet extra water worden ingelaten en afgevoerd en er zijn nog discussies gaande over het effect van onderwaterdrains op de waterkwaliteit en over het effect van het meer mobiele watersysteem op de zandvoorraad in de bodem. En er zijn natuurlijk de nodige kosten voor aanleg en onderhoud aan verbonden.

De extra aan- en afvoer van water hangt samen met de buffercapaciteit van het gebied die door de toepassing van onderwaterdrains afneemt. In een modelstudie, die eveneens in het kader van het project 'Waarheen met het Veen?' heeft plaatsgevonden (Jansen et al., 2007), wordt de extra inlaat van oppervlaktewater ingeschat op 10%. Bij een kleinere drooglegging en een kleinere peilfluctuatie neemt dit percentage verder toe. Voor de provincie Zuid-Holland en de waterschappen in het westelijk veenweidegebied was dit aanleiding om daar extra modelonderzoek naar te laten doen. Een conclusie uit dat onderzoek (Jansen et al., 2009) is dat er scenario's zijn met onderwaterdrains in combinatie met een hoger slootpeil die geen extra inlaatwater vergen, maar dat die als nadeel hebben dat lang achtereen op volle capaciteit water moet worden ingelaten. Vaak is dat dan het geval in droge perioden, waarin inlaatwater mogelijk beperkt beschikbaar is. Scenario's waarvoor dit geldt hebben een flexibel peilbeheer of hebben extra oppervlaktewater.

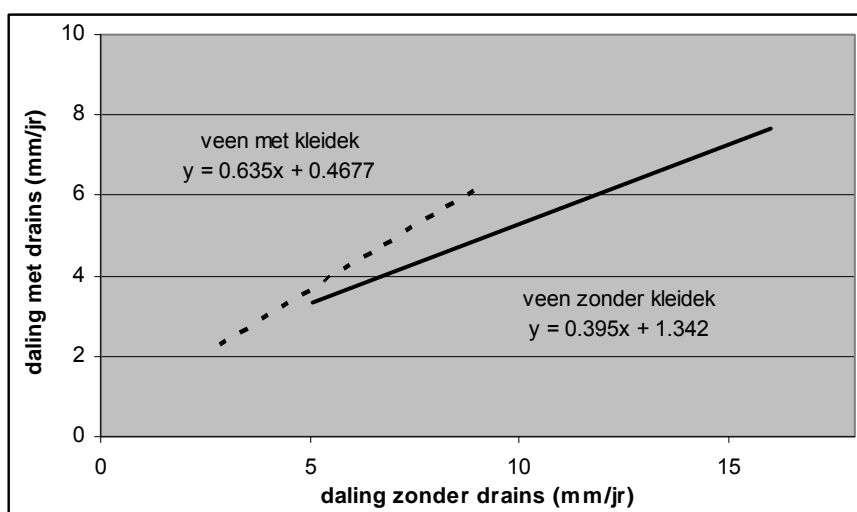
Dynamisch peilbeheer - waarbij rekening wordt gehouden met de grondwaterstand en de neerslagverwachting - bleek geen meerwaarde te hebben. Zonder onderwaterdrains neemt de maaiveld daling met dit type peilbeheer wel iets af, maar dat gaat ten koste van relatief veel extra inlaatwater omdat de grondwaterstand niet altijd het optimale moment voor waterinlaat indiceert. Met onderwaterdrains is er een veel directere koppeling tussen grondwaterstand en slootpeil, maar daardoor zakt het grondwater zelden zo diep weg dat het aan het criterium voor waterinlaat voldoet.

Met een eenvoudiger vorm van dynamisch peilbeheer kan de waterinlaat wel worden beperkt, zonder dat dat ten koste gaat van de maaiveldddaling. Dat is het geval als alleen de neerslagverwachting sturend is voor de toegestane fluctuatie van het streefpeil. Als er een neerslagvrije periode op komt is mag de fluctuatie maximaal + of - 2 cm bedragen (regulier peilbeheer), maar als er binnen enkele dagen minimaal 15 mm neerslag verwacht wordt mag de fluctuatie toenemen tot + of - 10 cm (flexibel peilbeheer). In een gemiddelde zomer is dan 16% minder inlaatwater nodig dan bij uitsluitend regulier peilbeheer en 21% minder dan het eerder genoemde dynamisch peilbeheer. De afname van de maaiveldddaling van al deze scenario's liggen in dezelfde orde van grootte.

Extra oppervlaktewater dempt de verhoging van het slootpeil bij piekbuien. Uitgaande van een veelvoorkomend oppervlaktepercentage van 12% open water kan met een uitbreiding tot 26% het effect van onderwaterdrains plus een 10 cm hoger slootpeil worden opgevangen.

De monitoring van het effect van onderwaterdrains op de maaiveldddaling is enkele jaren geleden gestart. Behalve op de proefboerderij Zegveld gebeurt dat ook nog op enkele andere plaatsen. De meetperiodes zijn echter nog te kort om de gevolgen voor de maaiveldddaling in het westelijk veenweidegebied goed te kunnen kwantificeren. Daarom is hier gebruik gemaakt van uitkomsten uit de pilotstudie Zegveld en Linschoten waarin aannames voor weerstanden, diepte en onderlinge afstand voor onderwaterdrains zijn gedaan (Jansen et al., 2007a/b). In die studies zijn situaties zonder en met onderwaterdrains doorgerekend. De vergelijking van de maaiveldddalingen leverde voor veen met en veen zonder kleidek relaties op (Figuur 3.7). Bij het gebruik van deze relaties geldt de kanttekening dat andere waarden voor weerstanden, dieptes en afstanden andere verbanden opleveren. Alleen meetgegevens kunnen te zijner tijd uitsluitsel geven over de werkelijke verschillen in maaiveldddaling.

In kwelgebieden en in klei-op-veengronden zijn onderwaterdrains minder effectief. In kwelgebieden heeft de grondwaterstand al de neiging tussen de sloten op te bollen, en in klei-op-veengronden is de maaiveldddaling ook zonder onderwaterdrains al klein.



Figuur 3.7 Effect van onderwaterdrains op de maaiveldddaling volgens de pilotstudie Zegveld (Jansen et al., 2007)

3.2.6 Onderwaterdrains en gevolgen voor waterkwaliteit en broeikasgassen

Maaiveldaling treedt op als veen door micro-organismen wordt afgebroken. De afbraak van veen kan onder zuurstofloze (anaerobe) omstandigheden gebeuren, maar veruit de grootste afbraak vindt plaats onder zuurstofrijke (aerobe) omstandigheden als de grondwaterstand laag is. De stoffen die daarbij vrijkomen spoelen voor een deel uit naar grond- en oppervlaktewater of verdwijnen als gas in de atmosfeer. Bij uitspoeling van stoffen gaat het vooral om nutriënten in de vorm van verbindingen van stikstof (N) en fosfor (P) en bij emissie naar de lucht om de broeikasgassen koolzuurgas (CO₂), lachgas (N₂O) en methaan (CH₄).

Om uitspraken te kunnen doen over de hoeveelheden nutriënten en gassen die vrijkomen in het westelijk veengebied is gebruik gemaakt van een simulatiemodel dat in staat is afbraak van organische stof van veen onder verschillende omstandigheden te simuleren. Het model bestaat uit twee deelmodellen: waterhuishoudingmodel SWAP (Kroes et al., 2008) en nutriëntenmodel ANIMO (Groenendijk et al., 2005). Dit laatste model simuleert de kringlopen van organische stof, koolstof (C), stikstof (N) en fosfor (P). Er wordt rekening gehouden met onder andere het weer, de bodemopbouw, de waterhuishouding en de bemesting. Het model, dat geijkt en getoetst is aan meetgegevens van verschillende onderzoekspercelen met en zonder onderwaterdrains, werkt vanwege de complexiteit op perceelsniveau. Uit de verbanden die dit oplevert, kan daarom hooguit een globale schatting worden gemaakt van de nutriëntenuitspoeling en emissie van gassen voor het totale veenareaal in West-Nederland. Dit levert naast uitkomsten voor de actuele situatie ook inzicht in de gevolgen van vernattingsscenario's en klimaatverandering.

Met het model zijn de volgende stuurgrootheden of stuurvariabelen onderzocht: Drooglegging (slootpeil t.o.v. maaiveld). Er zijn berekeningen uitgevoerd met zeven verschillende droogleggingen van 0 tot en met 70 cm.

Onderwaterdrains. Het effect van onderwaterdrains is dat de grondwaterstand in de zomer hoger is waardoor er minder luchtzuurstof de bodem kan indringen. Dat dit in de zomer speelt is extra relevant omdat de temperaturen dan hoog zijn. Hoge temperaturen versterken de biochemische processen die verantwoordelijk zijn voor de veenafbraak. Er zijn berekeningen gedaan voor droogleggingen van 30 tot en met 70 cm.

Klimaat. De berekeningen zijn uitgevoerd met het huidige klimaat en voor het meest extreme klimaatscenario W+ dat door het KNMI voor 2050 is vastgesteld. (KNMI, 2006). Voor het huidige klimaat zijn de neerslag en verdamping van De Bilt voor de periode 1971-2001 gebruikt. Voor klimaatscenario W+ is ook een periode van 30 weerjaren doorgerekend. In vergelijking met het huidige klimaat valt er in het zomerhalfjaar 19% minder neerslag, neemt de potentiële verdamping met 15% toe en is gemiddelde temperatuur 2,8 °C hoger.

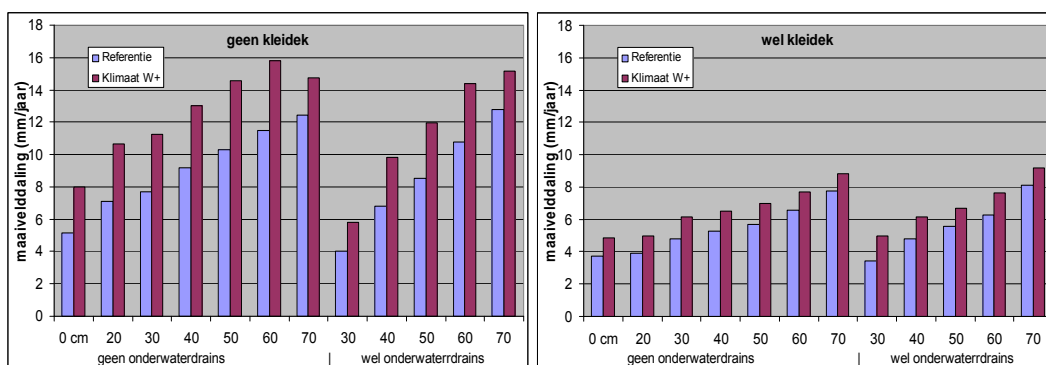
Bodem. Behalve voor veengronden zonder kleidek zijn er ook berekeningen gemaakt voor veengronden met een kleidek. Een kleidek bevat veel minder organische stof en draagt zelf niet bij aan de maaiveldaling. Daarnaast dekt het kleidek de veenbodem tot op zekere hoogte af voor binnendringen van luchtzuurstof. De

nutriëntenbelasting is niet bekeken voor de situatie met kleidek, omdat deze vergelijking minder relevant is.

Alle scenario's zijn doorgerekend voor de omstandigheden die op een proefveld in Zegveld voorkomen. Het betreft een eutroof (N- en P-rijk) bos/broekveen zonder kleidek, met lichte wegzijging. Een deel van het proefveld bevat onderwaterdrains. De scenario's met kleidek zijn voor hetzelfde proefveld doorgerekend waarbij de bovenste 33 cm in het model is vervangen door een kleidek. Op deze wijze is het effect van een kleidek bovenop een overigens vergelijkbaar veenprofiel onderzocht. De fysische en chemische karakteristieken van de klei zijn afkomstig van een klei-op-veenperceel te Linschoten. Voor alle scenario's met droogleggingen groter dan 20 cm is dezelfde bemesting gebruikt. Deze is ontleend aan de STONE-database die is opgesteld voor de evaluatie van het nationale mestbeleid voor periode 2000-2030 (Rötter et al., 2003). Voor de scenario's met een drooglegging van 20 cm is een extensieve (gehalveerde) bemesting gebruikt. Bij een drooglegging van 0 cm is geen mest toegediend. De uitkomsten van de 30 doorgerekende weerjaren zijn gemiddeld en weergegeven in staafdiagrammen.

Maaiveldddaling

Omdat in de voorgaande paragrafen de maaiveldddaling al aan bod is gekomen, worden de dalingen die met SWAP-ANIMO zijn berekend kort besproken⁶. In Figuur 3.8 staat de maaiveldddaling voor verschillende droogleggingen, zonder en met onderwaterdrains, en voor het huidige klimaat en klimaatscenario W+. Hieruit zijn relaties afgeleid tussen drooglegging en maaiveldddaling (Tabel 3.5).



Figuur 3.8 Maaiveldddaling berekend met SWAP-ANIMO voor verschillende scenario's

⁶ Onderwaterdrains zijn volgens dit model het meest effectief bij een (geringe) drooglegging van 30 cm. De maaiveldddaling is dan 3,7 mm/jaar minder groot dan zonder onderwaterdrains. Relatief gezien is dat bijna een halvering. Bij 70 cm drooglegging werken onderwaterdrains negatief. Door hun drainerende werking in de natte periode houden ze de bodem droger in plaats van natter.

Met klimaatscenario W+ neemt de veenafbraak door de drogere en warmere omstandigheden met 20-55% toe. Bij een geringe drooglegging is de toename groter dan bij een grotere drooglegging. Ongeveer de helft van de toename komt voor rekening van de temperatuurstijging en de andere helft door de drogere zomers. Bij een drooglegging van 70 cm met klimaat W+ is de maaiveldddaling relatief gering. In de simulaties is meegenomen dat gedurende de doorgerekende 30 jaar het maaiveld daalt waardoor de wegzijging af- en kweldruk toeneemt. Hierdoor is het veenprofiel met 70 cm drooglegging zoveel natter geworden dan dat met 60 cm drooglegging dat het profiel niet kan voldoen aan de door het klimaat verhoogde potentiële zuurstofvraag. Dit is voor een deel een artefact: in werkelijkheid zullen de situatie's van 60 en 70 cm naar elkaar toe groeien.

Tabel 3.5 Verband tussen drooglegging en maaiveldddaling volgens de berekeningen met het model SWAP-ANIMO

Veenprofiel	Onderwaterdrains	Klimaat	Relatie *)
veen	nee	huidig	$y = 10.67x + 4.94$
veen	ja	huidig	$y = 21.50x - 2.15$
veen met kleidek	nee	huidig	$y = 5.71x + 3.19$
veen met kleidek	ja	huidig	$y = 10.80x + 0.24$
veen	nee	W+	$y = 13.12x + 7.83^{**}$
veen	ja	W+	$y = 28.00x - 2.11^{**}$
veen met kleidek	nee	W+	$y = 5.70x + 4.38$
veen met kleidek	ja	W+	$y = 9.87x + 1.99$

*) Y= maaiveldddaling (mm/jr)

X= drooglegging (m)

***) droogleggingen 0.3-0.6 m

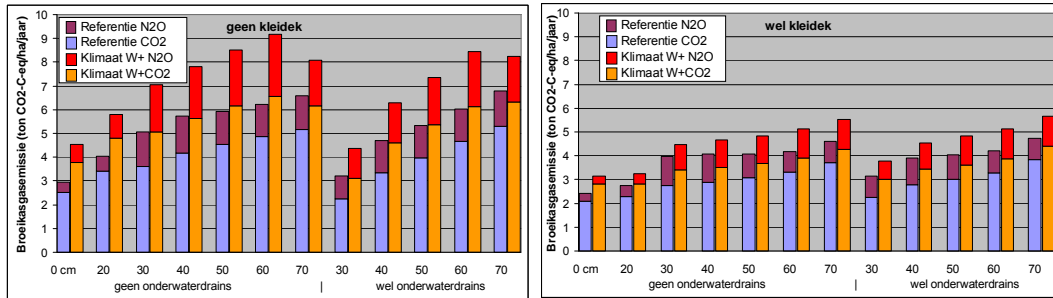
De relaties uit Tabel 3.5 verschillen enigszins van de relaties uit Tabel 3.1 die voor de maaiveldddaling worden gebruikt. Die verschillen hebben geen gevolgen voor deze verkennende studie waarin vooral naar de gevolgen van peilstrategieën en klimaatscenario's wordt gekeken. De verwachting is dat met het beschikbaar komen van meer meetgegevens en meer kennis de relaties tussen drooglegging en maaiveldddaling voor verschillende schaalniveaus verder op elkaar kunnen worden afgestemd.

Broeikasgasemissie

Figuur 3.9 toont de emissie van de broeikasgassen CO₂ en N₂O voor verschillende droogleggingen, zonder en met onderwaterdrains, en voor het huidige klimaat en klimaatscenario W+. De emissie is uitgedrukt in CO₂-C-equivalenten/ha/jaar. N₂O-N is als broeikasgas gemiddeld 119 keer sterker dan CO₂-C⁷. Methaan (CH₄) komt ook in erg natte situaties niet in grote hoeveelheden voor. Zelfs bij een drooglegging van 0 cm dringt er voldoende zuurstof in de bovenste decimeters van het profiel door om alle gevormde methaan weer te laten oxideren. Tabel 3.6 en Tabel 3.7 geven het verband tussen de drooglegging en de emissie.

De CO₂-emissie is een directe afspiegeling van de veenafbraak en dus van de maaiveldddaling. De getoonde modeluitkomsten zijn de CO₂-emissies die alleen het gevolg zijn van veenafbraak en niet van afbraak van andere organischestofbronnen als mest en gras(wortel)resten. Voor lachgas (N₂O) geldt die afspiegeling minder. Hierin zit ook het aandeel dat wordt veroorzaakt door toevoer van bemestingsstikstof en nitraat van atmosferische depositie. Voor het overige deel is de lachgasemissie sterk gebonden aan de veenafbraak. Meer afbraak betekent meer stikstofmineralisatie (omzetting van organisch N van het veen in anorganisch N) en meer nitraatvorming door nitrificatie. In de anaerobe, natte zone van het veen wordt het nitraat dat niet door het gewas is opgenomen omgezet in gasvormig-N (denitrificatie). Bij zowel nitrificatie als denitrificatie wordt N₂O gevormd.

⁷ CH₄-C is als broeikasgas 63 keer sterker dan CO₂-C.



Figuur 3.9 Emissie van broeikasgassen CO₂ en N₂O berekend met SWAP-ANIMO voor verschillende scenario's

Tabel 3.6 Verband tussen drooglegging en het broeikasgas CO₂ volgens de berekeningen met het model SWAP-ANIMO

Veenprofiel	Onderwaterdrains	Klimaat	Relatie *)
veen	nee	huidig	$y = 3.83x + 2.56$
veen	ja	huidig	$y = 7.41x + 0.21$
veen met kleidek	nee	huidig	$y = 2.30x + 1.99$
veen met kleidek	ja	huidig	$y = 3.70x + 1.19$
veen	nee	W+	$y = -3.51x^2 + 6.34x + 3.70$
veen	ja	W+	$y = -18.47x^2 + 26.36x - 3.08$
veen met kleidek	nee	W+	$y = 2.15x + 2.66$
veen met kleidek	ja	W+	$y = 3.23x + 2.06$

*) X= drooglegging (m)

Y= CO₂: CO₂-C equivalent ton/ha/jaar

Tabel 3.6 Verband tussen drooglegging en het broeikasgas N₂O volgens de berekeningen met het model SWAP-ANIMO

Veenprofiel	Onderwaterdrains	Klimaat	Relatie *)
veen	nee	huidig	$y = -3.52x^2 + 3.97x + 0.34$
veen	ja	huidig	$y = -3.03x^2 + 4.12x + 0.06$
veen met kleidek	nee	huidig	$y = -4.06x^2 + 3.68x + 0.23$
veen met kleidek	ja	huidig	$y = -3.47x^2 + 3.26x + 0.27$
veen	nee	W+	$y = -5.14x^2 + 5.98x + 0.55$
veen	ja	W+	$y = -11.51x^2 + 13.50x - 1.81$
veen met kleidek	nee	W+	$y = -1.81x^2 + 2.74x + 0.25$
veen met kleidek	ja	W+	$y = -5.40x^2 + 6.51x - 0.68$

*) X= drooglegging (m)

Y= N₂O: CO₂-C equivalent ton/ha/jaar

Figuur 3.9 toont dat bij afname van de drooglegging, cq. vernatting, de totale hoeveelheid broeikasgassen afneemt. Evenals bij maaiveldvaling, zijn onderwaterdrains bij geringere droogleggingen erg effectief vanwege de grote afname van de CO₂-emissie. Onderwaterdrains zorgen bij 30 cm drooglegging voor een reductie van bijna 2 ton/ha/jaar, wat neerkomt op een afname van 35%.

De warmere, drogere omstandigheden van het klimaatscenario bevorderen ook de emissie van broeikasgassen, omdat hun vorming en transport sterk afhangen van de temperatuur. Onderwaterdrains zijn een effectief middel om de toegenomen emissie

terug te dringen. Bij een drooglegging van 70 cm is met klimaatscenario W+ voor veengronden zonder kleidek bij zowel met als zonder onderwaterdrains het vernattende effect van de toegenomen kwel te zien. Ten opzichte van 60 cm drooglegging neemt de emissie van met name N₂O bij 70 cm drooglegging af.

Bij veen met een kleidek is broeikasgasemissie aanzienlijk kleiner dan bij veen zonder kleidek. Vernatting is iets minder effectief voor het verminderen van broeikasgassen dan voor het terugdringen van maaiveldafval. Dat komt omdat onder nattere omstandigheden de denitrificatie in een kleidek, en daarmee de N₂O-emissie, toeneemt.

Nutriëntenbelasting oppervlaktewater

In Figuur 3.10 en Figuur 3.11 staan respectievelijk de N- en de P-belasting van het slootwater door uitspoeling vanuit/-af de veenbodem, weergegeven als vrachten op jaarbasis. De uitkomsten zijn berekend voor verschillende droogleggingen, zonder en met onderwaterdrains en voor het huidige klimaat en klimaatscenario W+. Er zijn geen relaties afgeleid omdat de bijdragen van de verschillende bronnen van plaats tot plaats sterk kunnen verschillen.

De belasting van het slootwater met stikstof (N) en fosfor (P) vanuit de veenbodem is afkomstig van verschillende bronnen:

- mineralisatie van de veenbodem, vooral in het deel boven de GLG (gemiddeld-laagste-grondwaterstand);
- uitloging van de veenbodem onder de GLG waar grote hoeveelheden ammonium, fosfaat en organisch-N- en -P-verbindingen aanwezig (kunnen) zijn, in evenwicht met de veenbodem. Deze hangen samen met de ontstaansgeschiedenis van het veen en duizenden jaren van langzame, anaerobe veenmineralisatie;
- bemesting;
- atmosferische depositie;
- N- en P-rijke kwel vanuit het diepere grondwater;
- infiltratie van slootwater.

In de figuren zijn de bijdragen van de bronnen 'mest', 'veenbodem' (mineralisatie en uitloging) en 'randen' weergegeven. De laatste bron staat voor het totaal van de bijdragen aan de randen van de veenbodem: atmosferische depositie, kwel en infiltratie. Bij een drooglegging van 0 cm is geen mest toegediend; bij een drooglegging van 20 cm ongeveer de helft van de hoeveelheid bij de overige droogleggingen.

Het effect van drooglegging zonder onderwaterdrains is samen te vatten in drie belangrijke trends:

- 1) geringere drooglegging leidt tot meer uit- en afspoeling van meststoffen: bemesting en natte veenweiden verhouden zich slecht als het gaat om belasting van het oppervlaktewater. In relatieve termen is dit effect hier groter voor P, omdat op deze locatie de overige bronnen van P relatief klein zijn;
- 2) grotere drooglegging heeft een grotere bijdrage van de bron 'veenbodem' tot gevolg. Bij N komt dat voor het grootste deel door extra mineralisatie in het drogere profiel; bij P vooral door meer uitloging als gevolg van het doorstromen van diepere stroombanen in het verzadigde veen naar de sloot;

- 3) de bron 'randen' is het kleinst bij een drooglegging van 40 cm. Bij kleinere drooglegging neemt de infiltratie van slootwater toe, omdat de wegzijging groter wordt. Met het extra slootwater komt extra N en P mee de veenbodem in. Dat spoelt in natte tijden weer voor een deel uit. Bij grotere drooglegging slaat wegzijging in de zomer om in kwel, waarmee N en P vanuit het diepere grondwater worden aangevoerd. Voor N zijn deze effecten uitgesprokener dan voor P vanwege de geringere concentraties van P in sloot- en kwelwater.

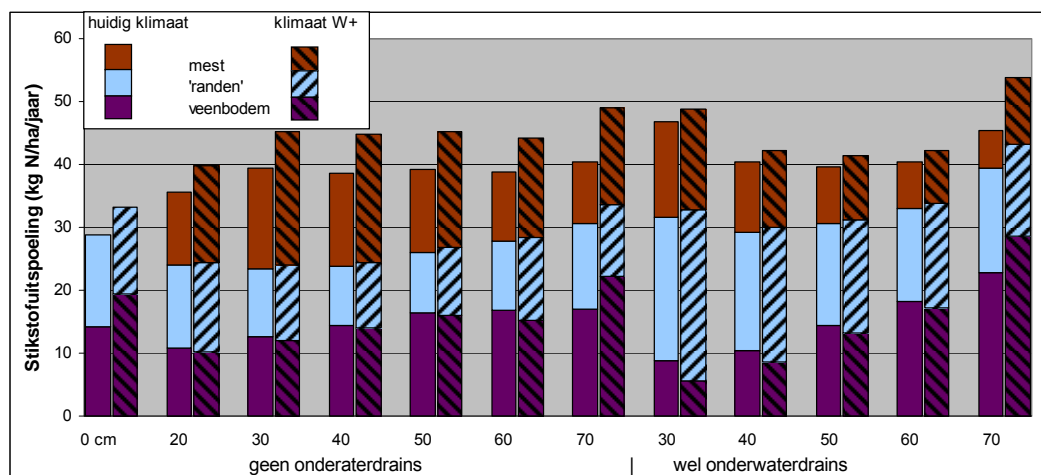
Voor N resulteert het geheel van deze trends in een N-belasting die weinig verschilt tussen de droogleggingen. Voor de P-belasting is een dalende lijn te zien met een toenemende drooglegging. Dit is echter typisch voor deze locatie, vanwege de relatief geringe P-concentraties in de veenbodem en in sloot- en kwelwater. In andere veenweidelocaties kan dit anders zijn.

Toepassing van onderwaterdrains bij verschillende droogleggingen geeft effecten die zijn te verklaren vanuit bovengenoemde drie trends. Kort gezegd versterken de onderwaterdrains deze trends. Dat gaat niet helemaal op zoals de P-belasting laat zien voor de trends van de bron 'randen' bij 70 cm drooglegging en de bron 'veenbodem' bij 30 cm drooglegging. Dat heeft te maken met verschillen in P-concentraties in kwelwater versus slootwater, respectievelijk met de afvoer van meer water bij geringere drooglegging - het gaat hier immers om vrachten.

Onderwaterdrains veranderen wel de onderlinge verhoudingen tussen de bijdragen van de bronnen: de bron 'randen' neemt sterk toe, als gevolg van toename van de infiltratie van slootwater. De bron 'mest' laat een duidelijke afname zien. Door de drainerende werking van de drains is de bovengrond droger, vooral in het voorjaar, waardoor de mestnutriënten beter worden vastgelegd in de bodem en beter worden benut door het gewas. Bij drains is de bron 'veenbodem' voor N kleiner bij geringe drooglegging door een nattere bodem in de zomer met minder mineralisatie. Voor P geldt dat ook met uitzondering van 30 cm, dan is deze bron groter vanwege afvoer van een grotere hoeveelheid water in combinatie met de P-oplading van de doorstroomde bodemlagen. Bij grotere drooglegging en dus diepe drains in of net boven de nutriëntenrijke, verzadigde veenbodem nemen bij drains de N- en P-belasting toe door toenemende uitloging van deze N- en P-rijke veenbodem.

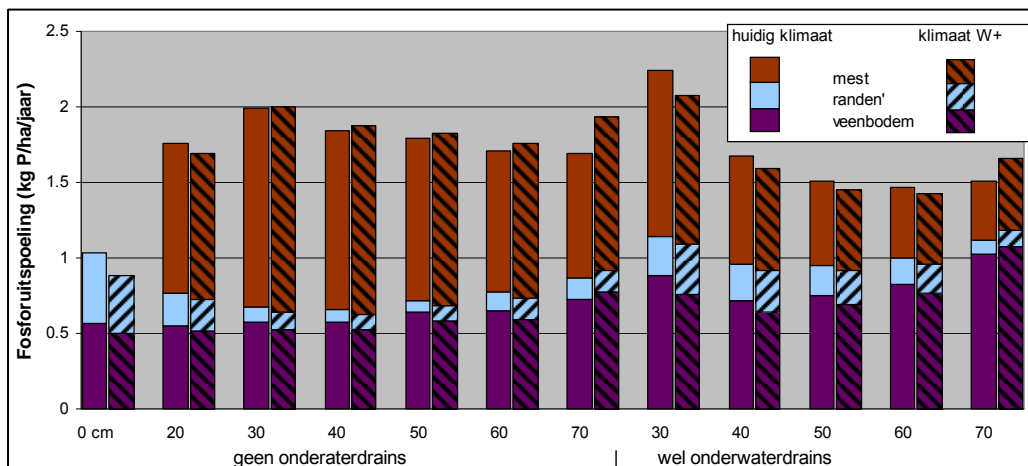
Belangrijkste bevinding uit deze berekeningen is echter dat er, met het oog op het minimaliseren van de nutriëntenbelasting, een optimale diepte blijkt te zijn voor de onderwaterdrains. Deze ligt op 50 tot 75 cm beneden mv, wat overeenkomt met een drooglegging van 40 tot 60 cm, uitgaande van een draandiepte van 10-15 cm beneden slootpeil. Liggen de drains te ondiep, dan 'tappen' ze 'mestwater af'; liggen ze te diep dan draineren ze de N- en P-rijke veenbodem onder de GLG. Bij de optimale diepten is de N-belasting als vracht min of meer gelijk aan de belasting zonder drains. De P-belasting is in dat geval zelfs flink lager. De betere vastlegging van mest-P in de drogere bodem prevaleert hier sterk. Bij vergelijking met de situatie zonder drains moet ook worden bedacht dat de vrachten bij onderwaterdrains samengaan met grotere hoeveelheden uitstromend water. Dat impliceert dat de uitspoelingsconcentraties bij onderwaterdrains gemiddeld gezien (fors) lager zijn. Dat zal een positief effect hebben op de waterkwaliteit in termen van lagere gemiddelde zomerhalfjaarconcentraties.

Het klimaat W+ laat in het algemeen een verhoging van de N- en P-uitspoeling zien. Dat is voornamelijk het gevolg van meer snelle, ondiepe uitspoeling van nitraat en fosfaat afkomstig van bemesting, door de 14% hogere neerslag in de winterperiode. Daarnaast speelt ook de toename van de bron 'randen' vanwege meer infiltratie van slootwater en grotere kwel in het drogere zomerhalfjaar. De bijdrage van de veenbodem neemt over het algemeen iets af door minder diepe doorstroming van de N- en P-rijke verzadigde veenbodem in de nattere uitspoelingsperiode.



Figuur 3.10 Stikstof(N)-belasting van het oppervlaktewater bij verschillende droogleggingen zonder onderwaterdrains en voor twee klimaatscenario's voor een veengrond zonder kleidek. 'Randen' staat voor bijdrage van atmosferische depositie + kwel + infiltratie van slootwater.

Het is evident dat onderwaterdrains in combinatie met peilverhoging een belangrijke bijdrage kan leveren aan de afname van de maaivelddaling en de broeikasgasemissie, zonder dat dat ten koste gaat van de bedrijfsvoering van melkveehouders. Bij de waterbeheerders leeft echter de vraag of deze vorm van vernatting de afvoer van nutriënten uit en af de bemeste, N- en P-rijke veenbodem naar de sloot bevordert. Onderwaterdrains zorgen immers voor een kortsluiting tussen de sloot en 'de kern' van de veenbodem. Ook bestaat de vrees dat gebiedsvreemde stoffen in het inlaatwater die via de onderwaterdrains het veen binnendringen de veenafbraak bevorderen. Aanwijzingen uit het veld doen vermoeden dat dit proces van 'interne eutrofiëring' in de meeste veenweidegebieden geen grote rol speelt. Dit proces is niet meegenomen in de modelberekeningen.



Figuur 3.11 Fosfor(P)-belasting van het oppervlaktewater bij verschillende droogleggingen zonder en met onderwaterdrains en voor twee klimaatscenario's voor een veengrond zonder kleidek. 'Randen' staat voor bijdrage van atmosferische depositie + kwel + infiltratie van slootwater

De hier berekende N-belasting is als vracht voor de situatie met onderwaterdrains niet echt groter dan zonder deze drains. Voor P is ze zelfs lager bij onderwaterdrains. Omdat bij onderwaterdrains nutriëntenuitspoeling gepaard gaat met afvoer van meer water, betekenen deze gelijke en lagere vrachten flink lagere gemiddelde uitspoelingsconcentraties. Dat is voor de oppervlaktewaterkwaliteit van het veenweidegebied een positief gegeven. Wel kan deze situatie in andere veenweidegebieden anders zijn, met name voor P. De P-concentraties in veenbodem en sloot- en kwelwater zijn in Zegveld aan de lage kant. Tenslotte, het is wel zaak de drains op de juiste diepte te leggen in combinatie met de juiste drooglegging. Dat is: binnen de optimale range van 50-75 cm beneden maaiveld bij een drooglegging van 40-60 cm.

3.2.7 Peilbeheer

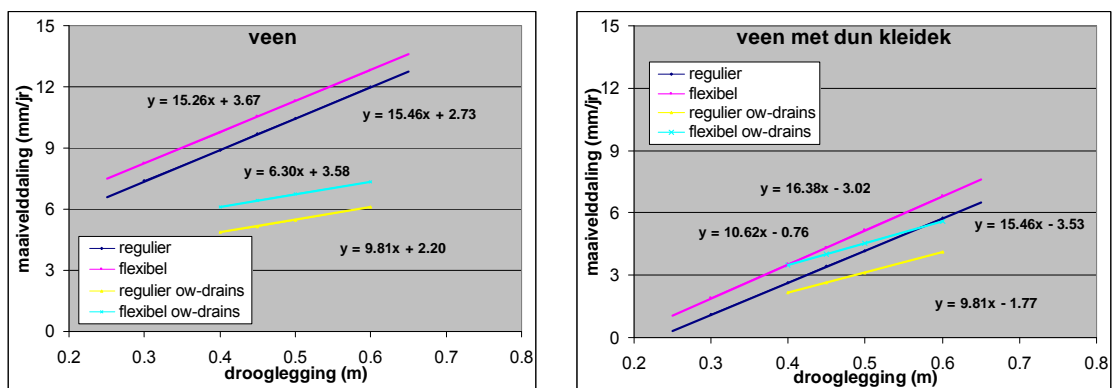
De relaties tussen drooglegging en maaiveld daling uit voorgaande hoofdstukken zijn toepasbaar voor regulier peilbeheer en gemiddelde weersomstandigheden⁸. Hoewel er in de praktijk altijd een kleine fluctuatie rond en vast peil is, houdt dit type peilbeheer hier in dat het slootpeil gedurende de zomer en de winter in principe niet varieert. Het voordeel van een vast peil is dat er relatief weinig wateroverlast en watertekort optreedt. Omdat er weinig ruimte is om water te bufferen moet er al snel water worden afgevoerd of worden ingelaten. Het overtollige (gebiedseigen) water dat eenmaal is afgevoerd is daardoor niet meer beschikbaar voor een watertekort in een drogere periode. Dan moet gebiedsvreemd water ingelaten. Bij flexibele en dynamische peilregimes zijn, binnen bepaalde randvoorwaarden, hogere en lagere slootpeilen toegestaan waardoor minder water hoeft te worden ingelaten. Maar door

⁸ Alleen met een gedetailleerd dynamisch model, zoals in de pilotstudies Zegveld en Linschoten is gebruikt, kan de maaiveld daling per jaar worden berekend. Die zal, afhankelijk van de weersomstandigheden, variëren, maar over een langere periode zal de gemiddelde daling overeenkomen met de maaiveld daling met hier met gemiddelde weersomstandigheden wordt berekend.

de grotere verschillen in het slootpeil fluctueert de grondwaterstand ook meer, wat weer nadelige gevolgen heeft voor de draagkracht en de maaiveldddaling.

Om een indruk te krijgen van de gevolgen van een peilregime waarbij het slootpeil meer mag fluctueren is gebruik gemaakt van het rekenmodel dat gebruikt is voor het onderzoek naar onderwaterdrains in het veenweidegebied dat voor de provincie Zuid-Holland en de waterschappen in het westelijk veenweidegebied is uitgevoerd (Jansen et al., 2009). Voor die studie is het aantal peilregimes beperkt tot een reguliere en een flexibele variant. Bij het flexibel peilbeheer is verondersteld dat het slootpeil met + of - 10 cm rond het vaste peil mag fluctueren (tegenover + of - 2 cm voor het reguliere peilbeheer). En bij flexibel peilbeheer mag het peil maximaal 10 dagen te hoog of te laag zijn waarna het weer op het streefpeil wordt gebracht om te voorkomen dat het te lang achtereen nat of droog is. Het gebied is doorgerkend voor veen en veen met een dun kleidek, wel of geen onderwaterdrains, en met verschillende droogleggingen. De maaiveldddaling voor het reguliere peilbeheer kan worden berekend uit de drooglegging en GLG (Figuur 3.2). Bij flexibel peilbeheer zal de GLG bij eenzelfde drooglegging lager zijn en kan de maaiveldddaling alleen uit de GLG worden afgeleid. Voor de varianten met onderwaterdrains zijn de relaties uit Figuur 3.7 gebruikt.

De berekeningen leveren uitkomsten op voor droogleggingen, GLG's en maaiveldddalingen voor varianten met onderwaterdrains. Hiermee zijn relaties opgesteld tussen de drooglegging en maaiveldddaling voor regulier en flexibel peilbeheer (Figuur 3.12). Omdat ze in feite zijn afgeleid uit de algemeen geldende relaties uit Figuur 3.7 zijn ze breder toepasbaar dan alleen in het modelgebied. De correlatiecoëfficiënten voor de berekende verbanden zijn hoog ($r^2 > 0,95$). De laagste coëfficiënt is voor flexibel peilbeheer voor veen met een dun kleidek met onderwaterdrains. De hellingshoek van relaties voor flexibel peilbeheer zijn voor veen en veen met een dun kleidek vrijwel gelijk aan die voor regulier peilbeheer, alleen is de maaiveldddaling 0,9 mm/jaar groter. Met onderwaterdrains is het verschil groter: 1,25 mm/jr voor veen en 1,4 mm/jr voor veen met een dun kleidek. Andere flexibele peilregimes zullen uiteraard andere relaties opleveren.



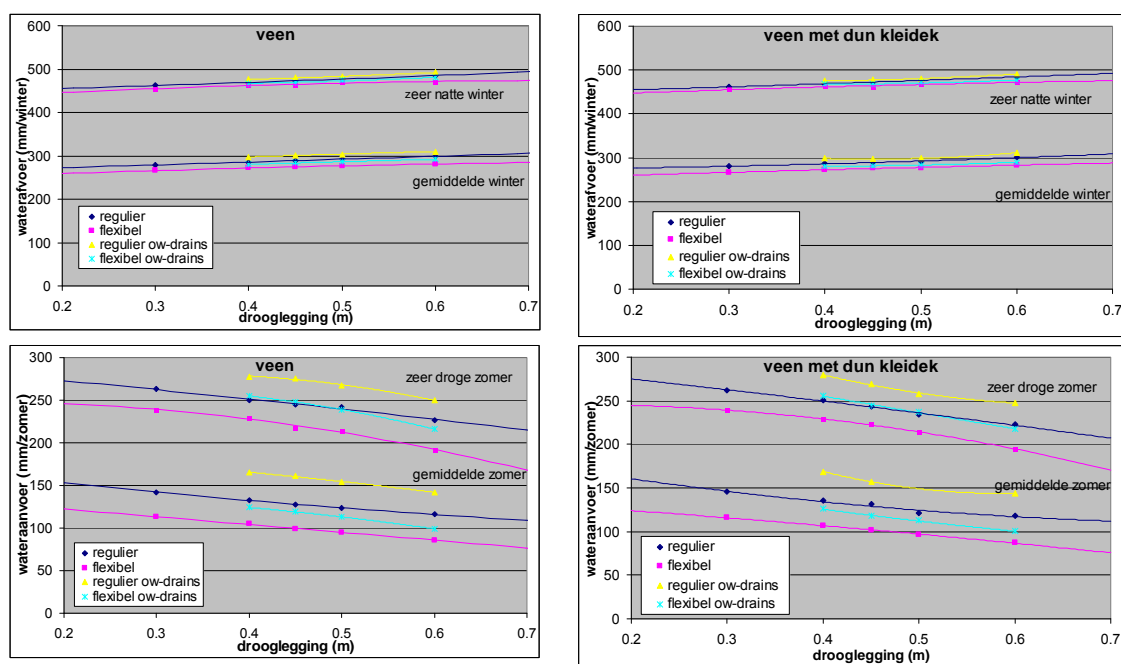
Figuur 3.12 Verband tussen drooglegging en maaiveldddaling voor verschillende peilregimes met en zonder onderwaterdrains voor veen en veen met een dun kleidek

Het model waarmee de maaiveldddaling is berekend geeft ook een schatting van de hoeveelheden water die afgevoerd en ingelaten moeten worden. Omdat die gegevens

voor ieder winter- en zomerseizoen van de rekenperiode (1995- 2006) berekend worden, kan ook wat gezegd worden over de verschillen tussen gemiddelde en meer extreme omstandigheden. Anderzijds gelden de resultaten alleen voor gebieden met omstandigheden die vergelijkbaar zijn met die van het modelgebied. Belangrijk hierbij is de grootte van de wegzijging. In het modelgebied bedraagt die 0,2 mm/dag.

Het verband tussen de drooglegging enerzijds en waterafvoer en wateraanvoer anderzijds (Figuur 3.13 en bijlage 3) laat zien dat de neerslaghoeveelheid (gemiddeld of nat) de afvoer sterk beïnvloedt. Het bodemprofiel, peilregime en wel of geen onderwaterdrains heeft daar nauwelijks invloed op. Alleen bij een grotere drooglegging neemt de afvoer iets toe. En dat komt dan vooral omdat de afvoer via wegzijging dan afneemt.

In de zomer zijn er grotere verschillen in waterinlaat tussen de verschillende varianten, maar ook hier zijn de verschillen tussen een gemiddeld of zeer droog jaar aanzienlijk groter. In vergelijking met regulier peilbeheer is voor flexibel waterbeheer ongeveer 30 mm minder water nodig. Onderwaterdrains zorgen voor een toename van de waterinlaat omdat er tot in het midden van de percelen een snelle uitwisseling plaatsvindt tussen slootpeil en grondwater. Regulier peilbeheer vereist wat meer inlaatwater omdat er eerder watertekorten en wateroverschotten zijn die aangevuld respectievelijk afgevoerd worden. Die zijn dan voor een later gebruik niet meer beschikbaar.

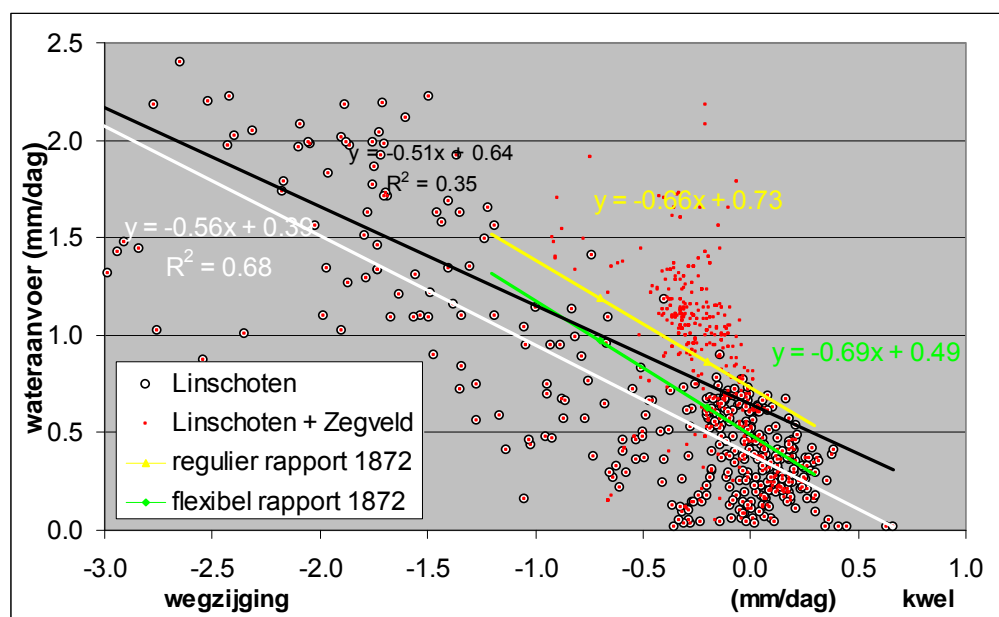


Figuur 3.13 Waterafvoer en wateraanvoer voor veen en veen met een dun kleidek bij een regulier en flexibel peilbeheer met en zonder onderwaterdrains

Het modelgebied waarvoor de relaties zijn opgesteld ligt bij Zegveld, waar over een grote oppervlakte een kleine wegzijging van rond de 0,2 mm/dag optreedt. In andere gebieden zullen onder invloed van een grotere of kleinere wegzijging cq. kwel andere hoeveelheden water ingelaten of afgevoerd moeten worden. Aan de hand van de

uitkomsten van de piltostudie bij Linschoten (Jansen et al., 2008) kon een lineaire relatie worden afgeleid, omdat er een grotere variatie in hoeveelheden kwel en wegzijging is (Figuur 3.14). Bij een kwel van 0,7 mm/dag is geen waterinlaat meer nodig. De relatie geldt voor gemiddelde omstandigheden en een regulier peilbeheer. In het modelgebied bij Linschoten komt veen met een dun kleidek voor. Samen met de gegevens uit het modelgebied Zegveld, waar naast veen met een dun kleidek ook veen voorkomt, levert dat een vergelijkbaar verband op, maar door de grote puntenwolk van Zegveld wordt de correlatiecoëfficiënt aanzienlijk kleiner.

In een studie voor de provincie Zuid-Holland en de waterschappen naar onderwaterdrains in het westelijk veenweidegebied (Jansen et al, 2009) is berekend wat het wat de gevolgen zouden zijn als de wegzijging 0,7 mm/dag in plaats van 0,2 mm/dag zou bedragen. Dat is gedaan voor zowel regulier als flexibel peilbeheer. De relatie die dit oplevert staan eveneens in Figuur 3.14. De studie laat ook zien dat in nattere zomerperioden de neerslag de grotere wegzijging geheel of gedeeltelijk compenseert. Maar naarmate het droger is, is meer waterinlaat nodig. De extra waterinlaat kan 's zomers oplopen tot meer dan 60 mm bij een wegzijging die 90 mm groter is ((0,7-0,2) x 180 dagen). In de winter geldt het omgekeerde. In drogere winterperioden verdwijnt relatief veel de neerslag via wegzijging, maar naarmate er in korte tijd meer neerslag valt, moet er meer en meer worden uitgemaal. Onder meer extreme omstandigheden zijn de verschillen tussen regulier en flexibel peilbeheer klein.



Figuur 3.14 Verband tussen wegzijging en de hoeveelheid inlaatwater in de pilotgebieden Zegveld en Linschoten en de modelstudie naar onderwaterdrains (Jansen et al., 2009-rapport 1872)

4 Peilstrategieën

Met de kennis uit hoofdstuk 3 zijn peilstrategieën voor het westelijke veengebied doorgerekend. De uitkomsten hebben een verkennend karakter. Om nauwkeurige uitspraken voor specifieke gebieden te kunnen doen is een veel gedetailleerder schaalniveau vereist en zijn veel meer gegevens nodig. De onderlinge verschillen tussen de peileenheden en de verschillen tussen de peilstrategieën zijn vooral bedoeld om beter inzicht te krijgen in de mogelijkheden die peilregimes voor de toekomst in het westelijk veengebied kunnen bieden.

4.1 Werkwijze

De peilstrategieën die doorgerekend worden zijn primair gericht op het terugdringen van de maaiveldddaling. Een verandering in snelheid waarmee het maaiveld daalt heeft onder andere gevolgen voor de waterinlaat, de waterkwaliteit, de emissie van broeikasgassen en het landgebruik. Ook die aspecten komen aan bod, evenals de gevolgen van klimaatverandering. Alle scenario's gaan uit van een regulier peilbeheer, wat inhoudt dat de fluctuatie rond het streefpeil klein is. Alleen bij de waterinlaat en waterafvoer wordt ook gekeken naar flexibel peilbeheer. Door de ruimere marge tussen het hoogst en laagst toegestane peil bij dat type peilbeheer is minder gebiedsvreemd inlaatwater nodig. Naast het reguliere en flexibele peilbeheer zoals hier gedefinieerd zijn andere vormen mogelijk. In aparte studies wordt daar verder op ingegaan, evenals op de gevolgen voor de maaiveldddaling (Jansen et al., 2009; in prep.)

De waterpeilstrategieën geven een indicatie van de verschillen in maaiveldddaling, maar uiteindelijk is ook de vraag belangrijk wanneer het veen 'op' is. Er treedt geen maaiveldddaling meer op als er geen organische stof meer is dat kan oxideren⁹. In de praktijk zal de overgang van veen via kleiig veen en humeuze klei naar klei langzaam verlopen. Over het verloop hiervan is nog niets bekend. Daarom is aangenomen dat het verloop van de veenoxidatie lineair is.

De oxidatie van veen zal anders worden als het klimaat verandert. Recent zijn klimaatscenario's voor 2050 en 2100 gepresenteerd (KNMI, 2006). Gekozen is om de maaiveldddaling voor 2050 en 2100 te voorspellen omdat die jaren aansluiten bij de klimaatscenario's. Op de lange termijn zullen droge en natte plekken elkaar afwisselen, waardoor de snelheid waarmee het maaiveld daalt ook door de tijd zullen variëren. Daarom wordt gerekend met gemiddelde maaiveldddalingen per bodemtypen per peileenheid.

⁹ Er kan nog wel wat klink en zetting van de klei-ondergrond optreden

4.1.1 Overzicht peilstrategieën

Er zijn verschillende manieren om de grondwaterstand in de zomer te verhogen om zo de maaiveldvaling in het westelijk veengebied te verminderen. In deze studie zijn de volgende waterpeilstrategieën doorgerekend:

0) De *referentiesituatie* geeft de huidige situatie zo goed mogelijk weer. Hiermee worden de uitkomsten van de peilstrategieën vergeleken. Een probleem is dat de drooglegging en de indeling in peilvakken niet goed bekend is¹⁰. Daarom is voor een aanpak gekozen waarbij verondersteld is dat de landbouwgebieden een drooglegging hebben die voor grasland momenteel gebruikelijk is. Wel wordt rekening gehouden met de bodemsamenstelling in de peileenheden. Van alle peileenheden uit het Water Informatie Systeem (WIS) wordt aan de hand van de indeling uit tabel 4.1 de gemiddelde drooglegging bepaald. Deze wordt afgetrokken van de gemiddelde maaiveldhoogte van het peileenheid, wat de gemiddelde drooglegging ten opzichte van NAP oplevert¹¹. Het verschil tussen de werkelijke maaiveldhoogte en de gemiddelde drooglegging ten opzichte van NAP levert de berekende drooglegging op.

Tabel 4.1 Gemiddelde drooglegging afhankelijk van de bodemsamenstelling

Bodemsamenstelling	Oppervlaktepercentage	Drooglegging t.o.v. mediane hoogte
veen zonder kleidek	> 50 %	50 cm
veen zonder + veen met kleidek	> 50 %	60
veen zonder + veen met kleidek + klei met veenondergrond	> 50 %	70
veen zonder + veen met kleidek + klei met veenondergrond	< 50 %	80

1) De *peilstrategie H30* gaat uit van de huidige indeling in peileenheden volgens WIS. Van iedere peileenheid wordt de drooglegging verkleind. Binnen de peileenheden zal het overal evenredig natter worden, zonder dat grote delen zullen inunderen. Hier is gekozen voor een gemiddelde drooglegging in de zomer van 30 cm. Voorwaarde is wel dat minimaal 10% van de oppervlakte van het peileenheid uit veen (met of zonder kleidek) bestaat. Gemiddeld beslaat de oppervlakte een kleine 400 ha waarvan 62% uit veen zonder kleidek bestaat.

2) Voor de *peilstrategie V30* worden peileenheden samengevoegd. De drooglegging wordt aangepast aan de veengronden zonder kleidek. De gemiddelde drooglegging van een hele peileenheid is gelijk aan de gemiddelde maaiveldhoogte van deze veengronden, minus 30 cm¹². Er zullen, zeker in de beginjaren, grotere verschillen in

¹⁰ De drooglegging is de afstand tussen de maaiveldhoogte en het slootpeil. Die kan worden berekend uit het verschil tussen de hoogtekaart en de vigerende peilbesluiten. Het probleem hierbij is dat de hoogtekaart een momentopname is en peilen geregeld worden aangepast. Ook zijn er veel natuurgebieden en percelen van particulieren waarvan ligging en peilen niet bekend zijn.

¹¹ Om de gemiddelde maaiveldhoogte te kunnen berekenen is gebruik gemaakt van het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN, 2004). Dit bestand is opgebouwd uit gridcellen van 25 x 25 meter. Uit dit bestand zijn alle gridcellen verwijderd die op plekken met vergraven landschapselementen liggen zoals wegen en bebouwing. Ook de plekken met natuurgebieden en open water zijn niet meegenomen. Vervolgens is per peileenheid de mediane maaiveldhoogte bepaald

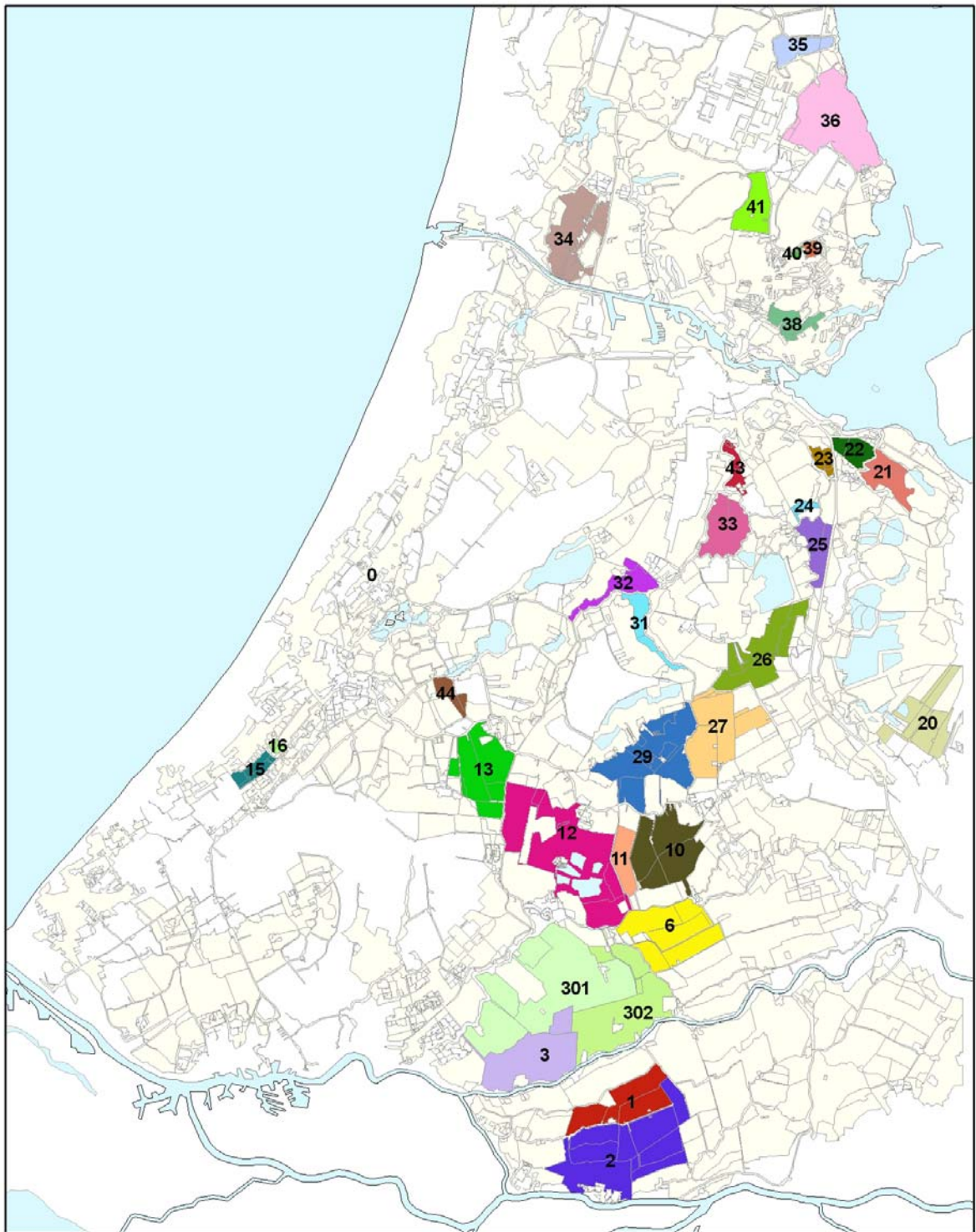
¹² In de Nota Ruimte (VROM, 2004) worden bij deze drooglegging van 30 cm nog grotere peileenheden onderscheiden.

drooglegging optreden. De droogste plekken zijn geschikt voor landbouw, de natste plekken voor moeras of natte natuur. Voor deze studie zijn peileenheden samengevoegd als er minimaal 10% veen zonder kleidek in voorkomt en als ze qua bestaande peilen en ligging een logische eenheid vormen. Op deze wijze ontstaan eenheden die sterk uiteenlopen in grootte (Figuur 4.1). De kleinste eenheid, die uit twee zeer kleine samengevoegde peileenheden bestaat, is 40 ha. De grootste eenheid heeft een oppervlakte van ruim 5000 ha. Gemiddeld is een eenheid 1550 ha groot.

3) *Peilstrategie H45* gaat uit van omstandigheden die voor de landbouw gunstig uitpakken. Hiervoor wordt voor de peileenheden uit het WIS die voor minimaal 50% uit veen met of zonder kleidek bestaan een gemiddelde drooglegging gehanteerd van 45 cm. Dat is weinig minder dan de huidige drooglegging, maar het is bijzonder geschikt om op grote schaal onderwaterdrains in te kunnen zetten. De referentiesituatie en de drie peilstrategieën zijn ook doorgerekend met onderwaterdrains op plekken die daarvoor geschikt zijn. In Tabel 4.2 staat een overzicht van de peilstrategieën.

Tabel 4.2 Overzicht van waterpeilstrategieën

Strategie	Peileenheden	Drooglegging in cm t.o.v. de gemiddelde maaiveldhoogte	Onderwaterdrains
HH (ref.)	WIS-eenheden	50 - 80 Conform toedeling (Tabel 4.1)	nee
H30	WIS-eenheden	30	nee
V30	Robuuste eenheden	30 t.o.v. veengronden zonder kleidek	nee
H45	WIS-eenheden	45	nee
HHd	WIS-eenheden	50 - 80 Conform toedeling (Tabel 4.1))	ja
H30d	WIS-eenheden	30	ja
V30d	Robuuste eenheden	30 t.o.v. veengronden zonder kleidek	ja
H45d	WIS-eenheden	45	ja

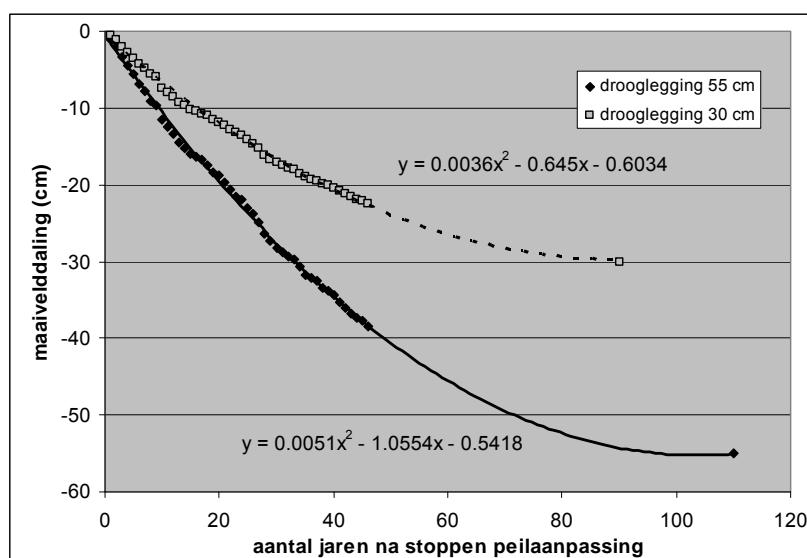


Figuur 4.1 Peil-eenheden volgens het WIS met veen, veen met kleidek en/of klei met veenondergrond en (uniform gekleurde) clusters van peil-eenheden zoals toegepast bij peilstrategie V30

4.1.2 Klimaatscenario's

De mogelijke klimaatveranderingen staan in een recent overzicht van het KNMI (2006). Daarin staan voor vier scenario's de veranderingen voor 2050 en 2100. De

scenario's G en G+ zijn gematigd. De overwegend westelijke luchtstroming blijft bestaan. Wel wordt het iets warmer en in de zomer is de verdamping wat groter. Daarentegen valt er ook wat meer neerslag. Gedeeltelijk gebeurt dat in de vorm van intensieve buien. In de 'warme' scenario's W en W+ verandert de luchtcirculatie. Volgens scenario W+ stijgt de temperatuur in 2050 in de zomer met 2,8 °C, neemt de neerslag met 19% af en neemt de potentiële verdamping met 15% toe. In 2100 verdubbelen de effecten. De temperatuurstijging heeft grote gevolgen voor de snelheid waarmee veen wordt geoxideerd (Tate, 1989; Hendriks, 1991). Bij een temperatuurstijging van 0,9 °C (klimaatscenario G in 2050) neemt de daling met een factor 1,10 toe en bij een stijging van 2,8 °C (klimaatscenario W+ in 2050) met een factor 1,35. Uit de pilotstudie Zegveld (Jansen et al., 2007) bleek dat bij klimaatscenario G door een andere neerslagverdeling en bij klimaatscenario W+ door de toename van de potentiële verdamping en afname van de neerslag de grondwaterstand dieper wegzakt. Bij de huidige slootafstand is met name bij klimaatscenario W+ de toestroom van water vanuit de sloten naar het midden van de percelen onvoldoende om dit te voorkomen. Het effect van de lagere grondwaterstand op de maaiveldddaling ligt in dezelfde orde van grootte als het effect van de temperatuurstijging.



Figuur 4.2 Verloop van de cumulatieve maaiveldddaling als de drooglegging van respectievelijk 30 en 55 cm niet meer wordt aangepast

Voor het meest gematigde en het meest extreme klimaatscenario, respectievelijk G en W+, zijn de gevolgen voor de maaiveldddaling in 2050 en 2100 voor de referentiesituatie en waterpeilstrategie V30 (Tabel 4.2) berekend. Er wordt verondersteld dat de drooglegging in de tussenliggende jaren altijd even groot blijft. Het komt er dan op neer dat de drooglegging ieder jaar voor het gedaalde maaiveld moet worden gecompenseerd. Als dat niet zou worden gedaan wordt het ieder jaar natter totdat het maaiveld gelijk is aan het slootpeil. De drooglegging is dan 0 cm. Figuur 4.2 toont het verloop van de maaiveldddaling bij een droogleggingen die in de uitgangssituatie 30 en 55 cm bedragen. Bij een drooglegging van 30 cm duurt het 90 jaar voordat het gebied plas-dras staat. Bij een drooglegging van 55 cm is dat na 110 jaar het geval. Het verloop is gebaseerd op de afnemende maaiveldddaling die voor een vergelijkbare peilstrategie in de pilotstudie Zegveld is berekend.

4.2 Gevolgen van peilstrategieën voor maaiveldddaling

Voor de peilstrategieën die beschreven staan in Tabel 4.2 is de maaiveldddaling berekend (). De peilstrategieën H30 en V30 gaan uit van een sterke vernatting. De gemiddelde drooglegging bedraagt 30 cm, met voor peilstrategie H30 een indeling in peileenheden die gelijk is aan de referentie. Peilstrategie H45 gaat uit van een iets kleinere drooglegging dan de referentie, maar die is bij uitstek geschikt om onderwaterdrains toe te passen. De indeling in peileenheden is gelijk aan die van de referentiesituatie (HH).

Om de peilstrategieën onderling goed te kunnen vergelijken zijn gemiddelde maaiveld-dalingen berekend. Dat is gedaan voor de peileenheden waarvan de begrenzing samenvalt met de peileenheden van peilstrategie V30. De resultaten staan in Tabel 4.3 en bijlage 4. Omdat de peileenheden sterk verschillen in oppervlakte, maaiveldhoogteverdeling en bodemopbouw is ook de variatie in uitkomsten groot. Er is geen significante relatie tussen de grootte van de peileenheden en de maaiveldddaling. Opvallende zijn de gebieden 20 en 24 (bijlage 4). Gebied 20 ligt in het oostelijk Vechtplassengebied waar een groot gedeelte uit open water en natuur bestaat. Het resterende gedeelte heeft grote hoogteverschillen. Een gedeelte is daardoor erg nat en een gedeelte is droog, met als resultaat dat slechts een klein gedeelte geschikt is voor onderwaterdrains. Gebied 24 is erg klein en bestaat uit twee kleine peileenheden met verschillende maaiveldhoogtes en in ieder gebied een klein aandeel veengronden zonder kleidek. Het resultaat is hetzelfde als bij gebied 20.

Het gewogen gemiddelde van de maaiveldddaling van de veengronden van alle peileenheden staat in Tabel 4.3. De maaiveldddaling in de referentiesituatie voor veen zonder kleidek bedraagt ruim 10 mm/jr. Met peilstrategie H45, dat uitgaat van dezelfde indeling in peileenheden maar een iets minder grote drooglegging heeft, is de maaiveldddaling iets kleiner (9,2 mm/jr). In beide gevallen zijn onderwaterdrains breed inzetbaar. Ongeveer 70% van de oppervlakte met oxidatiegevoelige veen (zonder kleidek) is geschikt voor onderwaterdrains. De maaiveldddaling neemt daardoor in alle veengronden in het hele gebied gemiddeld ongeveer 3 mm/jr af. Wanneer alleen naar de plekken met onderwaterdrains wordt gekeken, is de afname ongeveer 4,5 mm/jr. Dat houdt bijna een halvering in ten opzichte van de maaiveldddaling zonder drains.

De vernatting bij de peilstrategieën H30 en V30 zorgt voor een sterke afname van de maaiveldddaling. Tegelijkertijd is het op veel plekken te nat voor onderwaterdrains. Bij peilstrategie H30 is 26% en bij peilstrategie V30 is 37% van de totale oppervlakte geschikt voor onderwaterdrains. Daarmee kan, in het hele gebied, nog ongeveer 1 mm/jr minder maaiveldddaling worden gerealiseerd. Op de gedraineerde plekken neemt het rendement ten opzichte van de referentie iets af omdat meer drains een kleine drooglegging hebben. De effectiviteit van onderwaterdrains is bij een drooglegging van 35-45 cm absoluut gezien kleiner dan bij een drooglegging van 50-60 cm. Per saldo zijn de peilstrategieën H30 en V30 het meest effectief om maaiveldddaling tegen te gaan. Zonder onderwaterdrains pakken de gemiddelde uitkomsten voor de grotere peileenheden van peilstrategie V30 wat minder gunstig uit dan voor peilstrategie H30. Met onderwaterdrains is het omgekeerde het geval. Dan zijn grotere peileenheden gunstig omdat meer oppervlak geschikt is voor

onderwaterdrains. In bijlage 5 wordt daar een korte beschouwing aan gewijd. De gemiddelde verschillen tussen de peilstrategieën H30 en V30 zijn wel klein. Dit komt omdat de drooglegging van 30 cm is gebaseerd op de gemiddelde maaiveldhoogte van de hele peileenheid. De peileenheden in peilstrategie V30 zijn zodanig gekozen dat de kwetsbare veengebieden (zonder kleidek) van verschillende peileenheden goed op elkaar aansluiten. De verschillen in maaiveldhoogte veranderen daardoor weinig. Bovendien is de gemiddelde drooglegging hier gebaseerd op alleen de veengronden zonder kleidek.

Tabel 4.3 Gewogen gemiddelde maaivelddaling bij verschillende peilstrategieën (Tabel 4.2) voor de gebiedsindeling van strategie V30

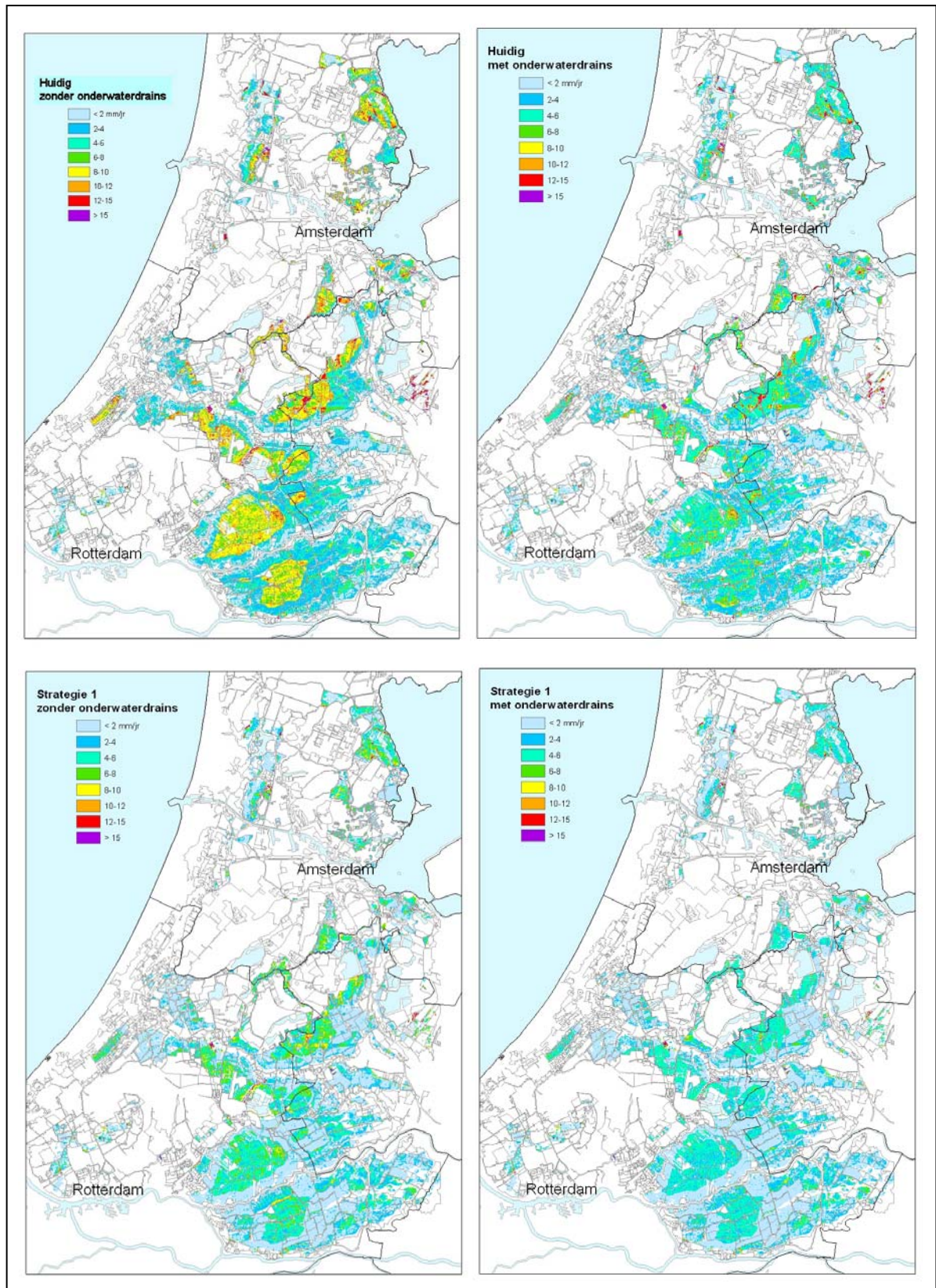
peilstrategie	gemiddelde drooglegging (cm)	geschikt gemiddelde oppervlakte (ha)	voor onderwaterdrains (%)	gem. maaivelddaling (mm/jr)				
				hele gebied		gedraineerd gebied		
				zonder drains	met drains	zonder drains	met drains	
veen	referentie HH	50-80 *)	196 **)	70	10.2	7.0	9.9	5.2
	H30	30	196	30	6.6	5.5	8.8	4.9
	V30	30	782	39	6.9	5.3	9.1	5.0
	H45	45	196	71	9.2	6.2	9.4	5.0
veen met kleidek	referentie HH	50-80 *)	132 ***)	53	4.9	4.4	3.8	2.9
	H30	30	132	36	2.2	2.0	2.9	2.3
	V30	30	443	42	2.4	2.1	3.1	2.5
	H45	45	132	67	3.6	3.1	3.3	2.3

*) afhankelijk van de verhouding veen, veen met kleidek, klei-op-veen en anders (zie Tabel 4.1)

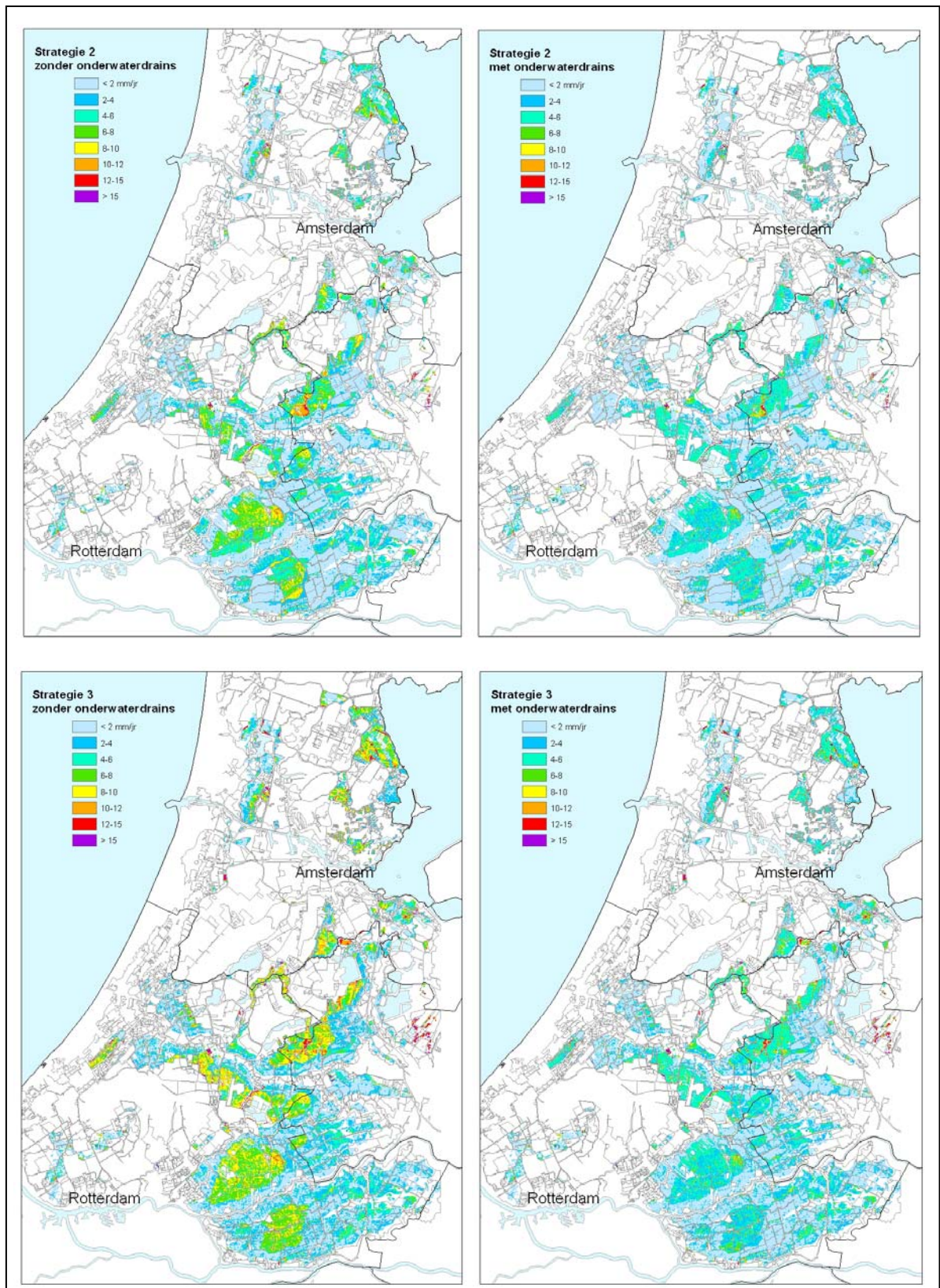
***) alleen de veengronden zonder kleidek

****) alleen de veengronden met een kleidek

In absolute zin is de maaivelddaling van de veengronden met een kleidek minder groot dan van de veengronden zonder kleidek. Onderwaterdrains zorgen, op de plekken met drains, nog voor een afname van 1 mm/jr. De effectiviteit is hier ook in relatief opzicht minder groot dan bij de veengronden zonder kleidek.



Figuur 4.3 A Maaiveld daling in de referentiesituatie (huidig) en met peilstrategie H30 (strategie 1) zonder en met onderwaterdrains



Figuur 4.3 B. Maaiveldvaling met peilstrategie V30 (strategie 2) en met peilstrategie H45 (strategie 3) zonder en met onderwaterdrains

4.3 Gevolgen van peilstrategieën voor waterinlaat en waterafvoer

Aan de hand van de relaties uit Figuur 3.13 zijn voor een gemiddelde en zeer droge zomer de hoeveelheden inlaatwater berekend die nodig zijn om het streefpeilen in de polders zo goed mogelijk in stand te houden. Op vergelijkbare wijze is een schatting gemaakt van de hoeveelheden die afgevoerd moeten worden in een gemiddelde en in een zeer natte winter. Er is rekening gehouden met de grootte van de wegzijging volgens de relaties die verbanden uit Jansen et al. (2009) zijn afgeleid (Figuur 3.14). In Figuur 4.3 staan de hoeveelheden voor de verschillende peilstrategieën voor het geclusterde gebied dat overeenkomt met dat van peilstrategie V30. Dat levert direct goed inzicht op in de verschillen. De hoeveelheden water die ingelaten en afgevoerd worden zijn opgesplitst naar bodemopbouw. Evident is dat het grootste gedeelte betrekking heeft op veengronden. Verder is ook een opsplitsing gemaakt in hoeveelheden voor het niet gedraineerde oppervlak, het wel gedraineerde oppervlak en de hoeveelheid water die als gevolg van de aanwezige onderwaterdrains extra moet worden ingelaten en afgevoerd.

Figuur 4.3 laat zien dat de verschillen in totale hoeveelheden waterinlaat en waterafvoer tussen de peilstrategieën betrekkelijk klein zijn. De strategieën met het laagste peil cq. de grootste drooglegging (referentie HH en H45) hebben in een gemiddelde zomer door de onderwaterdrains ongeveer 5% meer inlaatwater nodig. Omgerekend naar de oppervlakte met onderwaterdrains ligt percentage rond de 15%. Bij waterinlaat gaat de extra hoeveelheid vooral op aan een grotere verdamping en soms ook als afvoer in een volgende natte periode.

Bij de strategieën met de kleinste drooglegging (V30 en H30) is veel minder oppervlak geschikt voor onderwaterdrains waardoor de absolute hoeveelheid inlaatwater als gevolg van de onderwaterdrains kleiner is. De totale hoeveelheid in te laten water van H30 is slechts weinig minder dan in de huidige situatie (HH) omdat voor het handhaven van een hoger peil ook extra inlaatwater nodig is. Grotere peileenheden (V30) vergen een paar procent meer inlaatwater.

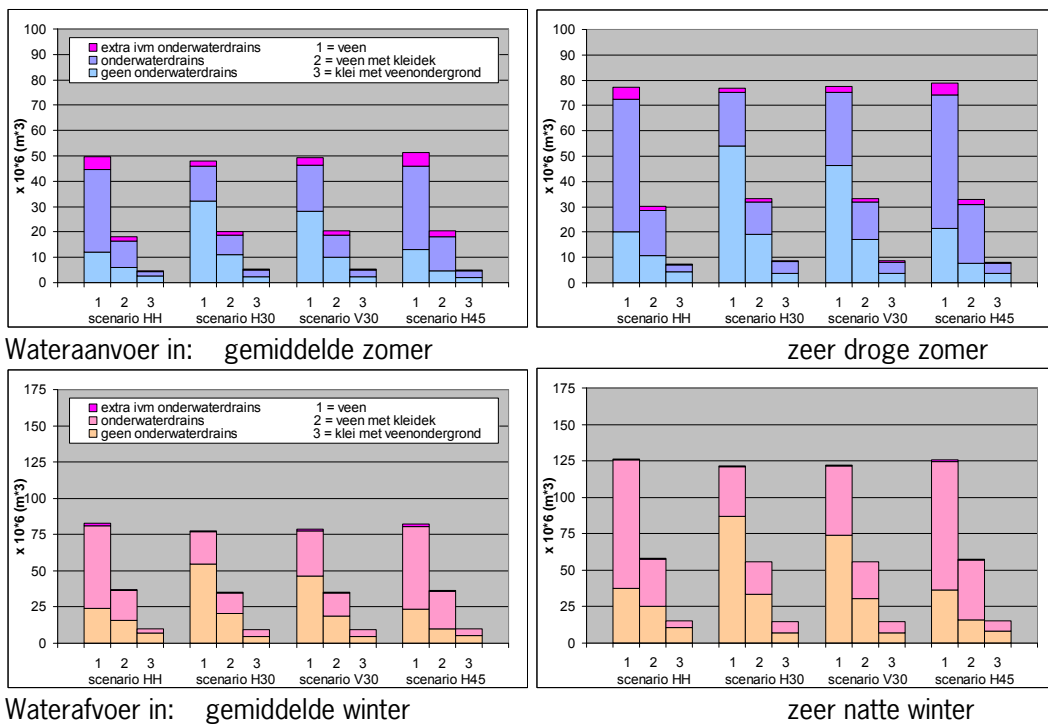
De waterafvoer laat een vergelijkbaar beeld zien, alleen is de extra bijdrage door onderwaterdrains beduidend kleiner. Onderwaterdrains zorgen weliswaar voor een betere drainage waardoor de grondwater sneller daalt en de afvoer tijdelijk toeneemt, maar daarna volgt een periode waarin de afvoer kleiner is.

In gemiddelde zomers en winters zijn de verschillen in totale hoeveelheden waterinlaat respectievelijk waterafvoer tussen de peilstrategieën klein. Een erg droge zomer of een erg natte winter hebben een veel grotere impact op de hoeveelheid water dat moet worden ingelaten of afgevoerd. Extremere omstandigheden hebben nauwelijks invloed op de extra hoeveelheden die onderwaterdrains met zich meebrengen. De toename ten opzichte van de gemiddelde hoeveelheid bedraagt voor zowel de inlaat als afvoer ca. 55%.

In Figuur 4.5 staat de waterinlaat voor een gemiddelde en zeer droge zomer en de waterafvoer voor een gemiddelde en zeer natte winter voor het hele westelijke veengebied. Vergelijken met Figuur 4.3 is de oppervlakte veen nauwelijks groter. Dat

komt omdat de meeste veengronden ook ingedeeld zijn bij peilstrategie V30. Een groot oppervlak veengronden met een kleidek en klei met een veenondergrond is daar niet bij ingedeeld. De totale hoeveelheid in te laten water in het westelijk veengebied komt, afhankelijk van de peilstrategie, voor een gemiddelde zomer neer op ca. $140 \times 10^6 \text{ m}^3$. In een erg droge zomer komt daar nog $90 \times 10^6 \text{ m}^3$ bij.

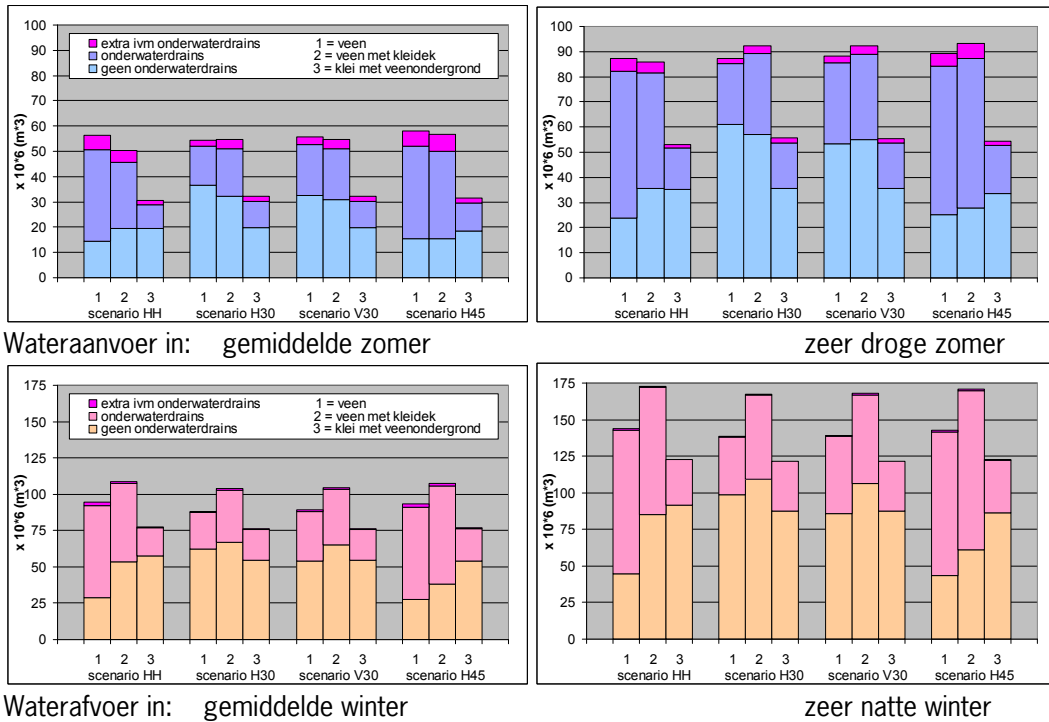
Door het hogere peil van de strategieën uit Tabel 4.2 is er wel meer oppervlaktewater aanwezig (= grotere buffer) waardoor het langer duurt voor er water ingelaten hoeft te worden. Maar als er ingelaten moet worden, dan gaat het om een grote hoeveelheid. Het hogere peil zorgt er ook voor dat de wijziging toeneemt cq. de kwel afneemt. Daar is, bij bijvoorbeeld een gemiddelde weerstand van de deklaag van 1800 dagen, per centimeter peilverhoging per zomerhalfjaar ca. 1 mm extra water voor nodig. Voor de peilstrategieën H45 komt dat neer op ca. 15 mm. Voor het totale oppervlakte veen (1) komt dat neer op $4,0 \times 10^6 \text{ m}^3$, voor veen met een kleidek (2) op $5,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ en voor klei met een veenondergrond (3) op $3,8 \times 10^6 \text{ m}^3$. Voor de peilstrategieën H30 en V30 verdubbelen deze hoeveelheden. Overigens heeft de daling van het maaiveld (+ slootpeil) het omgekeerde effect tot gevolg. De wegzijging zal dan afnemen (of ingeval van kwel: toenemen) waardoor minder inlaatwater nodig is.



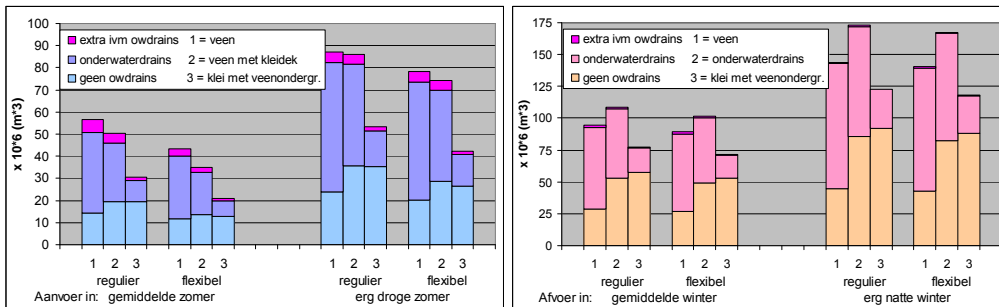
Figuur 4.4 Wateraanvoer in een gemiddeld en zeer droog zomerhalfjaar en waterafvoer in een gemiddeld en zeer nat winterhalfjaar in gebieden die voor scenario V30 zijn gebruikt

Bij flexibel peilbeheer is aanzienlijk minder water nodig dan bij regulier peilbeheer. In een gemiddelde zomer is het verschil voor veen $10,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ (-20,5%). Naarmate het droger wordt neemt het verschil af. In een erg droge zomer is het verschil nog $8,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ (-10,7%). Een nadeel van flexibel peilbeheer is dat de grondwaterstand in de zomer geregeld dieper wegzakt waardoor de maaiveld daling toeneemt. Voor veen ligt de toename in de orde van grootte van $1,3 \text{ mm/jr}$ (Figuur 3.12 en Jansen et al., 2009). En verder moet gedurende langere tijd achtereen op volle capaciteit water

worden ingelaten. Vaak zal dat dan plaatsvinden in droge perioden waarin de beschikbaarheid van water niet optimaal is. Een uitgekiend peilbeheer, waarin wordt ingespeeld op de neerslag-verwachting, kan aan deze nadelen tegemoet komen (Jansen et al., 2009).



Figuur 4.5 Wateraanvoer in een gemiddeld en zeer droog zomerhalfjaar en waterafvoer in een gemiddeld en zeer nat winterhalfjaar in het hele westelijke veengebied



Figuur 4.6 Wateraanvoer in een gemiddelde en erg droge zomer en waterafvoer in een gemiddelde en erg natte winter. In het hele westelijke veengebied voor de referentiesituatie (HH) voor regulier en flexibel peilbeheer

Voor de waterafvoer is een vergelijkbaar figuur gemaakt als voor de wateraanvoer. Alleen zijn hier de hoeveelheden voor een gemiddelde, natte en erg natte winter gegeven (Figuur 4.5). Wat opvalt is dat niet alleen onderwaterdrains voor weinig extra afvoer zorgen, maar ook dat de verschillen tussen regulier en flexibel peilbeheer klein zijn, zeker in natte en zeer natte winters.

4.4 Gevolgen van peilstrategieën voor broeikasgassen en uitspoeling van nutriënten

De emissie van broeikasgassen CO₂ en N₂O is berekend met de relaties uit Tabel 3.6 en Tabel 3.7. Voor klei met een veenondergrond is de hoeveelheid geschat op 2/3 van dat van de veengronden met een kleidek. CH₄ is niet in beschouwing genomen omdat het nauwelijks vrijkomt. De uitkomst van de berekeningen staat in Tabel 4.4. Zowel CO₂ als N₂O zijn uitgedrukt in CO₂-C-equivalenten per jaar. Er zijn hoeveelheden gegeven voor de geclusterde gebieden van strategie V30 om de effecten van de peilstrategieën te kunnen vergelijken. Om een indruk te krijgen van de totale emissie zijn ook de hoeveelheden voor het hele westelijke veengebied opgenomen. Voor de veengebieden die niet bij strategie V30 zijn ingedeeld zijn de hoeveelheden van strategie H30 bijgeteld. Bij de uitkomsten moet rekening worden gehouden dat hier modelonderzoek aan ten grondslag ligt dat voor één, min of meer representatieve plek in het veenweidegebied, is uitgevoerd. Met verschillen in onder andere kwel/wegzijging en veensoort is geen rekening gehouden. In absolute zin geven de resultaten daarom hooguit een indicatie van de grootte. In relatieve zin geven de verschillen inzicht in het effect van de verschillende peilstrategieën en de gevolgen van klimaatverandering.

De berekende CO₂-emissies zijn ter controle vergeleken met de emissies die uit de verdwenen cq. geoxideerde hoeveelheid veen is afgeleid. Hier is er van uitgegaan dat per ha per mm maaiveld daling 2,3 ton CO₂ vrij komt (Van den Akker et al., 2007 en Kuikman et al., 2005). Per m³ veen is dat 0,23 ton CO₂ (of 0,062 ton CO₂-C). In Tabel 2.1 staat onder 'vuistregel' de hoeveelheid die hiermee is berekend uit de maaiveld daling x oppervlakte uit hoofdstuk 4.2.

De bijdrage van N₂O is, als equivalent C, ruim een kwart van de hoeveelheid CO₂-C. De peilstrategieën H30 en V30 zorgen voor de grootste afname van de CO₂- en N₂O-emissie. Grofweg is de afname 15%. Onderwaterdrains zorgen voor een verdere reductie, maar het verschil ten opzichte van de strategieën zonder onderwaterdrains is betrekkelijk klein. Dat komt omdat de emissie voornamelijk bij een geringe drooglegging minder afneemt. Bij een drooglegging van minder dan 35 cm zijn geen onderwaterdrains in de modelberekeningen opgenomen omdat die dan nauwelijks effectief zijn en er meer mest uitspoelt.

Tabel 4.4 Emissie in ton × 10³-eqC/jaar van de broeikasgassen CO₂ en N₂O bij verschillende peilstrategieën

Peilstrategie	gebied van strategie V30			hele veengebied		
	CO ₂ -C	N ₂ O-C	vuistregel CO ₂ -C	CO ₂ -C	N ₂ O-C	vuistregel CO ₂ -C
zonder onderwaterdrains						
referentie HH	152	45	151	301	80	332
H30	127	40	98	263	75	218
V30	129	39	102	265	75	224
H45	143	45	136	287	82	287
met onderwaterdrains						
referentie HH	141	43	104	288	78	269
H30	120	39	82	255	74	195
V30	121	38	79	256	73	193
H45	130	43	92	270	79	228

Voor de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater zijn geen relaties met de drooglegging afgeleid omdat de bijdragen van de verschillende bronnen van plaats tot plaats sterk kunnen verschillen. Zonder onderwaterdrains ligt voor stikstof de

belasting van het oppervlaktewater rond de 40 kgN/ha/jaar. Bij de peilstrategieën, waar de gemiddelde drooglegging kleiner is dan in de referentiesituatie, treden verschuivingen op (de veenafbraak neemt af, maar waterinlaat neemt toe). Per saldo verandert er echter weinig. Alleen als er onder erg natte omstandigheden minder of helemaal niet meer wordt bemest neemt de belasting duidelijk af. Onderwaterdrains zorgen voor een sterkere verschuiving van belasting door veenafbraak naar belasting via waterinlaat, maar ook onderwaterdrains zorgen netto bezien niet voor een duidelijke afname van de stikstofuitspoeling.

Bij fosfor draagt de uitspoeling via mest normaliter in belangrijke mate bij aan de totale belasting. Onderwaterdrains maken dat de netto uitspoeling afneemt omdat er via mest minder P uitspoelt dan er extra bijkomt via extra uitloging van de veenbodem onder de GLG en via de waterinlaat. De peilstrategieën hebben tot gevolg dat de gemiddelde drooglegging afneemt. En een afnemende drooglegging houdt voor P in dat de uitspoeling toeneemt, tenzij er niet meer wordt bemest.

4.5 Gevolgen van peilstrategieën voor landgebruik

De mogelijke vormen van landgebruik in de veengebieden hangen samen met onder andere bodemopbouw, drooglegging en de aanwezigheid van onderwaterdrains. In het kader van deze studie wordt alleen gekeken naar de variatie in drooglegging binnen de peileenheden waarmee de peilstrategieën zijn doorgerekend. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een indeling in vier klassen die aansluiten bij verschillende vormen van natuur en landbouw:

- Zeer nat (drooglegging ≤ 0 cm). In de zomer kan op de drogere plekken de (grond)waterstand wel onder maaiveld dalen. Deze plekken zijn geschikt voor moerasnatuur.
- Erg nat (drooglegging 0 - 35 cm). Deze plekken zijn geschikt voor natte natuur en extensieve landbouw.
- Gematigd droog (drooglegging 35 - 60 cm). Hier kunnen onderwaterdrains worden ingezet. Deze gebieden zijn geschikt voor landbouw.
- Droog (drooglegging > 60 cm). Hier kunnen geen onderwaterdrains worden toegepast, maar deze gebieden zijn wel geschikt voor landbouw.

In Tabel 4.5 staat een overzicht van de oppervlaktepercentages die bij de verschillende waterpeilstrategieën in deze vier klassen vallen. De uitkomsten hebben betrekking op alleen de veengronden zonder kleidek. Het maaiveld van de veengronden met kleidek en de kleigronden met een veenondergrond zijn minder snel gedaald en hebben in de regel een grotere drooglegging. In de referentiesituatie (HH) is 95% van de oppervlakte geschikt voor landbouw en 5% voor natuur. Peilstrategie H45 komt hier het dichtst in de buurt met 85% landbouw en 15% natuur. Van de 85% dat geschikt is voor landbouw heeft een groter oppervlak een drooglegging van 35-60 cm, waardoor er desgewenst onderwaterdrains kunnen worden toegepast (mits er geen kwel voorkomt¹³). Bij de peilstrategieën H30 en V30 valt meer dan de helft in de klasse 0-35 cm (natte natuur). Erg grote peileenheden

¹³ Het onderzoek naar de randvoorwaarden voor onderwaterdrains is nog jong waardoor nog weinig kennis beschikbaar is. Het is denkbaar dat onderwaterdrains wel toepasbaar zijn bij een geringe kwel of een afwijkende drooglegging in combinatie met een specifieke draindiepte.

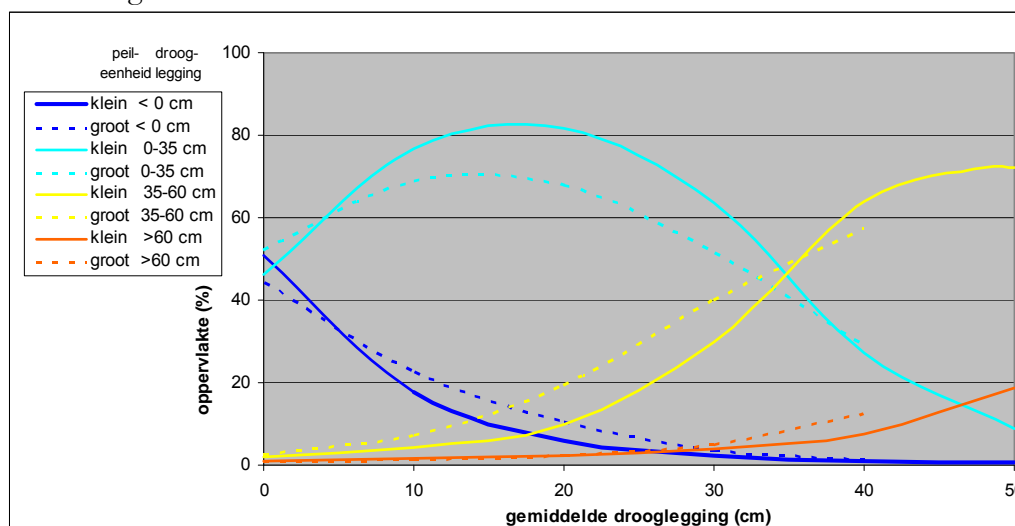
(V30) hebben de grootste verschillen in drooglegging. Delen komen onder water te staan, terwijl er ook delen zijn met een drooglegging van meer dan één meter.

Tabel 4.5 Landgebruik bij toepassing van de waterpeilstrategieën. De getallen geven de oppervlaktepercentages weer

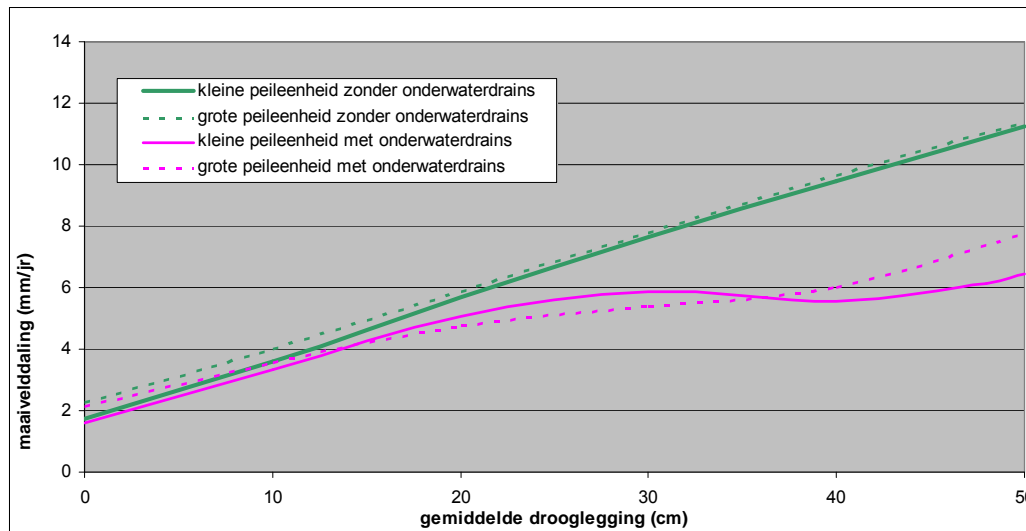
Drooglegging	Landgebruik	Peilstrategie			
		Referentie HH	H30	V30	H45
≤ 0 cm	Moerasnatuur	0,5	2	4	0,8
0 - 35	Natte natuur/ext. landbouw	5	64	51	15
35 - 60	Landbouw (evt. onderwaterdrains)	64	30	40	73
> 60	Landbouw	31	4	5	12

Naast de gemiddelde drooglegging is dus ook de grootte van de peilvakken belangrijk voor de verhouding tussen drogere en nattere delen. Met de variatie in maaiveldhoogte van de 'kleine' peileenheden (referentie HH, H30 en H45) en de 'erg grote' peileenheden (V30) zijn ook voor gemiddelde droogleggingen variërend van 0 - 50 cm ook de oppervlaktepercentages berekend die in de verschillende vochtclassen vallen. De resultaten staan in Figuur 4.7. De kleine peileenheden zijn gemiddeld 250 ha en de erg grote zijn gemiddeld 1000 ha.

Figuur 4.7 laat zien dat bij een gemiddelde drooglegging van 0 cm ongeveer de helft van zowel de kleine als de grote peileenheden onder water komen te staan. Een grotere drooglegging van bv. 20 cm gaat bij de kleinere peileenheden samen met een sterke afname van geïnundeerd oppervlak en een sterke toename van erg natte oppervlak. Ruim 80% van het oppervlak is dan geschikt voor natte natuur. Een verdubbeling van de drooglegging naar 40 cm levert een scherpe afname van natte gebieden en scherpe toename van veengronden met een drooglegging van 35 - 60 cm. Meer dan de helft van het oppervlak is dan geschikt voor landbouw, al dan niet met onderwaterdrains. Met grote peileenheden zijn de veranderingen wat geleidelijker. Alleen neemt daar het aandeel drogere gronden bij grotere droogleggingen sneller toe. Voor een kleinere peileenheid, waar minder variatie in hoogte is, kunnen drooglegging en het beoogde bodemgebruik goed op elkaar worden afgestemd.



Figuur 4.7 Verband tussen de gemiddelde drooglegging en het oppervlakteaandeel van vier vochtclassen voor kleine en grote peileenheden. De kleine peileenheden zijn gebruikt voor de peilstrategieën HH, H30 en H45 en de grote peileenheden voor peilstrategie V30



Figuur 4.8 Verband tussen de gemiddelde drooglegging en de maaivelddaling voor kleine peileenbeden (referentie HH, H30 en H45) en grote peileenbeden (V30)

Bij de berekeningen voor Figuur 4.6 is gelijktijdig de maaivelddaling berekend. Deze maaivelddaling is in Figuur 4.7 uitgezet tegen de gemiddelde drooglegging. Er zijn ook berekeningen uitgevoerd waarin onderwaterdrains zijn toegepast. Zonder onderwaterdrains neemt de maaivelddaling volgens de groene lijnen vrijwel lineair toe met de drooglegging. Onderwaterdrains zijn bij grote peileenbeden eerder inzetbaar dan bij kleine peileenbeden. Daarom neemt de maaivelddaling met grote peileenbeden bij een gemiddelde drooglegging tot ca. 40 eerder en meer af dan met de kleine peileenbeden. Voor de grotere peilvakken ligt het optimum voor onderwaterdrains bij een drooglegging van ongeveer 45 cm. Voor kleinere peilvakken ligt het optimum bij een wat grotere drooglegging (50 cm). De scherpe toename van geschikt oppervlak voor onderwaterdrains als de drooglegging toeneemt van 30 naar 40 cm zorgt zelfs dat de maaivelddaling gemiddeld genomen wat afneemt.

4.6 Peilstrategieën en klimaatverandering

De gevolgen van klimaatverandering zijn in deze studie berekend voor 2050 en 2100 voor de klimaatscenario's G en W+. Voor deze jaren heeft het KNMI de klimaatscenario's vastgesteld. Bij de berekende maaivelddaling is rekening gehouden met de toename van de oxidatie door stijging van de temperatuur en een daling van de grondwaterstand. Hiervoor zijn de resultaten uit de pilotstudie Zegveld gebruikt. In Tabel 4.6 staan de maaivelddalingen zoals die voor 2100 voor de verschillende peilstrategieën zijn berekend. Bij de maaivelddaling uit de tabel is rekening gehouden met de dikte van de veenlaag. Op plekken waar die laag dun is zal het veen al voor 2100 'op' zijn.¹⁴

¹⁴ In werkelijkheid is de overgang veel minder abrupt omdat de maaivelddaling afneemt naarmate het aandeel minerale delen toeneemt.

Tabel 4.6 Gemiddelde maaiveldddaling in centimeters tussen 2008 en 2100 van de veengebieden zonder kleidek bij verschillende klimaatscenario's

Strategie	Onderwater drains	Klimaat		
		Huidig	Gematigd	Warm+
Ref. HH	nee	94	107	144
HHd	ja	65	73	101
H30	nee	60	71	102
H30d	ja	51	60	85
V30	nee	63	77	108
V30d	ja	49	59	87
H45	nee	84	97	133
H45d	ja	57	65	92

Met klimaatscenario W+ neemt de maaiveldddaling in 2100 met ongeveer een halve meter toe ten opzichte van het huidige klimaat. Bij de peilstrategieën H30 en V30 is de toename iets minder groot. Als er plekken zijn waar het veen 'op' is, dan zal de gemiddelde maaiveldddaling afnemen. De afname van het oppervlakte met veen is in 2100 bij klimaatscenario G 14% en bij klimaatscenario W+ 38%. Op plekken met een dikke veenlaag waar de maaiveldddaling gewoon doorgaat bedraagt de maaiveldddaling met het huidige peilregime en met klimaatscenario G 110 cm en met het huidige peilregime en met klimaatscenario W+ 162 cm.

In Figuur 4.9 en Figuur 4.10 staan als voorbeeld van de toekomstige maaiveldddaling voor respectievelijk Polder de Zeevang en het gebied ten noordoosten van Zegveld:

- de actuele maaiveldhoogte
- de maaiveldhoogte in 2100 met het huidige peilregime en klimaatscenario W+
- de maaiveldhoogte in 2100 met peilregime 1 en klimaatscenario W+
- het verschil in maaiveldhoogte in 2100 door toepassing van onderwaterdrains in peilregime 1. Uit dit figuur kan ook de begrenzing van het veengebied (inclusief veen met een kleidek en de klei-op-veengronden) worden afgelezen.

Met het huidige peilregime neemt de maaiveldhoogte op plekken met veen zonder kleidek met meer dan 1,5 m af. Bebouwde gebieden en wegen ed. zullen veelal de huidige maaiveldhoogte houden. Dat geldt ook voor bestaande natte natuurgebieden. Deze steken dan hoog boven de omgeving uit. Dit heeft gevolgen voor de kwel of wegzijging die respectievelijk zal af- of toenemen. Ook zal het moeilijker worden om aan de groeiende waterbehoefte van deze gebieden te voldoen. Omdat de invloed van neerslagwater en het inlaatwater toeneemt wijzigen ook de groeiomstandigheden voor de vegetatie in de natuurgebieden.

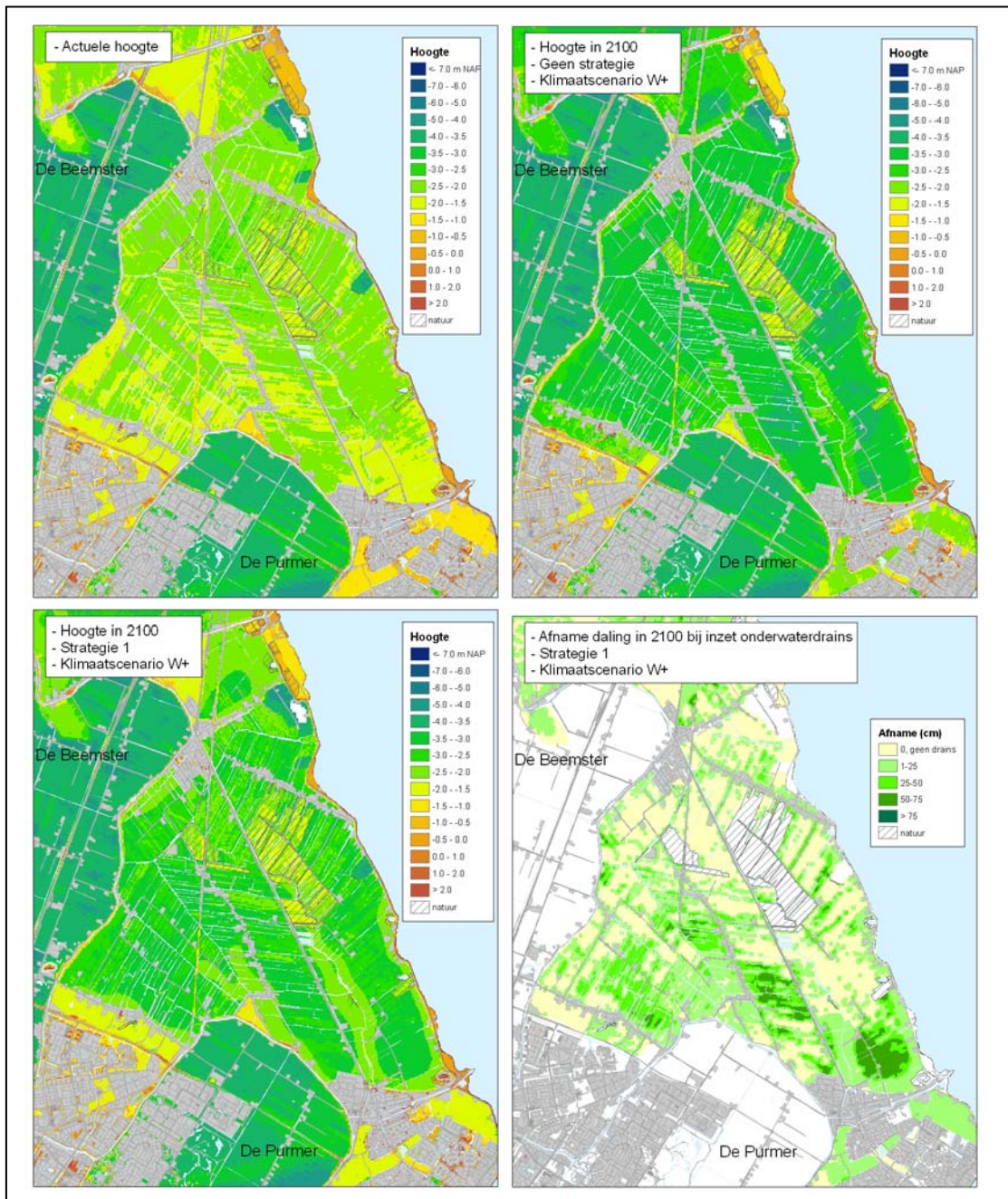
In vergelijking met het huidige peilregime zorgen de peilstrategieën H30 en V30 met klimaatscenario W+ in de veengebieden voor afname van de maaiveldddaling met een halve meter in 2100. Volgens Figuur 4.9 en Figuur 4.10 kan de vermindering van de maaiveldddaling door onderwaterdrains oplopen tot meer dan een halve meter. In werkelijkheid zal de drooglegging op de gedraineerde plekken langzaam groter worden dan de omgeving omdat het maaiveld minder snel daalt. Onderwaterdrains worden er dan minder effectief. Aan de andere kant zullen plekken die nu niet of minder geschikt zijn voor onderwaterdrains dat wel worden. Over een groter gebied

zal de maaiveldddaling bij de peilstrategieën H30 en V30 met ongeveer 20 cm afnemen. Met peilstrategie H45, dat meer toegesneden is op de inzet van onderwaterdrains, neemt de maaiveldddaling met ongeveer 30 cm af (vgl Tabel 4.6).

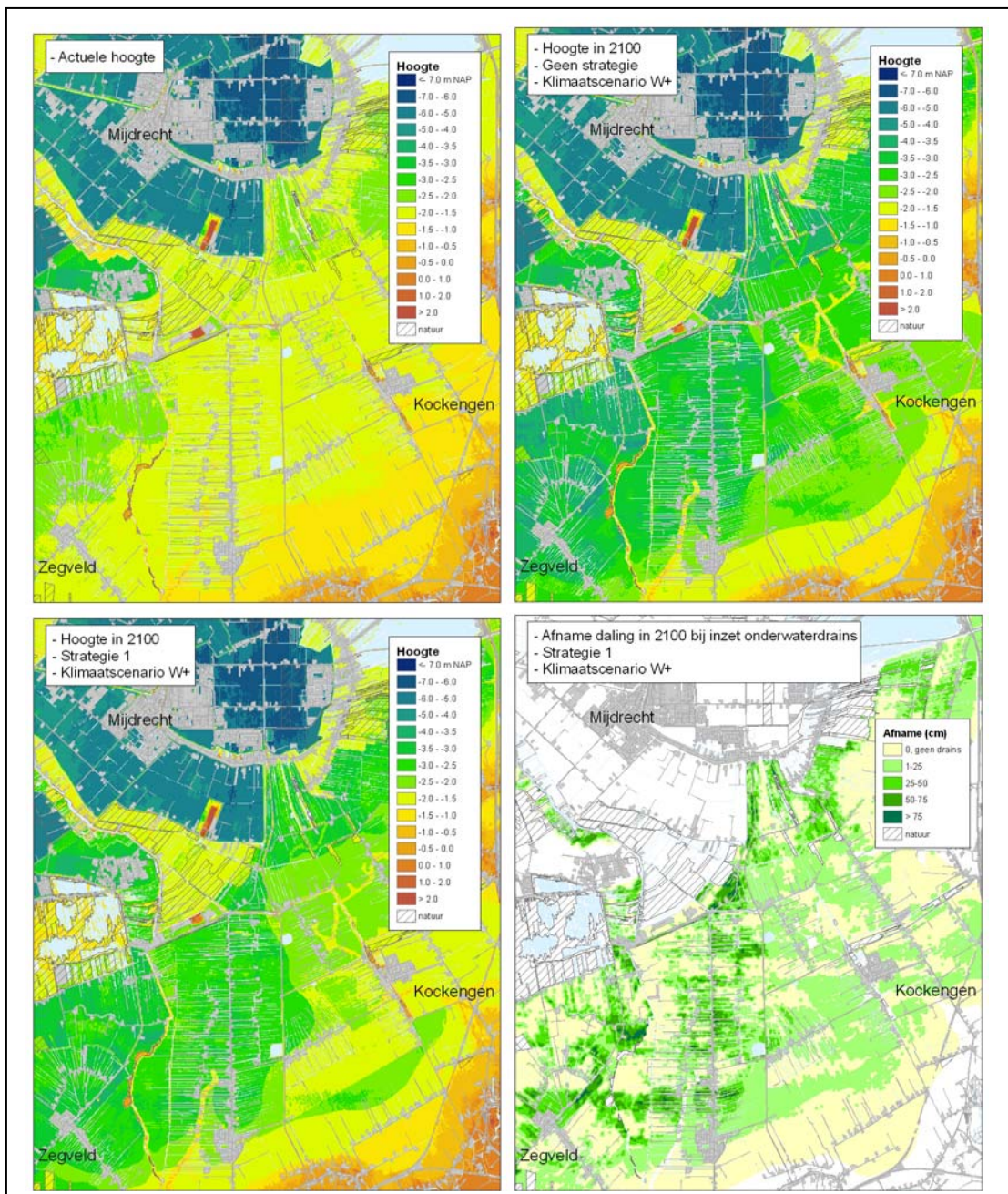
In Tabel 4.7 staat voor het hele westelijke veenweidegebied (exclusief bebouwde gebieden en natuurgebieden) de afname van de hoeveelheid veen bij de verschillende peilstrategieën en de hoeveelheid CO₂ die daarbij vrijkomt. De CO₂-emissie is direct gecorreleerd aan de hoeveelheid veen die oxideert. Hier is uitgegaan van het vrijkomen van 2,3 ton CO₂ per ha per jaar per mm maaiveldddaling zoals ook in hoofdstuk 4.4 is aangenomen.

Tabel 4.7 Afname van veen en de hoeveelheid kooldioxide die daarbij vrijkomt in 2050 en 2100 in het westelijke veenweidegebied met de klimaatscenario's G en W+ bij verschillende peilstrategieën

Strategie	Afname veen (x 10 ⁶ m ³)				CO ₂ (x10 ⁶ ton)			
	G2050	G2100	W2050	W2100	G2050	G2100	W2050	W2100
0 zonder drains	225	548	291	756	52	126	67	174
0 met drains	174	431	227	606	40	99	52	139
1 zonder drains	136	349	179	500	31	80	41	115
1 met drains	117	307	156	445	27	71	36	102
2 zonder drains	140	359	184	510	32	83	42	117
2 met drains	116	302	154	436	27	70	35	100
3 zonder drains	189	469	246	655	44	108	57	151
3 met drains	142	359	186	512	33	83	43	118



Figuur 4.9 Actuele maaiveldhoogte, maaivelddaling bij huidige peilregime en met peilstrategie H30 in 2100 in Polder de Zeevang alsmede het verschil in daling bij inzet van onderwaterdrains bij peilstrategie H30



Figuur 4.10 Actuele maaiveldhoogte, maaivelddaling bij huidige peilregime en met peilstrategie H30 in 2100 in het gebied Zegveld-Kockengen alsmede het verschil in daling bij inzet van onderwaterdrains bij peilstrategie H30

In Tabel 4.8 staat de procentuele verandering ten opzichte van de referentie zonder onderwaterdrains. In zowel Tabel 4.7 als Tabel 4.8 is de afname van de veenvoorraad van de veengronden, de veengronden met een kleidek en klei met veenondergrond gesommeerd. In de bijlagen 6, 7 en 8 is wel het onderscheid gemaakt naar bodemopbouw. In werkelijkheid zal de emissie groter zijn omdat hier veen in bebouwde gebieden en in natuurgebieden niet is meegenomen.

De verschillen tussen de peilstrategieën H30 en V30 zijn klein. Met onderwaterdrains treedt in 2050 bijna een halvering op ten opzichte van de referentie zonder onderwaterdrains. In 2100 wordt het verschil kleiner omdat het veen van een groter percentage veengronden al volledig is geoxideerd.

Tabel 4.8 Hoeveelheid veen dat verdwijnt ten opzichte van de referentie zonder onderwaterdrains

Strategie	Hoeveelheid tov strat. 0 zonder onderwaterdrains (=100)			
	G2050	G2100	W2050	W2100
0 zonder drains	100	100	100	100
0 met drains	78	79	78	80
1 zonder drains	60	64	61	66
1 met drains	52	56	53	59
2 zonder drains	62	66	63	68
2 met drains	51	55	53	58
3 zonder drains	84	86	85	87
3 met drains	63	66	64	68

Literatuur

- AHN, 2004. Algemeen hoogtebestand Nederland. www.ahn.nl
- Akker, J.J.H. van den, J. Beuving, R.F.A. Hendriks en R.J. Wolleswinkel, 2007. Maaiveldaling, afbraak en CO₂-emissie van Nederlandse veenweidegebieden. *Leidraad Bodembescherming*, afl. 83. p 5501-1-15. SDU-Uitgevers.
- Berendse, H.J.A., 2004. *De vorming van het land. Inleiding in de geologie en de geomorfologie*. Fysische Geografie van Nederland. Assen: Van Gorcum, 410 p.
- Beuving J. en J.J.H. van den Akker, 1996. *Maaiveldaling van veengrasland bij twee slootpeilen in de polder Zegveldbroek*. Rapport 377. DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Bont, Chr. de, 2009. *Vergeeten land. Ontginning, bewoning en waterbeheer in de westnederlandse veengebieden (800 -1350)*. Deel 1, 2 en 3. Alterra, Wageningen.
- Bos, R. van den, 2009. *Invloed van de mens op koolstof-fluxen in kustveengebieden; proces-analyse, kwantificering en voorspelling*. Proefschrift VU, Amsterdam.
- CGI, 2007. *Landgebruik Nederland, LGN5*. ESG/Alterra, Wageningen.
- Griffioen, J., J.G.B. de Louw, H.L. Boogaard en R.F.A. Hendriks, 2002. *De achtergrondbelasting van het oppervlaktewatersysteem met N, P en Cl en enkele ecohydrologische parameters in West-Nederland*. TNO-rapport NITG 02-166A.
- Groenendijk, P., L.V. Renaud en J. Roelsma, 2005. *Prediction of Nitrogen and Phosphorus leaching to groundwater and surface waters; Process descriptions of the animo4.0 model*. Alterra Wageningen, rapport 983. 114 pp.
- Hendriks, R.F.A., 1993. *Nutriëntenbelasting van oppervlaktewater in veenweidegebieden*. DLO-Staring Centum. Rapport 251. Wageningen.
- Hendriks, R.F.A., R. Kruijne, J. Roelsma, K. Oostindie, H.P. Oosterom en O.F. Schoumans, 2004. *Berekening van de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater vanuit landbouwgronden in vier poldergebieden. Analyse van de bronnen*. Rapport 408, Alterra, Wageningen.
- Hendriks, R.F.A., D.J.J. Walvoort en M.H.J.L. Jeuken, 2006. *Dove-veen. Evaluation of SWAP and ANIMO for simulating nutrient loading of surface water for a peat land area; Calibration, validation, and system and scenario analysis for a study area in the Vlietpolder*. Alterra, Wageningen, rapport 619.
- Hoving, I.E. en J.A. de Vos, 2006. *Verminderde drooglegging en melkveebedrijven in de Krimpenerwaard*. Animal Science Group, Lelystad.

Jansen, P.C., E.P. Querner en C. Kwakernaak, 2007. *Effecten van waterpeilstrategieën in veenweidegebieden; Een scenariostudie in het gebied rond Zegveld*. Alterra rapport 1516. Wageningen.

Jansen, P.C., E.P. Querner en C. Kwakernaak, 2008. *Effecten van waterpeilstrategieën in veenweidegebieden. Een scenariostudie in een gebied met klei-op-veen rond Linschoten*. Alterra rapport 1666. Wageningen.

Jansen, P.C., E.P. Querner en J. van den Akker, 2010. *Onderwaterdrains in het veenweidegebied en de gevolgen voor de inlaatbehoefte, de afvoer van oppervlaktewater en voor de maaiveldafvaling*. Alterra rapport 1872. Wageningen.

Jansen, P.C., J.J.H. van den Akker en E.P. Querner, 2009. *De huidige en toekomstige watervraag van veengronden in het Groene Hart: verkenning naar het effect van onderwaterdrains*. Notitie Alterra, Wageningen.

KNMI, 2006.

<http://www.knmi.nl/klimaatscenarios/knmi06/samenvatting/index.html>

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*. Alterra-report 1649. Wageningen-UR, Alterra, Wageningen. 262 pp.

Kuikman, P.J., Akker en F. de Vries, 2005. *1 Emissie van N₂O en CO₂ uit organische landbouwbodems*. Alterra rapport 1035, Wageningen.

Lamers, L.P.M., 2001. *Tackling biogeochemical questions in peatlands*. Proefschrift K.U. Nijmegen, Nijmegen.

Lamers, L., M. Klinge en J. Verhoeven, 2001. *OBN Preadvies laagveenwateren*. Expertisecentrum LNV, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Wageningen.

Meulenkamp, W.J.H., C.H.M. de Bont, P.J.Hofman, O. de Jong, J.R. Mulder, R.J.W. Olde Loohuis en W.A. Rienks, 2008. *Veenweide: remmen of doorstarten? Vanuit cultuurhistorie naar de toekomst*. Alterra, rapport 1535, Wageningen.

Pleijter, M., F. Brouwer en R. Visschers, 2007. *Actualisatie en ligging van de veengronden in Rijnland. Polder Zuidgeest*. Alterra rapport 1566.

Pleijter, M., F. Brouwer en M.M. van der Werf, 2007. *Actualisatie en ligging van de veengronden in Rijnland. Zuid- en Noordeinderpolder*. Alterra rapport 1585, Wageningen.

Pleijter, M. en M.M. van der Werf, 2007. *Actualisatie en ligging van de veengronden in Rijnland. Polder Middelburg en Tempel*. Alterra rapport 1591, Wageningen.

Rötter, R., J.J.M. van Grinsven, P. Boers, A.H.W. Beusen en O. Oenema, 2001. *De status van het rekeninstrumentarium STONE versie 2.0*. Alterra rapport 378. Reeks Milieuplanbureau no 17.

Schothorst, C.J., 1967. Bepaling van de componenten van de zakking na grondwaterstands-daling. *Landbouwkundig Tijdschrift* 79 (11).

Schothorst, C.J., 1978. Het zakkingsproces bij ontwatering van de westelijke veenwiedegronden. *Landbouwkundig Tijdschrift* 90 (6).

Stiboka, 1963-1982. *Bodemkaart van Nederland*. Stichting voor Bodemkartering. Wageningen.

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.

Task Force Noord-Hollands Midden, 2003. *Toekomst veen(weide)gebied Noord-Hollands Midden*. Provincie Noord-Holland, Haarlem.

Tate, R.L., 1989. *Soil organic matter. Biological and Ecological Effects*. New York, John Wiley & Sons. 291 pp.

Zagwijn, W.H., 1986. *Nederland in het Holoceen*. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.

Bijlage 1 Vergelijking oude en recente hoogtemetingen

In de periode vanaf 1945 is met een dichtheid van één waarneming per ha de maaiveldhoogte in het landelijk gebied gemeten. Van het bestand met waarnemingen in het westelijk veengebied zijn de waarnemingen waarvan de opnamedatum onzeker is en punten waar het landgebruik vergravingen doen vermoeden niet in beschouwing genomen. Ook waarnemingen in droogmakerijen, petgaten, moerassen, ed. en punten waarvan het maaiveld niet is gedaald of juist een onverklaarbare grote daling te zien geven zijn niet gebruikt. Tot slot zijn de meetpunten die in oligotrofe veengebieden met kwel liggen ook niet in beschouwing genomen. Oligotroof veen is tijdens de genese onder invloed van inzijgend regenwater gevormd.

Uiteindelijk resteerden enkele tienduizenden geschikte meetpunten. Hiervan is het verschil berekend met de hoogte in 2004 volgens het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN). Er konden geen significante relaties worden aangetoond tussen gemiddelde maaiveld daling enerzijds en bodemtype, kwel, veensoort en drooglegging anderzijds. Voor een grovere indeling in bodemtypen, kwel en veensoort konden wel verschillen worden aangetoond.

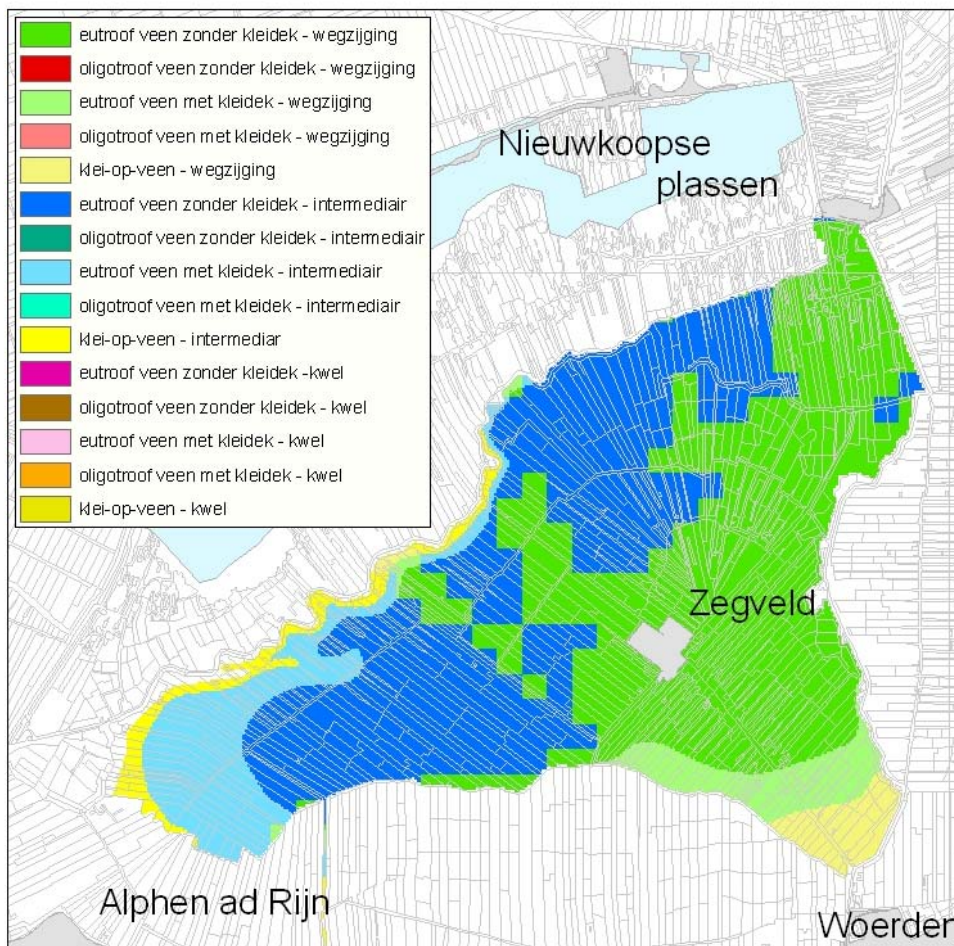
Als bodemtypen zijn veen, veen met een kleidek en klei met een veenondergrond onderscheiden om aan te kunnen sluiten bij de bestaande relaties tussen maaiveld daling en drooglegging (Figuur 3.2). Voor kwel is gebruik gemaakt van de gebiedsdekkende zomerkwelkaart van Griffioen et al. (2001). Deze kaart is opgedeeld in kwel- en wegzijgingsgebieden zonder dat rekening is gehouden met de grootte van de fluxen. Tot slot is de indeling in veensoorten gebaseerd op de bodemkaart 1 : 50.000. Onderscheiden zijn oligotroof veen (veenmosveen) dat vooral in Noord-Holland en het Vechtplassengebied voorkomt en meso- + eutrofe veen (zeggeveen, bosveen, rietzeggeveen) waar de rest van het westelijk veengebied uit bestaat.

Bijlage 2 Vergelijking maaiveld dalingen met pilot Zegveld

In de pilotstudie Zegveld (Jansen et al., 2007) is een peilstrategie doorgerekend waarbij het gebied is opgedeeld in tweeën. De noordelijke helft komt grotendeels overeen met één van de geclusterde peileenheden met peilstrategie V30 uit deze studie. In beide gevallen is de drooglegging gelijk, namelijk 30 cm beneden de gemiddelde maaiveldhoogte. Dit biedt de mogelijkheid om voor de overlappende gebieden de uitkomsten, die op verschillende manieren berekend zijn, met elkaar te vergelijken.

In de pilotstudie is de maaiveld daling berekend aan de hand van de gemiddeld laagste grondwaterstanden die met het hydrologische model SIMGRO zijn berekend. Verder zijn de overgangen tussen bodemeenheden vereffend waardoor de maaiveld daling ook een geleidelijker verloop heeft. De rekeneenheden zijn polygonen, waarvan de middelpunten ongeveer 75 m van elkaar liggen.

Bij de extrapolatie wordt de maaiveld daling direct berekend uit de drooglegging waarbij rekening wordt gehouden met verschillen in bodemopbouw, veensoort en kwel (figuur B1). Gerekend wordt met gridcellen van 25 x 25 m.

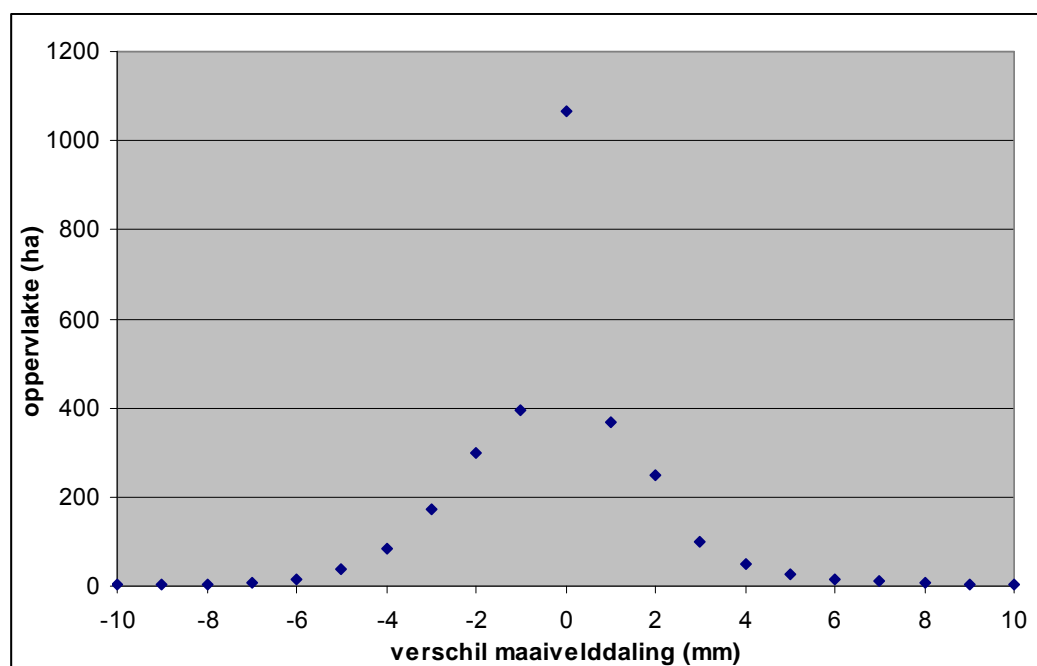


Figuur B1. Indeling van het toetsgebied bij Zegveld naar rekenrelaties voor de maaiveld daling bij de extrapolatie

De verschillen in maaiveldddaling uit de pilotstudie en deze studie laten een normale verdeling zien. Voor deze studie is de drooglegging als volgt aangepast aan de hand van het verband tussen de kwelflux en de maaiveldddaling (Figuur 3.5):

- + 2 cm in wegzijgingsgebieden
- 4 cm in intermediaire gebieden
- 10 cm in kwelgebieden

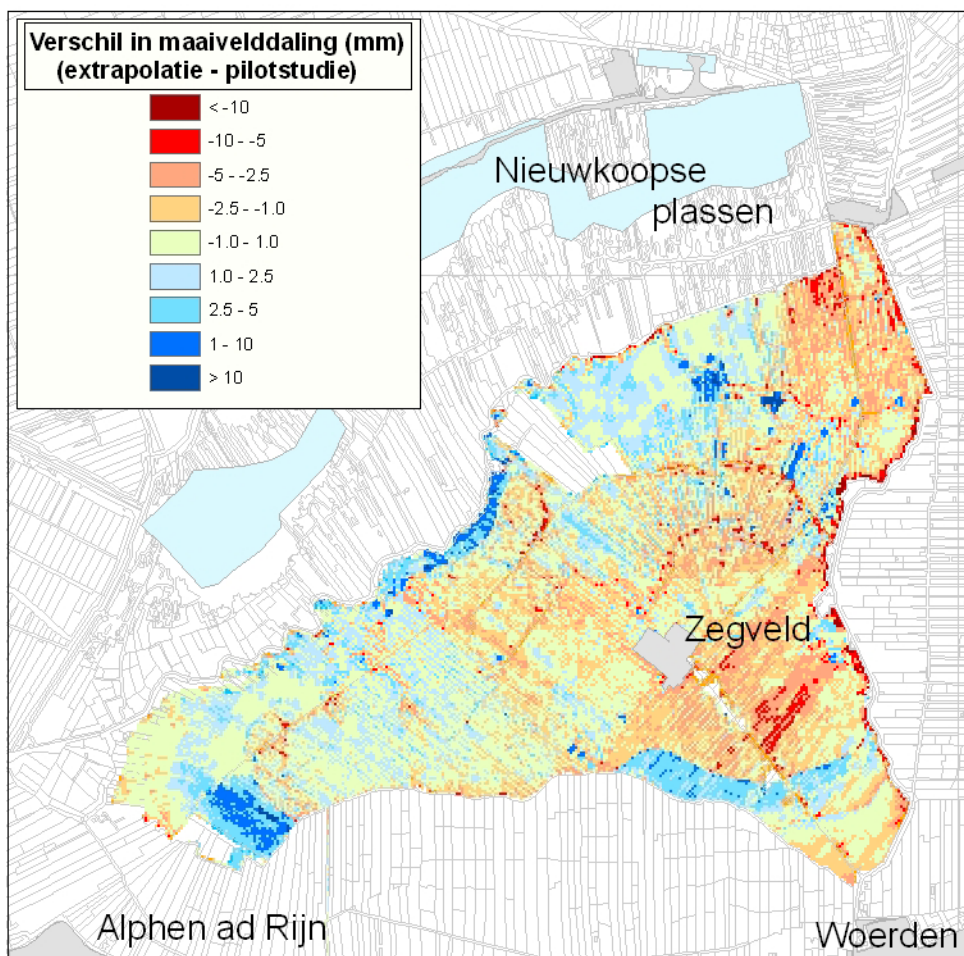
Het verschil tussen wegzijging en intermediair en tussen intermediair en kwel is even groot is. De range van + 2 tot - 10 cm past binnen de verschillen die tussen kwel- en wegzijgingsgebieden in Figuur 3.5 zijn aangetoond. Dat de aanpassing bij wegzijging en in intermediaire situaties het kleinst zijn is verklaarbaar uit het feit dat de oorspronkelijke relaties tussen drooglegging en maaiveldddaling op metingen zijn gebaseerd die vaak ook in wegzijgingssituaties zijn gedaan.



Figuur B2 Verdeling van de verschillen tussen de berekende maaiveldddaling in de pilotstudie Zegveld en de extrapolatieberekening voor een vergelijkbare waterpeilstراتيجية

De ruimtelijke verschillen in maaiveldddaling tussen de pilotstudie en de extrapolatieberekeningen staan in figuur B3. De verschillen in maaiveldddaling zijn terug te voeren op de verschillen in methoden die zijn toegepast. In het figuur zijn verschillende randeffecten te herkennen. Langs het boezemwater De Grecht die aan de oostzijde van het gebied grenst levert dijkkwel in de pilotstudie een hoge grondwaterstand cq. weinig maaiveldddaling op, in tegenstelling tot de extrapolatiestudie die daar geen rekening mee houdt. Aan de noordrand, langs het riviertje De Meije, gebeurt het omgekeerde met wegzijging naar de Nieuwkoopse plassen. In de zuidelijke delen hangen de verschillen samen met overgangen van veen naar veen met kleidek en klei op veengronden.

Bij de verschillen in het meer centraal gelegen gebied levert een berekening via de grondwaterstand in de pilotstudie wat gedemptere uitkomsten op voor erg droge omstandigheden.



Figuur B3 Verskil tussen de berekende maaiveldaling in de pilotstudie Zegveld en de extrapolatieberekening voor een vergelijkbare waterpeilstrategie

Bijlage 3 Relaties tussen drooglegging en waterafvoer en wateraanvoer voor regulier en flexibel peilbeheer

De vergelijkingen zijn alleen geldig voor omstandigheden vergelijkbaar met die in het modelgebied

peilregiem	ow-drains	vergelijking*)
VEEN		
wateraanvoer gemiddelde zomer		
regulier	nee	$y = 50.476x^2 - 133.23x + 177.59$
flexibel	nee	$y = -3.3333x^2 - 87.9x + 139.84$
regulier	ja	$y = -87.273x^2 - 30.618x + 191.69$
flexibel	ja	$y = -148.18x^2 + 22.555x + 138.81$
wateraanvoer zeer droge zomer		
regulier	nee	$y = -25.714x^2 - 92.657x + 292.52$
flexibel	nee	$y = -214.29x^2 + 35.857x + 247.8$
regulier	ja	$y = -419.09x^2 + 276.43x + 234.81$
flexibel	ja	$y = -354.55x^2 + 159.36x + 248.01$
waterafvoer gemiddelde winter		
regulier	nee	$y = 10x^2 + 57.7x + 260.77$
flexibel	nee	$y = -40.952x^2 + 86.657x + 243.75$
regulier	ja	$y = -38.182x^2 + 100.85x + 263.22$
flexibel	ja	$y = -17.273x^2 + 74.482x + 253.46$
waterafvoer zeer natte winter		
regulier	nee	$y = 19.524x^2 + 59.129x + 442.5$
flexibel	nee	$y = -78.095x^2 + 125.49x + 424.29$
regulier	ja	$y = 91.818x^2 - 14.245x + 467.45$
flexibel	ja	$y = 122.73x^2 - 51.318x + 467.8$
KLEI OP VEEN		
wateraanvoer gemiddelde zomer		
regulier	nee	$y = 116.67x^2 - 202.1x + 196.37$
flexibel	nee	$y = -34.762x^2 - 65.614x + 138.59$
regulier	ja	$y = 726.67x^2 - 851.67x + 393.3$
flexibel	ja	$y = 99.091x^2 - 224.83x + 199.71$
wateraanvoer zeer droge zomer		
regulier	nee	$y = -27.143x^2 - 111.67x + 298.68$
flexibel	nee	$y = -233.33x^2 + 61.6x + 241.84$
regulier	ja	$y = 452.73x^2 - 614.02x + 452.81$
flexibel	ja	$y = 37.273x^2 - 224.68x + 339.4$
waterafvoer gemiddelde winter		
regulier	nee	$y = 57.619x^2 + 12.643x + 271.61$
flexibel	nee	$y = -18.095x^2 + 71.486x + 246.68$
regulier	ja	$y = 618.18x^2 - 553.85x + 420.88$
flexibel	ja	$y = 197.27x^2 - 155.48x + 311.64$
waterafvoer zeer natte winter		
regulier	nee	$y = 18.571x^2 + 58.986x + 442.17$
flexibel	nee	$y = -45.714x^2 + 97.143x + 429.92$
regulier	ja	$y = 305.45x^2 - 228.04x + 517.93$
flexibel	ja	$y = 169.09x^2 - 120.13x + 488.2$
*) x = drooglegging (m) y = waterafvoer (mm/winterhalfjaar) cq. wateraanvoer (mm/zomerhalfjaar)		

Bijlage 4 Maaiveldaling in afzonderlijke peileenheden bij verschillende peilstrategieën

VEEN ZONDER KLEIDEK										
Eenheid (*)	Opp (ha)	REFERENTIE		Peilstrategie H30		Peilstrategie V30		Peilstrategie H45		
		zonder drains	met drains	zonder drains	met drains	zonder drains	met drains	zonder drains	met drains	
1	1257	9.8	6.2	6.2	5.4	6.3	5.3	8.9	5.5	
2	1982	9.4	6.3	6.0	5.3	5.8	3.9	8.4	5.6	
3	1172	10.4	7.1	6.1	5.2	6.1	5.1	8.5	5.4	
6	376	11.1	8.2	6.3	5.3	6.4	5.3	8.6	5.7	
10	1166	9.9	6.2	6.3	5.4	6.1	4.6	8.8	5.5	
11	374	9.1	6.0	6.3	5.3	6.3	5.3	8.4	5.7	
12	2031	10.2	7.2	6.8	5.6	6.9	5.5	9.3	6.4	
13	987	10.8	7.2	7.4	6.2	7.3	5.9	9.9	6.5	
15	306	10.2	6.0	6.8	6.0	6.8	5.7	9.4	5.6	
16	72	10.3	6.6	6.8	5.8	6.7	5.7	9.4	6.0	
20	324	14.7	13.5	8.1	6.9	7.8	6.7	14.7	13.4	
21	181	10.1	9.5	5.6	5.5	5.8	5.5	9.8	9.2	
22	171	11.1	7.4	7.0	6.6	7.0	6.5	9.4	5.9	
23	54	12.2	9.8	7.1	6.3	7.1	6.3	9.9	6.8	
24	23	14.6	14.6	7.2	6.6	7.2	6.4	14.6	14.6	
25	182	9.0	6.9	5.7	5.2	5.5	5.4	8.2	6.3	
26	1181	10.7	7.7	7.1	5.7	7.0	5.4	9.6	6.8	
27	1545	10.3	7.1	7.1	5.8	7.1	5.8	9.5	6.5	
29	1947	10.1	6.9	6.7	5.5	6.7	5.3	9.4	6.3	
31	390	10.5	7.6	7.1	5.7	7.1	5.7	9.7	6.8	
32	398	11.4	8.5	7.8	6.5	9.3	7.0	10.7	7.9	
33	839	10.2	7.3	6.6	5.2	6.6	5.2	9.3	6.5	
34	672	11.0	8.6	6.9	5.8	7.0	5.9	9.0	6.9	
35	352	9.7	6.4	6.3	5.4	6.2	5.3	8.8	5.9	
36	2091	10.0	7.2	6.5	5.3	6.6	5.3	9.1	6.6	
38	270	11.5	8.3	6.8	5.8	6.7	5.5	9.7	6.3	
39	84	10.6	6.7	6.5	5.6	6.6	5.3	9.4	5.6	
40	32	10.6	5.9	6.7	6.0	6.6	5.8	9.7	5.4	
41	454	10.4	6.7	7.2	6.1	7.2	6.1	9.7	6.4	
43	70	11.3	8.3	6.9	5.9	6.9	5.5	9.1	5.8	
44	129	11.1	8.5	6.9	5.7	6.8	5.2	9.0	6.4	
301	3836	9.7	6.3	6.2	5.3	8.2	5.5	8.9	5.7	
302	865	10.2	6.9	6.1	5.2	6.0	4.5	8.4	5.3	

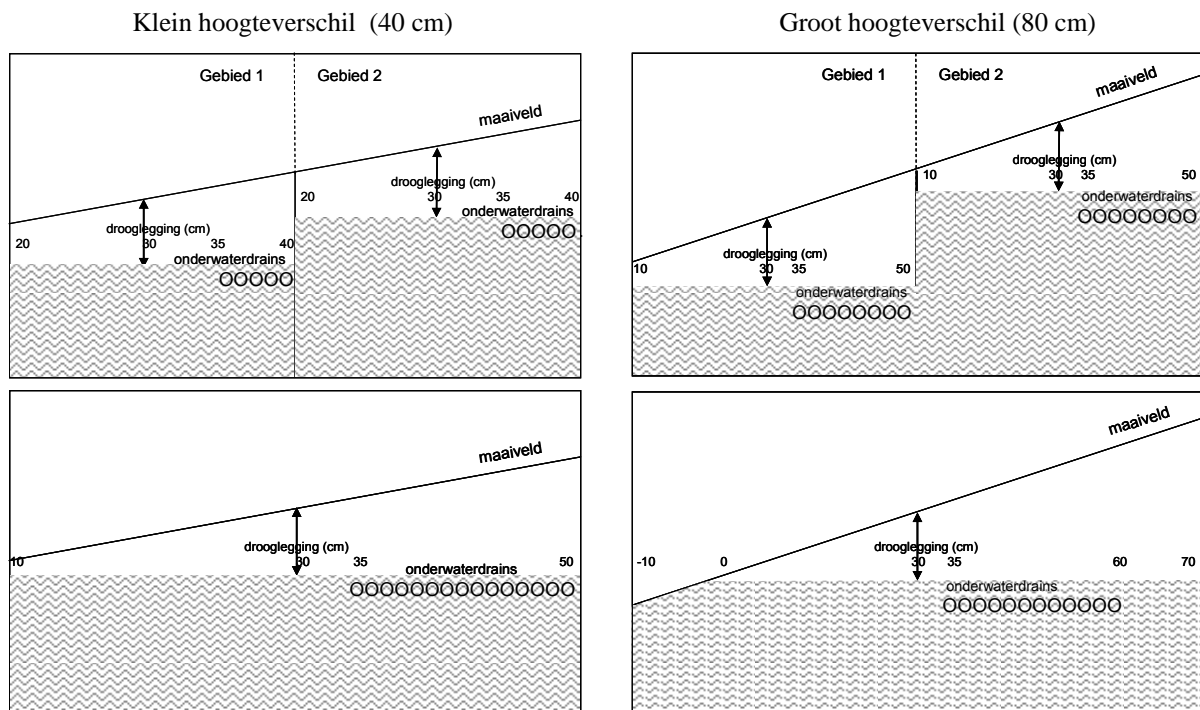
VEEN MET KLEIDEK										
Eenheid	Opp (ha)	REFERENTIE		STRATEGIE 1		STRATEGIE 2		STRATEGIE 3		
		zonder drains	met drains	zonder drains	met drains	zonder drains	met drains	zonder drains	met drains	
1	374	4.9	4.5	2.1	1.8	0.9	0.8	3.2	2.7	
2	1769	4.3	3.8	1.9	1.8	2.2	1.9	3.2	2.9	
3	525	4.8	4.3	1.8	1.7	2.0	1.8	3.2	2.6	
6	1841	4.9	4.5	2.1	1.8	2.1	1.9	3.2	2.7	
10	487	4.8	4.1	2.5	2.1	2.9	2.4	3.9	3.3	
11	178	4.8	4.3	2.9	2.5	2.9	2.5	4.3	3.7	
12	676	4.9	4.3	2.2	2.0	3.1	2.7	3.8	3.2	
13	327	6.4	5.8	3.6	3.4	3.8	3.6	5.2	4.7	
20	71	5.4	4.6	1.2	1.1	1.7	1.7	3.9	3.3	
21	227	4.8	4.6	1.7	1.6	1.4	1.4	4.7	4.5	
22	224	5.5	4.9	2.3	2.2	2.5	2.4	3.8	3.3	
23	74	5.8	5.3	2.4	2.3	2.5	2.3	4.0	3.7	
25	225	3.4	3.1	1.6	1.5	1.3	1.2	2.9	2.6	
26	584	5.5	4.9	2.5	2.2	3.7	3.1	3.9	3.2	
27	510	5.5	5.0	2.7	2.3	2.8	2.3	4.2	3.5	
29	370	4.4	3.7	2.2	2.0	3.0	2.6	4.0	3.4	
33	243	4.5	3.9	2.3	2.1	2.1	2.0	3.9	3.4	
34	724	5.1	4.8	2.4	2.1	2.3	2.0	3.5	3.1	
35	207	5.1	4.7	2.7	2.5	2.8	2.5	4.2	3.7	
36	406	4.8	4.4	2.7	2.5	2.7	2.5	4.2	3.8	
38	235	5.3	4.7	1.9	1.8	1.9	1.8	3.6	3.0	
39	31	5.5	4.8	2.6	2.4	2.5	2.3	4.2	3.6	
40	13	4.8	4.1	2.3	2.0	2.6	2.2	4.2	3.5	
41	180	7.2	6.6	5.1	4.7	5.1	4.7	6.7	6.1	
43	145	5.6	5.0	2.5	2.3	2.4	2.2	3.8	3.1	
44	133	5.2	4.8	2.2	2.0	2.3	1.9	3.5	2.9	
301	587	3.8	3.2	1.7	1.6	2.3	2.0	3.2	2.6	
302	1047	4.8	4.3	1.9	1.7	1.9	1.6	3.3	2.7	

*) Zie Figuur 4.1

Bijlage 5 Oppervlakte van peileenheden en hoogteverschillen in relatie tot de toepasbaarheid van onderwaterdrains

Vergroting van de peileenheden, zoals bij peilstrategie V30 is gedaan, leidt in de regel tot grotere hoogteverschillen binnen de peileenheid en daarmee voor een grotere differentiatie in drooglegging. In deze studie zijn peileenheden samengevoegd die qua bodem en hoogte goed op elkaar aansluiten zodat de hoogteverschillen weinig toenemen. Daardoor komen bij een gemiddelde drooglegging van 30 cm maar weinig plekken onder water te staan (figuur B4). Onderwaterdrains kunnen wel in een groot gedeelte worden toegepast. Rechts in

Figuur getal mist staat geïllustreerd wat het gevolg is van een groter hoogteverschil. Een gedeelte komt onder water te staan en een gedeelte krijgt een grote drooglegging. Onderwaterdrains kunnen procentueel niet op meer oppervlak, maar wel in het hele traject van 35-60 cm drooglegging worden ingezet. Bij droogleggingen tussen 50 en 60 cm zijn onderwaterdrains effectiever dan bij droogleggingen tussen 35 en 45 cm. Het gedeelte dat een te grote drooglegging heeft voor onderwaterdrains (in het voorbeeld 60-70 cm) daalt het snelst. Daardoor neemt ook de drooglegging snel af. De verschillen in maaiveldhoogte nivelleren snel, waarna deze gebieden ook van onderwaterdrains kunnen worden voorzien.



Figuur B4. Verandering drooglegging door vergroting van peileenbeden en mogelijkheden voor toepassing van onderwaterdrains (peilstrategie V30 versus peilstrategie H30) voor gebieden met een klein (links) en groot (rechts) hoogteverschil. De gemiddelde drooglegging bedraagt overal 30 cm

Bijlage 6 Afname van de hoeveelheid veen bij verschillende klimaatscenario's en peilstrategieën

Strategie	Onderwaterdrains	Bodem	Afname veen (x 10 ⁶ m ³)			
			G2050	G2100	W2050	W2100
0 (referentie)	nee	veen	106	283	142	390
	nee	veen met kleidek	88	199	110	277
	nee	klei-op-veen	31	66	39	89
	totaal		225	548	291	756
0 (referentie)	ja	veen	63	184	88	268
	ja	veen met kleidek	80	181	101	250
	nee	klei-op-veen	31	66	39	89
	totaal		174	431	227	606
1	nee	veen	57	176	81	263
	nee	veen met kleidek	51	116	64	160
	nee	klei-op-veen	27	57	33	77
	totaal		136	349	179	500
1	ja	veen	43	143	63	220
	ja	veen met kleidek	48	107	60	148
	nee	klei-op-veen	27	57	33	77
	totaal		117	307	156	445
2	nee	veen	61	183	85	269
	nee	veen met kleidek	52	118	66	164
	nee	klei-op-veen	27	57	33	77
	totaal		140	359	184	510
2	ja	veen	40	136	60	209
	ja	veen met kleidek	48	109	61	150
	nee	klei-op-veen	27	57	33	77
	totaal		116	302	154	436
3	nee	veen	92	252	124	356
	nee	veen met kleidek	68	155	86	216
	nee	klei-op-veen	29	62	36	83
	totaal		189	469	246	655
3	ja	veen	52	160	74	239
	ja	veen met kleidek	61	137	76	190
	nee	klei-op-veen	29	62	36	83
	totaal		142	359	186	512

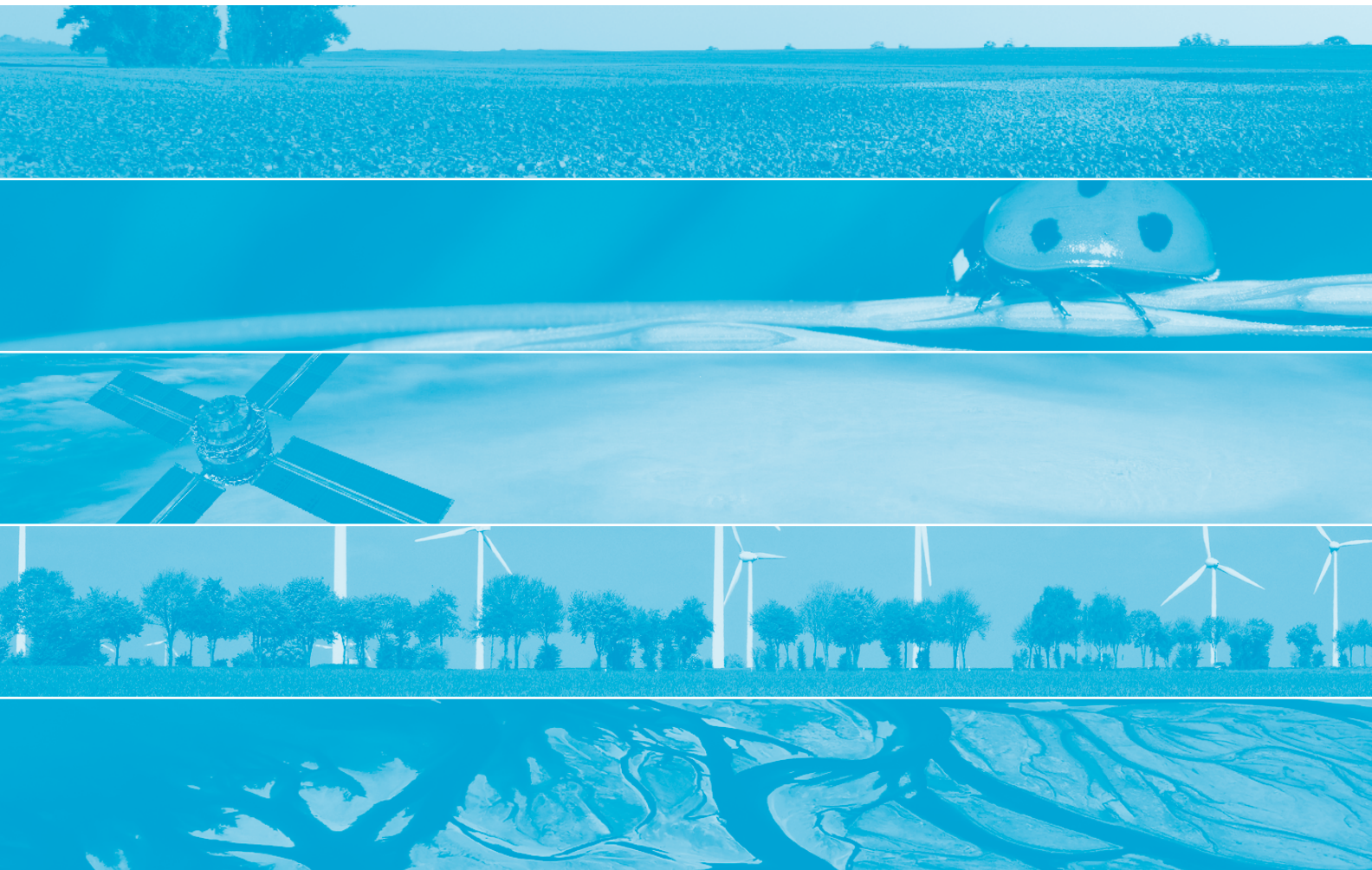
Bijlage 7 Hoeveelheid kooldioxide die vrijkomt in het westelijk veenweidegebied bij verschillende klimaatscenario's en peilstrategieën

Strategie	Onderwaterdrains	Bodem	CO ₂ (x10 ⁶ ton)			
			G2050	G2100	W2050	W2100
0 (referentie)	nee	veen	24	65	33	90
	nee	veen met kleidek	20	46	25	64
	nee	klei-op-veen	7	15	9	20
	totaal		52	126	67	174
0 (referentie)	ja	veen	15	42	20	62
	ja	veen met kleidek	18	42	23	57
	nee	klei-op-veen	7	15	9	20
	totaal		40	99	52	139
1	nee	veen	13	41	19	60
	nee	veen met kleidek	12	27	15	37
	nee	klei-op-veen	6	13	8	18
	totaal		31	80	41	115
1	ja	veen	10	33	14	51
	ja	veen met kleidek	11	25	14	34
	nee	klei-op-veen	6	13	8	18
	totaal		27	71	36	102
2	nee	veen	14	42	20	62
	nee	veen met kleidek	12	27	15	38
	nee	klei-op-veen	6	13	8	18
	totaal		32	83	42	117
2	ja	veen	9	31	14	48
	ja	veen met kleidek	11	25	14	34
	nee	klei-op-veen	6	13	8	18
	totaal		27	70	35	100
3	nee	veen	21	58	29	82
	nee	veen met kleidek	16	36	20	50
	nee	klei-op-veen	7	14	8	19
	totaal		44	108	57	151
3	ja	veen	12	37	17	55
	ja	veen met kleidek	14	31	18	44
	nee	klei-op-veen	7	14	8	19
	totaal		33	83	43	118

Bijlage 8 Geïndexeerde hoeveelheden veen en kooldioxide in 2050 en 2100 bij verschillende peilstrategieën

Verandering van hoeveelheid veen dat verdwijnt cq. de hoeveelheid kooldioxide in 2050 en 2100 met de klimaatscenario's G en W+ ten opzichte van de referentie zonder onderwaterdrains (=100). De peilstrategieën staan beschreven in hoofdstuk 4.1.2

Strategie	Onderwaterdrains	Bodem	Index afname tov actuele peilregime			
			G2050	G2100	W2050	W2100
0 (referentie)	nee	veen	100	100	100	100
	nee	veen met kleidek	100	100	100	100
	nee	klei-op-veen	100	100	100	100
		totaal	100	100	100	100
0 (referentie)	ja	veen	60	65	62	69
	ja	veen met kleidek	91	91	91	90
	nee	klei-op-veen	100	100	100	100
		totaal	78	79	78	80
1	nee	veen	54	62	57	67
	nee	veen met kleidek	58	58	58	58
	nee	klei-op-veen	86	86	86	86
		totaal	60	64	61	66
1	ja	veen	40	51	44	57
	ja	veen met kleidek	54	54	54	53
	nee	klei-op-veen	86	86	86	86
		totaal	52	56	53	59
2	nee	veen	57	65	60	69
	nee	veen met kleidek	60	59	60	59
	nee	klei-op-veen	87	87	87	86
		totaal	62	66	63	68
2	ja	veen	38	48	42	54
	ja	veen met kleidek	55	55	55	54
	nee	klei-op-veen	87	87	87	86
		totaal	51	55	53	58
3	nee	veen	87	89	88	91
	nee	veen met kleidek	78	78	78	78
	nee	klei-op-veen	94	93	94	93
		totaal	84	86	85	87
3	ja	veen	49	57	52	61
	ja	veen met kleidek	69	69	69	69
	nee	klei-op-veen	94	93	94	93
		totaal	63	66	64	68



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

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

Meer informatie: www.alterra.wur.nl