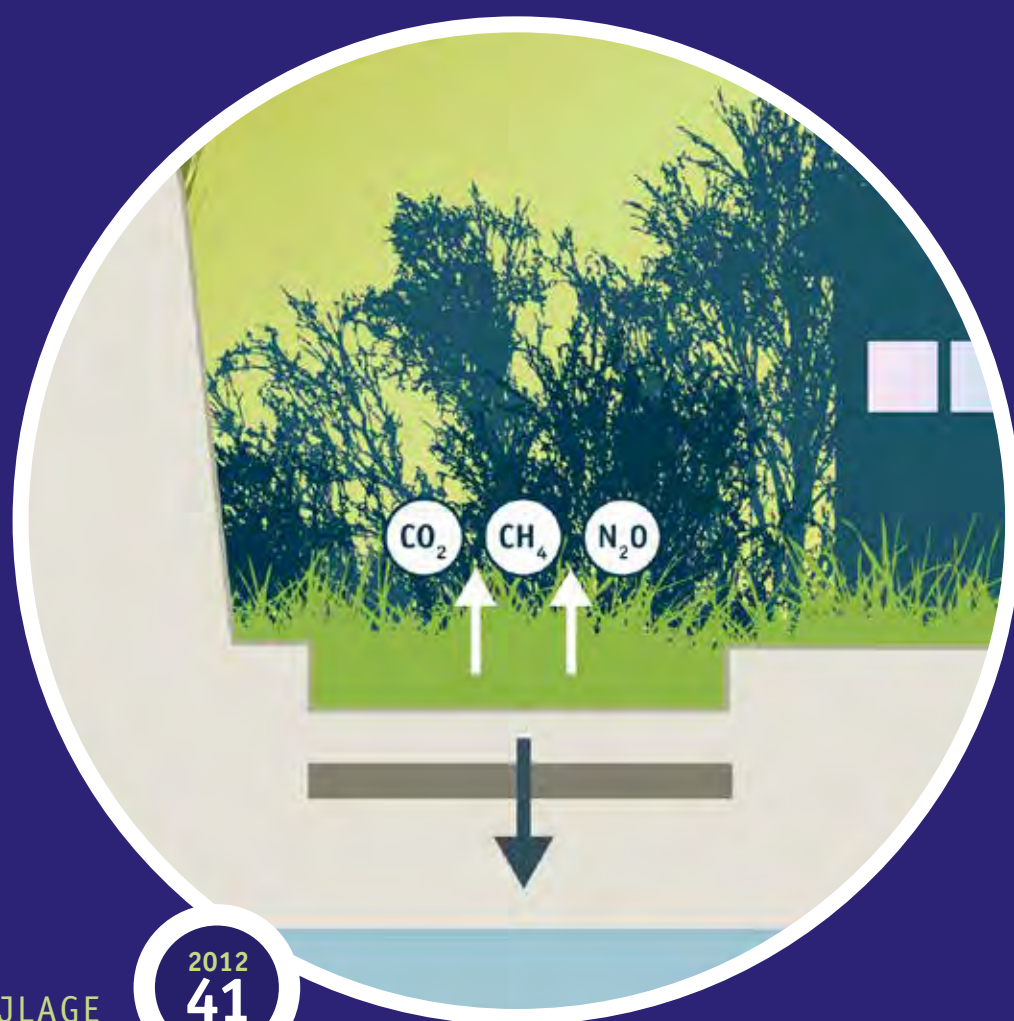


# FLEXIBEL PEIL, VAN DENKEN NAAR DOEN

BROEIKASGASUITSTOOT EN PEILBEHEER  
IN HET VEENWEIDEGEBIED



BIJLAGE

2012  
41

# **Broeikasgasuitstoot en peilbeheer in het veenweidegebied**

**Verkenning van effecten van flexibel peilbeheer op  
broeikasgasuitwisseling in pilotgebieden van het Flexpeil  
Project**

D.M.D. Hendriks  
G. de Lange  
G. Erkens

1202707-006



**Titel**

Broeikasgasuitstoot en peilbeheer in het veenweidegebied

**Opdrachtgever**  
IP-KRW





**Project**  
1202707-006

**Kenmerk**  
1202707-006-BGS-0001

**Pagina's**  
48

**Trefwoorden**

Veenweidegebied, broeikasgasemissies, waterbeheer, flexibel peilbeheer, bodemdaling, Ronde Hoep, Middelpolder

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	nov. 2012	D.M.D. Hendriks		W. Borren		H. Passier	
		G. de Lange				T. Segeren	
		G. Erkens					

**Status**

definitief

**Titel**

Broeikasgasuitstoot en peilbeheer in het  
veenweidegebied

**Opdrachtgever**

IP-KRW

**Project**

1202707-006

**Kenmerk**

1202707-006-BGS-0001

**Pagina's**

48

## Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>1</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>3</b>
1.1 Aanleiding verkennende studie	3
1.2 Doel van de studie	4
1.3 Leeswijzer	4
<b>2 Broeikasgasuitwisseling in veenweidegebied</b>	<b>5</b>
2.1 Veengebieden en broeikasgassen	5
2.2 Broeikasgasemissies in het Nederlandse veenweidegebied	5
2.3 Broeikasgasuitwisseling en systeemkenmerken	7
2.3.1 Bodemsamenstelling	7
2.3.2 Grondwater en peilbeheer	8
2.3.3 Vegetatie	10
2.3.4 Bodem- en waterkwaliteit	11
2.3.5 Landelementen	11
2.3.6 Agrarische activiteiten	12
<b>3 Systeemkenmerken flexpeilgebieden</b>	<b>13</b>
3.1 Verzamelen van informatie	13
3.2 Systeemkenmerken Ronde Hoep Noord en Zuid	13
3.3 Systeemkenmerken Middelpolder	19
<b>4 Broeikasgasemissie flexpeilgebieden</b>	<b>25</b>
4.1 Broeikasgasemissie Ronde Hoep Noord	25
4.1.1 Laag vast peilregime	25
4.1.2 Flexibel peilregime	25
4.1.3 Hoog vast peilregime	26
4.2 Broeikasgasemissie Ronde Hoep Zuid	27
4.2.1 Laag vast peilregime	27
4.2.2 Flexibel peilregime	28
4.2.3 Hoog vast peilregime	29
4.3 Broeikasgasemissie Middelpolder	29
4.3.1 Zomerwinter-peilregime	29
4.3.2 Flexibel peilregime	30
4.3.3 Hoog vast peilregime	30
<b>5 Broeikasgasemissie en bodemdaling</b>	<b>33</b>
5.1 Relatie veenoxidatie en bodemdaling	33
5.2 Berekeningen bodemdaling	33
5.3 Verbeteringen bodemdalingberekeningen en -modellen	34
5.3.1 Kennis over veenoxidatie	34
5.3.2 Gekoppeld grondwatermodel en bodemdalingmodel	35
5.3.3 Mechanische bodemdaling	35
<b>6 Conclusies en discussie</b>	<b>37</b>
6.1 Effect peilbeheer op broeikasgasemissies in flexpeilgebieden	37

6.2	Onzekerheden en discussie	38
6.3	Peilbeheer, broeikasgasemissies en duurzaamheid	39
<b>7</b>	<b>Advies verder onderzoek</b>	<b>41</b>
7.1	Modelleren broeikasgasemissies	41
7.1.1	Broeikasgasmodel PEATLAND-VU	42
7.1.2	Parametrisatie broeikasgasmodel	42
7.1.3	Koppeling grondwatermodel en broeikasgasmodel	43
7.1.4	Scenarioberekeningen	43
7.1.5	Koppeling grondwatermodel, broeikasgasmodel en bodemdalingsmodel	44
7.2	Veldmetingen broeikasgasemissies	45
7.3	Indicatie kosten vervolgonderzoek	46
<b>8</b>	<b>Referenties</b>	<b>47</b>

## Samenvatting

Waternet voert een actief duurzaamheidsbeleid waarin zij streeft naar volledig klimaatneutraal opereren in 2020 door actief de emissie van broeikasgassen terug te dringen. Momenteel dragen broeikasgasemissies vanuit gedraineerd veenweidegebied aanzienlijk bij aan de totale broeikasgasemissie vanuit het beheergebied van Waternet. In deze verkennende studie naar de mogelijkheden om de broeikasgasemissie in het veenweidegebied terug te dringen, is het effect van drie vormen van peilbeheer voor twee studiegebieden van het Flexpeil Project (de Ronde Hoep en de Middelpolder) in beeld gebracht. Binnen polder de Ronde Hoep is daarbij onderscheid gemaakt tussen het noordelijk deel van het flexpeilgebied en het zuidoostelijk deel. Dit omdat uit eerder onderzoek is gebleken dat grote maaiveldhoogteverschillen in het gebied een sterk verschil in uitwerking van het peilregime veroorzaken. Voor deze verkennende studie is gebruik gemaakt van expertkennis over broeikasgasemissies in het Nederlandse veenweidegebied, grondwatermodellen ontwikkelt binnen het Flexpeil Project en beschikbare gebiedskennis op het gebied van bodemsamenstelling, peilbeheer en grondwater, bodem- en waterkwaliteit, landelementen en vegetatie.

De verkennende studie laat zien dat de totale broeikasgasemissie mogelijk omlaag gaat als gevolg van de overgang van een vast laag peil of een zomerwinter-peilregime naar een flexibel peilregime. Belangrijk voor deze afname is de overgang naar een minder intensief agrarisch beheer van het gebied: verlaging CH<sub>4</sub>- en N<sub>2</sub>O-emissies door een afname van veehouderij en bemesting. Afgezien van in de smalle oeverzones, is een verandering van CO<sub>2</sub>-emissies en bodemdaling door veenoxidatie in de gebieden als gevolg van de overgang naar flexibel peilbeheer waarschijnlijk beperkt. De verbreding van de oeverzones als gevolg van het flexibele peilregime kan wel leiden tot een kleine toename van CH<sub>4</sub>-emissies.

Een overgang naar een hoog vast peilregime heeft waarschijnlijk een sterker effect op de flexpeilgebieden. Dit als gevolg van de sterkere stijging van grondwaterstanden en het wegvallen van agrarisch beheer. De stijging van de grondwaterstanden zorgt voor een afname van CO<sub>2</sub>-emissies door veenoxidatie en een toename van de CH<sub>4</sub>-emissies. In alle drie de gebieden worden de emissies van CH<sub>4</sub> (vee) en N<sub>2</sub>O (bemesting) als direct gevolg van agrarisch beheer tot nul gereduceerd. In het noordelijk deel van de Ronde Hoep en de Middelpolder, leidt de overgang naar een hoog vast peil tot een sterke aanwas van organisch materiaal en dus een sterke opname van CO<sub>2</sub>. De toegenomen CH<sub>4</sub>-emissie in deze gebieden (voornamelijk vanuit de oeverzone) wordt hierdoor waarschijnlijk ruimschoots gecompenseerd. In het zuidelijk deel van de Ronde Hoep zorgt de stijging van het waterpeil tot inundatie van de percelen, waarschijnlijk met zeer hoge CH<sub>4</sub>-emissies tot gevolg. Bij een blijvend niet-agrarisch beheer, zal de voedselrijkdom in de flexpeilgebieden na enkele tientallen afnemen waardoor in alle deelgebieden een ongeveer klimaatneutrale situatie ontstaan (weinig opname of uitstoot van broeikasgassen).

Een afname van broeikasgasemissies vanuit het veenweidegebied kan in veel gevallen goed gecombineerd worden met andere duurzame ontwikkelingen in het beheergebied van Waternet, zoals extensivering of omvorming van landbouw naar natuur of modernisering van de landbouw. Daarnaast gaat een afname van broeikasgasemissies veelal samen met een afname van de bodemdaling in het veenweidegebied.



Om meer inzicht te krijgen op de broeikasgasemissies vanuit het veenweidegebied van Waternet, en de effecten hierop van (flexibel) peilbeheer, is het noodzakelijk om de broeikasgasemissies in meer detail in beeld te brengen met metingen en/of broeikasgasmodellen in combinatie met grondwatermodellen. Broeikasgasneutraal beheer van veenweidegebieden in het beheergebied van Waternet is voorlopig waarschijnlijk niet mogelijk, maar met behulp van een broeikasgasmodel voor veengebieden kan wel gezocht worden naar optimale waterbeheersscenario's waarbij de broeikasgasemissie zo veel mogelijk worden beperkt. Het is daarnaast zeer waardevol om een koppeling te maken tussen broeikasgasemissies, veenoxidatie en de (mechanische) effecten van peilbeheer op bodemdaling. Door het inzetten van gecombineerde metingen en gekoppelde modelstudie kan, naast het effect van waterbeheer op broeikasgasemissies, ook het effect van waterbeheersscenario's op bodemdaling in beeld gebracht worden.

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding verkennende studie

Waternet is continu op zoek naar duurzame oplossingen en nieuwe energiebronnen. Zo bestaat het doel om in 2020 volledig klimaatneutraal te opereren. Het terugdringen van de emissie van broeikasgassen speelt hierbij een belangrijke rol. Tot nu toe richt Waternet zich hierbij op het verminderen van de emissie van lachgas ( $N_2O$ ) bij afvalwaterzuivering, het hergebruiken van  $CO_2$  voor drinkwaterzuivering en het gebruik van duurzame energie, zoals bedrijfswagens op biogas en (groene) elektriciteit. Als waterbeheerder heeft Waternet daarnaast ook de mogelijkheid om het peilbeheer in veenweidegebieden in te zetten als duurzame oplossing voor het terugdringen van broeikasgasemissies vanuit het beheergebied. Tegelijkertijd kan met deze waterbeheermaatregelen bodemdaling in veenweidegebieden worden tegengegaan.

Momenteel draagt de natuurlijke emissie van broeikasgassen van het Nederlandse veenweidegebied voor ongeveer 5% bij aan de totale Nederlandse emissie van broeikasgassen. Gezien het grote aandeel veenbodems (Figuur 1.1), ligt dit percentage voor het beheergebied van Waternet een stuk hoger (10-30%). Het gaat hierbij om de koolstofdioxide ( $CO_2$ ), methaan ( $CH_4$ ) en lachgas ( $N_2O$ ). De broeikasgasbalans in veenweidegebied wordt voor een groot deel bepaald door keuzes in het waterbeheer en landgebruik en klimaatverandering. Door een aanpassing van het waterbeheer kan de emissie van broeikasgassen worden teruggebracht en kan zelfs opname van broeikasgassen worden gerealiseerd (Van Huissteden e.a., 2006; Hendriks e.a., 2007; Drösler e.a., 2008; Veenendaal e.a., 2007; De Vries e.a., 2009). Een van de belangrijkste oorzaken van broeikasgasemissies ( $CO_2$ ) in veenweidegebied is veenoxidatie. Dit proces veroorzaakt ook de sterke bodemdaling in het veenweidegebied (Beuving en van den Akker, 1996). Met het tegengaan van broeikasgasemissies kan tegelijkertijd bodemdaling worden afgeremd.



Figuur 1.1 Huidige verspreiding van veenbodems in west Nederland (Bron: SC-DLO, 1992).

Samen met een aantal partners, waaronder Deltares, voert Waternet momenteel het Flexpeil Project uit. In dit IP-KRW project wordt onderzoek gedaan naar de effecten van een flexibel, meer natuurlijk, peilregime op het watersysteem, de ecologie en de ondergrond van negen proefgebieden in het beheergebied van Waternet. Een aantal van deze proefgebieden ligt in het veenweidegebied. Vooral in de westelijk gelegen gebieden, zoals polder de Ronde Hoep en de Middelpolder is nog een relatief dikke veenlaag aanwezig. Naast dat tijdens het Flexpeil Project bodemdalingsmetingen zijn gestart in de Ronde Hoep en de Middelpolder, wordt in onderliggend rapport een verkenning uitgevoerd van effecten van peilbeheer op broeikasgasemissies in deze proefgebieden.

## 1.2 Doel van de studie

Doel van dit verkennend onderzoek is het in beeld brengen van de mogelijkheid tot het terugdringen van broeikasgasemissies in veenweidegebieden in het beheergebied van Waternet. In deze studie zijn de effecten geïnventariseerd voor twee gebieden: polder de Ronde Hoep en de Middelpolder. Binnen polder de Ronde Hoep is daarbij onderscheid gemaakt tussen het noordelijk deel van het flexpeilgebied en het zuidoostelijk deel van het flexpeilgebied. Dit omdat uit eerder onderzoek is gebleken dat de grote maaiveldverschillen zorgen voor een sterk verschil in uitwerking van het flexpeilregime. Naast de effecten op van het invoeren van het flexibel peilregime in deze gebieden, zijn ook de effecten van het invoeren van een vast hoog peil, vergelijkbaar met het peil in de natuurrezervaten in het zuiden van de Horstermeerpolder (Hendriks e.a., 2007) onderzocht. Aangezien in deze verkennende studie slechts grove schattingen kunnen worden gegeven van broeikasgasemissies en de effecten van het peilbeheer, was het in deze studie van belang om inzicht te geven in de mogelijkheden om verder en meer gericht onderzoek te doen naar de broeikasgasemissies vanuit het veenweidegebied van Waternet. Veenoxidatie en de emissie van broeikasgassen in veenweidegebied hangt nauw samen met de bodemdaling in deze gebieden. De kennis over broeikasgasemissies kan dan ook goed worden ingezet bij het maken van schattingen van bodemdaling in een gebied en de effecten van peilbeheer hierop. In deze verkennende studie wordt aangegeven op welke wijze dit mogelijk is.

## 1.3 Leeswijzer

Om schattingen te kunnen doen van broeikasgasemissies is in hoofdstuk 2 allereerst een overzicht gegeven van de bestaande kennis van broeikasgasemissies in het Nederlandse veenweidegebied. Daarnaast is een overzicht gegeven van de, voor broeikasgassen relevante, systeemkenmerken van veenweidegebieden (paragraaf 2.3). Systeemkenmerken kunnen veranderen bij aanpassingen van het peilregime, en zijn dan ook in hoofdstuk 3 voor ieder (deel)gebied, per peilregime in beeld gebracht. In het daaropvolgende hoofdstuk 4, is op basis hiervan een inschatting gemaakt van de broeikasgasemissies in de verschillende (deel)gebieden onder de verschillende peilregimes (oorspronkelijk peilregime, flexibel peilregime en een vast hoog peil). In hoofdstuk 5 wordt vervolgens de relatie tussen broeikasgasemissies en bodemdaling onder veranderend peilbeheer toegelicht. De conclusies die konden worden getrokken op basis van dit verkennende onderzoek zijn verwoord in hoofdstuk 6. Mogelijkheden voor gericht onderzoek naar de effecten van peilbeheer op broeikasgasemissies en de mogelijkheden om deze effecten in samenhang met bodemdaling in beeld te brengen staan beschreven in hoofdstuk 7.

## 2 Broeikasgasuitwisseling in veenweidegebied

### 2.1 Veengebieden en broeikasgassen

Terrestrische ecosystemen bevatten grote hoeveelheden koolstof die in direct contact staan met de atmosfeer. De netto uitwisseling van koolstof tussen de terrestrische biosfeer en de atmosfeer wordt bepaald door het verschil in opname door fotosynthese (vastlegging CO<sub>2</sub>) en uitstoten van CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> door respiratie vanuit bodem en planten. Veengebieden zijn ecosystemen waar koolstof, samen met stikstof en andere elementen, accumuleert als veen vanuit dood plant materiaal onder de (grond)waterspiegel. Doordat er meer koolstof accumuleert dan er respiratie plaatsvindt, vindt in onaangetaste veengebieden van nature opname van broeikasgassen plaats. Echter, als gevolg van het draineren en afgraven van veengebieden, agrarische activiteiten en klimaatverandering gaat deze eigenschap verloren. In veel gevallen worden veengebieden dan juist een belangrijke bron van broeikasgasemissies (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) en treedt sterke bodemdaling op (Drösler e.a., 2008; Hendriks, 2009).

### 2.2 Broeikasgasemissies in het Nederlandse veenweidegebied

De afgelopen jaren is in een aantal Nederlandse veenweidegebieden en in veengebieden in andere Europese landen onderzoek gedaan naar de effecten van waterbeheer en andere factoren op de emissie van broeikasgassen. Eén van de gebieden waar veel onderzoek is uitgevoerd door de Vrije Universiteit Amsterdam, is het vernatte gebied in het zuidelijk deel van de Horstermeerpolder in het beheergebied van Waternet (Hendriks e.a., 2007). Deze onderzoeken zijn veelal uitgevoerd binnen het onderzoeksprogramma *Klimaat voor Ruimte* van de Nederlandse overheid en het Europese Kaderproject *CarboEurope*. De belangrijkste bevindingen uit deze studies op het gebied van broeikasgasemissies voor Nederland zijn hieronder samengevat.

In West-Nederland beslaan veenweidegebieden ca. 160.000 ha van het landoppervlak (Figuur 1.1). Ten behoeve van Agrarische activiteiten wordt de waterspiegel in 85% van deze gebieden kunstmatig laag gehouden (Joosten, 1994), waardoor zuurstof de bodem kan indringen. Dit zorgt voor oxidatie van organisch materiaal, waardoor grote hoeveelheden koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) worden uitgestoten in de atmosfeer. Wanneer de waterspiegel hoog staat, vindt er geen oxidatie van organisch materiaal plaats en hoopt het dode plantenmateriaal zich op onder de grondwaterspiegel. In deze anaerobe toestand wordt echter wel methaangas (CH<sub>4</sub>) geproduceerd door micro-organismen (methanogenen) in het veen. CH<sub>4</sub> is als broeikasgas 25 keer sterker dan CO<sub>2</sub> (op een tijdschaal van 100 jaar), waardoor een toename van de emissie van CH<sub>4</sub> door een verhoogde waterspiegel kan leiden tot versterkt broeikasgas-affect met opwarming van de atmosfeer als gevolg. De emissie van CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> wordt daarnaast ook sterk beïnvloed door de specifieke samenstelling van de veenbodem, de mate van voedselrijkdom van de bodem, de voorkomende vegetatietypen, het klimaat en Agrarische activiteiten in het gebied (Van Huissteden e.a., 2006; Hendriks e.a., 2007; Drösler e.a., 2008). Tenslotte wordt het broeikasgas lachgas (N<sub>2</sub>O) uitgestoten vanuit veenweidegebied, voornamelijk wanneer er veel agrarische activiteit plaatsvindt. Ondanks de lage hoeveelheden is de impact van lachgasemissies groot, doordat lachgas 300 keer sterker is dan CO<sub>2</sub> (op een tijdschaal van 100 jaar) (Hendriks e.a., 2007).

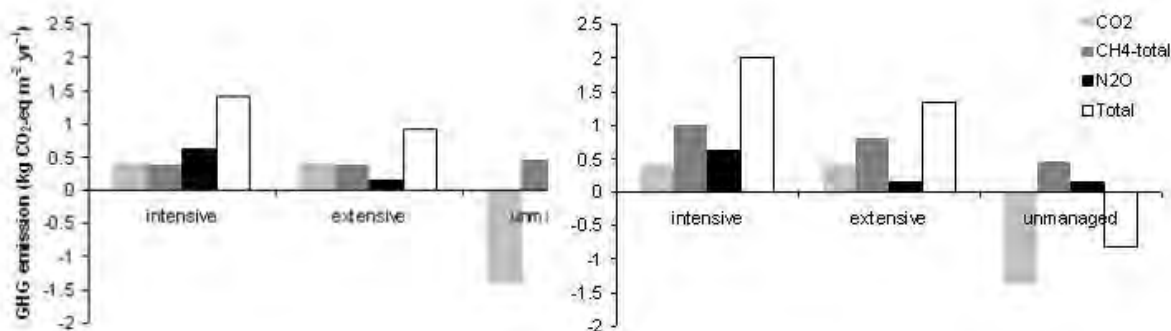
De afgelopen decennia zijn meerdere onderzoeken uitgevoerd naar de emissie van broeikasgassen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O) vanuit het Nederlandse veenweidegebied. Jaarlijkse CH<sub>4</sub>-emissies vanuit Nederlands veenweidegebied werden voor het eerst geschat door Van den Born e.a. (1991), gebaseerd op metingen in andere landen. Met een gemiddelde van 18 - 46 g C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup> werd de totale CH<sub>4</sub>-emissie uit veenweidegebied in het westen van Nederland geschat op 3 - 9% van de totale jaarlijkse CH<sub>4</sub>-emissies vanuit Nederland. Later werden voornamelijk veldmetingen gedaan met behulp van gasflux-meettechnieken met de gesloten kamer techniek en de eddy covariantie techniek (Hendriks e.a., 2007). Veendaaal e.a. (2007) vonden een CO<sub>2</sub>-emissie van 122.4 g C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup> in een veenweidegebied onder intensief agrarisch beheer en Schrier-Uijl e.a. (2010) vonden een CH<sub>4</sub>-emissie vanuit de bodem van 4 - 28 g C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup> in dit gebied, plus een emissie van ongeveer 30 g C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup> als gevolg van Agrarische activiteiten. In een veenweidegebied met gereduceerde agrarische activiteiten en verhoogde waterstanden in de winter vonden Veendaaal e.a. (2007) een CO<sub>2</sub> opname van -8.4 g C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup> en Schrier-Uijl e.a. (2010) vonden een CH<sub>4</sub>-emissie van 4 - 21 g C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup> in dit gebied, plus een emissie van ongeveer 20 g C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup> als gevolg van Agrarische activiteiten. Hendriks e.a. (2007) vonden een CO<sub>2</sub> opname van 0.18 - 0.53 kg C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>, een CH<sub>4</sub>-emissie van 11 - 53 g C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup> en een verwaarloosbaar kleine N<sub>2</sub>O-emissie in een voormalig veenweidegebied met hoge waterstanden. CH<sub>4</sub> gasfluxen in verlaten veenweidegebieden werden eerder ook onderzocht door Van den Pol-van Dasselaar e.a. (1995, 1998a, 1998b en 1999). Ook zij vonden grote ruimtelijke verschillen van een kleine opname van CH<sub>4</sub> tot een emissie van 170 mg C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. De gemiddelde CH<sub>4</sub>-emissie van verlaten veenweidegebied werd geschat op 5.9 - 15.3 g C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>. De N<sub>2</sub>O-emissies die werden gerapporteerd door Velthof e.a. (1996) vertoonden een sterk verschil tussen onbemeste en bemeste bodems: Onbemeste bodems vertoonden emissies van 0.05 - 1.29 g N m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup> en bemeste bodems vertoonden emissies van 0.73 - 4.2 g N m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>.

Ook ondiepe meren en sloten in het veenweidegebied veroorzaken broeikasgasemissies (Hendriks e.a., 2007 en 2009; Schrier-Uijl e.a., 2010 en 2011). De mate van broeikasgasemissies vanuit oppervlaktewater wordt voornamelijk bepaald door de voedselrijkdom (hoe eutrofer, hoe hoger de emissies). De emissie vanuit de sloten bleek veel groter dan vanuit ondiepe meren: Schrier-Uijl e.a. rapporteren gemiddelde broeikasgasemissies vanuit sloten van 0.85 ± 0.05 g C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> voor CO<sub>2</sub> en 0.61 ± 0.17 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> voor CH<sub>4</sub>. Voor ondiepe meren rapporteren ze 0.40 ± 0.05 g C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> en 0.07 ± 0.03 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> voor CH<sub>4</sub>.

In Tabel 2.1 wordt een overzicht gegeven van de bevindingen van het vergelijkend onderzoek binnen *Klimaat voor Ruimte* naar in Nederlands veenweidegebied onder intensief agrarisch beheer (lage oppervlaktewaterpeilen, uitgebreid pakket agrarische activiteiten), extensief agrarisch beheer (verhoogde oppervlaktewaterpeilen in de winter, beperkte agrarische activiteiten), voormalig agrarisch beheer (verlaten, hoge oppervlaktewaterpeilen) en ondiepe meren. De resultaten zijn weergegeven als broeikasgas-uitwisseling en koolstof-uitwisseling en het broeikasgaseffect. Het betreft hier de broeikasgasuitwisseling tussen atmosfeer en bodem. Bijdrage van de agrarische activiteiten zelf aan de broeikasgasbalans is niet meegenomen in het overzicht. In Figuur 2.1 zijn de resultaten gevisualiseerd in een staafdiagram. In het rechterdeel van deze figuur is wel het effect van de agrarische activiteiten meegenomen. Hierover meer in paragraaf 2.3.6. Uit de tabel en figuren wordt duidelijk dat de agrarische gebieden een sterke emissie van broeikasgassen en koolstof veroorzaken, terwijl het verlaten, vernatte veenweidegebied een opname kent van broeikasgassen en koolstof.

Tabel 2.1 totaaloverzicht van de resultaten van het onderzoek naar broeikasgasuitwisseling in Nederlands veenweidegebied uitgevoerd onder *Klimaat voor Ruimte* (naar: Schrier-Uijl e.a., in voorbereiding).

	broeikasgas-uitwisseling			koolstof-uitwisseling				klimaateffect			
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	totaal	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	totaal
	(g m <sup>-2</sup> jr <sup>-1</sup> )			(g C m <sup>-2</sup> jr <sup>-1</sup> )				(g CO <sub>2</sub> -equiv. m <sup>-2</sup> jr <sup>-1</sup> )			
Intensief agrarisch (incl. sloten)	400	17	2.1	109	13	--	122	400	425	630	1455
Extensief agrarisch (incl. sloten)	450	17	0.5	123	13	--	135	450	418	150	1018
Verlaten, voorheen agrarisch (incl. sloten)	-1400	19	0.5	-382	14	--	-367	-1400	480	150	-770
Ondiepe meren	500	26	0	136	20	--	156	500	650	0	1150



Figuur 2.1 De broeikasgasbalans (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O) voor drie veenweidegebieden in Nederland (intensief agrarisch beheer, extensief agrarisch beheer en voorheen agrarisch beheer, nu verlaten) als klimaateffect in kg CO<sub>2</sub>-equiv. per m<sup>2</sup> per jaar. De linker figuur bevat enkel de broeikasgas-uitwisseling tussen bodem en atmosfeer. De rechter figuur bevat ook de broeikasgasfluxen als direct gevolg van agrarische activiteiten (naar: Schrier-Uijl e.a., in voorbereiding).

## 2.3 Broeikasgasuitwisseling en systeemkenmerken

Broeikasgasemissies vanuit de bodem zijn afhankelijk van een aantal systeemkenmerken. Voor een groot deel wordt de emissie bepaald door de hoeveelheid organisch materiaal in de bodem en de grondwaterstand, maar ook andere aspecten zijn van belang: de verschillende landelementen in een gebied, de vegetatie, de kwaliteit en voedselrijkdom van bodem en water en de agrarische activiteiten in een gebied. In onderstaande paragrafen worden deze systeemkenmerken en het effect ervan op broeikasgasemissies kort beschreven.

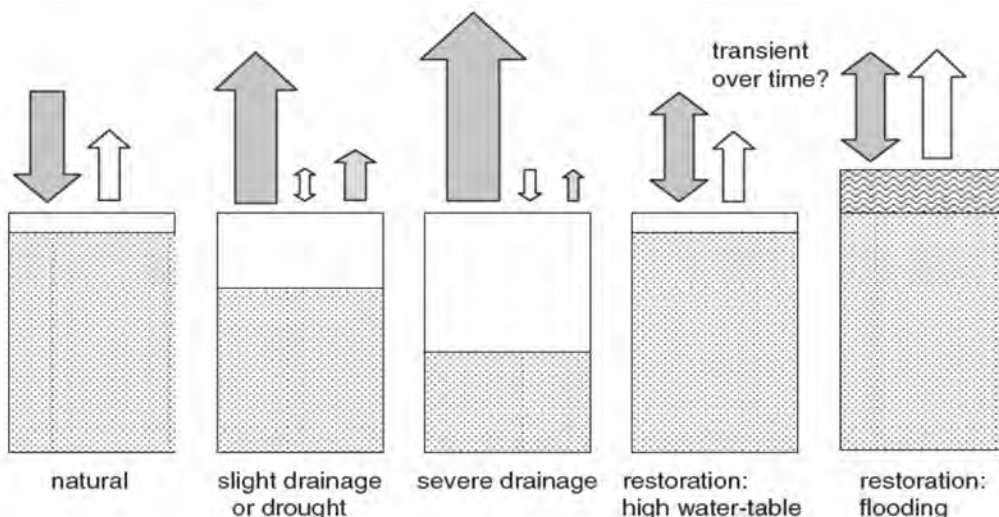
### 2.3.1 Bodemsamenstelling

De maximaal mogelijke CO<sub>2</sub>- en CH<sub>4</sub>-emissie vanuit de ondergrond wordt bepaald door het percentage organisch materiaal in de bodem. Hierbij is vooral het bodemprofiel boven grondwater en in wortelzone van belang. De veenafzettingen in het Nederlandse veenweidegebied bevatten vaak bijmenging van klei, silt of zand. Ook is veel veen al in sterke mate gemineraliseerd als gevolg van de grondwaterstandverlagingen gedurende de afgelopen eeuwen.

Naast de hoeveelheid organisch materiaal is ook het type organisch materiaal van belang, dit bepaalt namelijk of het materiaal gemakkelijk of moeilijk afbreekbaar is (hoge of lage snelheid van veenoxidatie en methaanproductie). Dit hangt af van de herkomst van het organische materiaal (vegetatietype, bladeren of wortels, rhizodepositie, mest) en de mate waarin het materiaal reeds gemineraliseerd is (Beuving en van den Akker, 1996; Van Huissteden, 2006).

### 2.3.2 Grondwater en peilbeheer

Voor broeikasgasuitwisseling zijn de grondwaterstanden in de oeverzone en het perceel belangrijk. Over het algemeen geldt: lage grondwaterstanden zorgen voor hoge CO<sub>2</sub>-emissies en hoge grondwaterstanden zorgen voor hoge CH<sub>4</sub>-emissies. Vooral wel of geen droogval van de bovenste 25 cm van de bodem en de wortelzone zijn hierbij van belang (Van Huissteden e.a., 2006; Jungkunst and Fiedler, 2007). In Figuur 2.2 worden de relatieve grootte van de broeikasgasfluxen voor verschillende grondwatersituaties weergegeven.



Figuur 2.2 Schematische vergelijking van de relatieve grootte van broeikasgas-uitwisseling: CO<sub>2</sub> (donkergrijs), CH<sub>4</sub> (wit) en N<sub>2</sub>O (lichtgrijs) in veengebieden. Gestippelde vlakken symboliseren waterverzadigde delen van de bodem aan. Het golfpatroon in de rechterfiguur duidt op overstroomd gebied (Uit: Drösler e.a., 2008).

Grondwaterstanden en de mate van drooglegging (bodemprofiel boven grondwaterstand) worden voor een groot deel bepaald door het peilbeheer in een gebied. In het onderstaande kader worden voor de beheerssituaties in Nederland (intensief agrarisch beheer, extensief agrarisch beheer, natuurbeheer) de verschillende typen peilbeheer op hoofdlijnen weergegeven. Echter, de grondwaterstand hangt van meer factoren af dan het peilbeheer alleen. Verschillen tussen gebieden worden grotendeels veroorzaakt door verschillen in de lokale samenstelling van de ondergrond: zowel bergingscapaciteit als doorlaatbaarheid zijn afhankelijk van het type ondergrond. Tijdelijke fluctuaties van het oppervlaktewaterpeil hebben in veenweide gebied daardoor, afgezien van in de oeverzone, veelal een relatief beperkt effect op het grondwater en de drooglegging van de bodem. In droge perioden (zomers) vertoont het grondwater een holle waterspiegel (lager dan oppervlaktewaterpeil) en in natte perioden (winter) een bolle waterspiegel (hoger dan oppervlaktewaterpeil), zie ook Figuur 2.3.

### Peilbeheer in het Veenweidegebied

#### Intensief agrarisch beheer

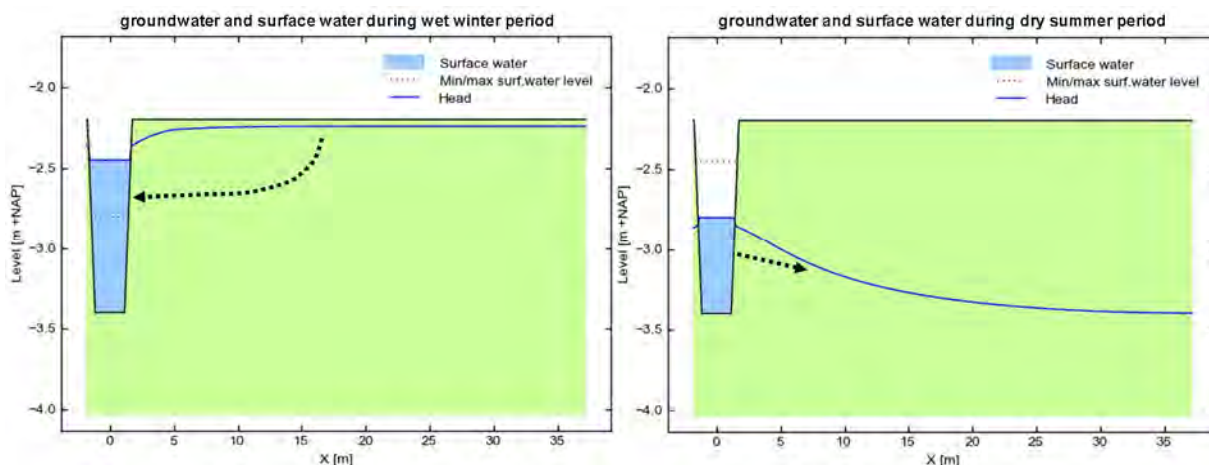
1. Vast laag oppervlaktewaterpeil
2. Zomerwinterpeil:
  - laag oppervlaktewaterpeil in de zomer
  - matig laag of matig hoog oppervlaktewaterpeil in de winter

#### Extensief agrarisch beheer

1. Aangepast zomerwinterpeil:
  - matig laag oppervlaktewaterpeil in de zomer
  - hoog oppervlaktewaterpeil in de winter
2. Flexibel peilbeheer: vast maximum en minimum oppervlaktewaterpeil, sterke peilfluctuaties over het jaar, sterk gebiedsspecifiek.

#### Natuurbeheer

1. Vast hoog oppervlaktewaterpeil
2. Plas-dras: inundatie gedurende natte perioden
3. Flexibel peilbeheer: vast maximum en minimum oppervlaktewaterpeil, sterke peilfluctuaties over het jaar, sterk gebiedsspecifiek.

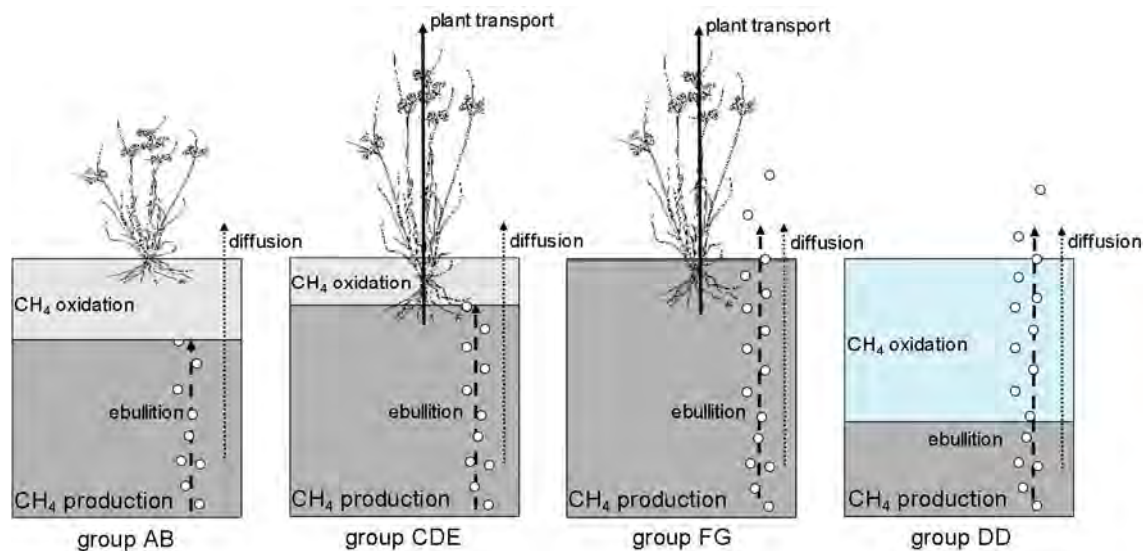


Figuur 2.3 Illustratie van een bolle (links) en een holle (rechts) grondwaterstand: doorsneden van een perceel en sloot met daarin de grondwaterstand en oppervlaktewaterpeil gedurende een natte winterperiode (links) en een droge zomerperiode (rechts). Pijlen geven de richting van de grondwaterstroming aan.

De grondwaterstand heeft een sterk effect op de vorming en afbraak van  $\text{CO}_2$  en  $\text{CH}_4$  in de bodem. Bij een lage grondwaterstand kan zuurstof doordringen in de bodem, waardoor oxidatie van het organische materiaal optreedt en  $\text{CO}_2$  vrijkomt. Hierbij moet worden opgemerkt dat bij zeer droge bodems de  $\text{CO}_2$  productie relatief laag is; er is dus wel enig bodemvocht nodig om de oxidatie plaats te laten vinden. Onder de grondwaterspiegel is de bodem voor een groot deel anaeroob. Hier vindt methanogenese plaats, wat zorgt voor de productie van  $\text{CH}_4$ . De grondwaterstand bepaalt grotendeels in welk deel van de bodem  $\text{CO}_2$  wordt geproduceerd en in welk deel  $\text{CH}_4$  (Hendriks e.a., 2007). De emissie van deze broeikasgassen is echter ook afhankelijk van de transportmechanismen van het gas in de bodem naar de atmosfeer: wanneer  $\text{CH}_4$  voordat het de atmosfeer bereikt via diffusie door



een aerobe bodemlaag heen moet, zal een substantieel deel van de  $\text{CH}_4$  oxideren naar  $\text{CO}_2$  en is de uiteindelijke  $\text{CH}_4$ -emissie beperkt. Wanneer de grondwaterstand (nagenoeg) tot aan het maaiveld reikt, zal wel alle  $\text{CH}_4$  de atmosfeer bereiken (Hendriks e.a., 2009). Ook planten kunnen een *short-cut* vormen voor het transport van gassen (zie paragraaf 2.3.3 *Vegetatie*). In Figuur 2.4 wordt de productie en het transport schematisch weergegeven voor verschillende situaties.



Figuur 2.4 Schematische weergave van de processen die het transport van  $\text{CH}_4$  vanuit de ondergrond naar de atmosfeer beïnvloeden. Belangrijke factoren hierbij zijn de grondwaterstand en het type vegetatie (worteldiepte en structuur stengels):  $\text{CH}_4$  productie in anaerobe bodems (donkergrijs),  $\text{CH}_4$  oxidatie in aerobe bodems (lichtgrijs) en water (lichtblauw). De transportmechanismen die zich in de verschillende situaties voordoen zijn weergegeven: diffusie, plant transport and ebullitie. (Bron: Hendriks e.a. 2009).

### 2.3.3 Vegetatie

Planten beïnvloeden de productie en emissie van broeikasgassen op meerdere wijzen (Van Huissteden e.a., 2006; Hendriks, 2009). Vegetatie zorgt voor de vastlegging van  $\text{CO}_2$  uit de atmosfeer, maar beïnvloed ook mate van  $\text{CO}_2$  oxidatie, de productie van  $\text{CH}_4$  in de bodem en het transport van  $\text{CH}_4$  van de bodem naar de atmosfeer. Daarnaast is het vegetatietype ook een goede indicator van andere systeemkenmerken die relevant zijn voor broeikasgasemissies in een bepaald gebied (waterpeil, grondwaterstand, mate van voedselrijkdom, etc.). De wortelzone speelt een belangrijke rol, omdat hier veel microbiële processen plaatsvinden, het grootste deel van de  $\text{CO}_2$  vastlegging plaatsvindt (in de wortels) en veel gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal wordt geproduceerd.

Planten kunnen daarnaast een *short-cut* vormen voor het transport van gassen. Planten met wortelstokken tot onder de grondwaterspiegel en holle stengels zorgen voor transport van gassen van en naar de atmosfeer. Hierdoor kan  $\text{CH}_4$  vanuit het anaerobe deel van de bodem ontsnappen naar de atmosfeer, ondanks een anaerobe bodemlaag (Figuur 2.4). Anderzijds kan ook zuurstof de waterverzadigde bodem indringen. Hierdoor kan in de wortelzone oxidatie en  $\text{CO}_2$  productie optreden, ondanks de waterverzadigde condities onder de grondwaterspiegel (Hendriks e.a., 2009). Tabel 2.2 geeft een overzicht van de voor deze studie belangrijkste eigenschappen van plantensoorten die voorkomen in de flexpeilgebieden: standplaats, eigenschappen wortels en eigenschappen stengels.

Tabel 2.2 De voor broeikasgas-uitwisseling relevante eigenschappen van de dominante plantensoorten in de flexpeilgebieden.

naam	wetenschappelijke naam	standplaats	stengels	wortels
Liesgras	<i>Glyceria maxima</i>	Vooral in zeer voedselrijk milieu, aan waterkanten en in ondiep water.	holle stengel	wortelstok
Vossenstaart	<i>Alopecurus pratensis</i> / <i>Alopecurus geniculatus</i>	Vochtige tot vrij natte, zeer voedselrijke grond.	holle stengel	geen specifieke vorm
Witbol	<i>Holcus lanatus</i> / <i>Holcus mollis</i>	Vochtige tot natte, zoete tot brakke, matig voedselrijke grond.	holle stengel	geen specifieke vorm
Zeebies (ofwel Heen)	<i>Bolboschoenus maritimus</i>	Op natte, zoete tot licht zilte, zeer voedselrijke grond aan waterkanten.	massieve stengel	wortelstok
<b>Lisdodde</b>	<i>Typha latifolia</i>	Op natte, zeer voedselrijke (zure) grond (ook ondiep water).	holle stengel	wortelstok
<b>Riet</b>	<i>Phragmites australis</i>	Vochtige tot vrij natte, voedselrijke grond.	holle stengel	wortelstok
<b>Pitrus</b>	<i>Juncus effusus</i>	Op natte arme, zure bodem.	holle stengel	wortelstok

#### 2.3.4 Bodem- en waterkwaliteit

De kwaliteit en voedselrijkdom van de bodem, de waterbodem en het water in bodem en sloten heeft ook een effect op de broeikasgasproductie en fluxen van een gebied (Van Huissteden e.a., 2006; Hendriks, 2009; Schrier-Uijl e.a., 2010; Schrier-Uijl e.a., 2010). Enerzijds beïnvloeden deze factoren de snelheid waarmee bodemprocessen verlopen: hoe voedselrijker een gebied, hoe meer microbiële activiteit, veenoxidatie en methanogenese. Een toename van broeikasgasemissies is het gevolg. Anderzijds veroorzaakt een hoge voedselrijkdom een toename van de aanwas van biomassa (plantengroei). Een toename van de opname van CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer is het gevolg.

#### 2.3.5 Landelementen

Een belangrijke bevinding van de onderzoeken van onder andere Hendriks e.a. (2007 en 2009), Schrier-Uijl e.a. (2010) waren de grote ruimtelijke verschillen in de emissie van CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> binnen een perceel. Grofweg konden daarbij worden onderscheiden:

- het middelste, droge deel van het perceel;
- het relatief droge deel van de oeverzone;
- het natte vaak waterverzadigde deel van de oeverzone;
- de sloten;
- ondiepe meren.

Over het algemeen kan worden gesteld dat voornamelijk het droge deel van het perceel een hoge CO<sub>2</sub>-emissie heeft, terwijl de natte oevers een hoge CH<sub>4</sub>-emissie kennen. Ook vanuit de sloten en ondiepe meren zijn substantiële CH<sub>4</sub>-emissies waargenomen. Vooral in eutrofe gebieden, bijvoorbeeld met veel afspoeling van (kunst)mest naar de sloten, kunnen deze emissies zeer hoog zijn. Het aandeel van het totale gebiedsoppervlak van de verschillende

landelementen is grotendeels afhankelijk van de breedte van de percelen, breedte van de sloten, maaiveldhoogte van de percelen, oevervorm en het oppervlaktewaterpeil.

### 2.3.6 Agrarische activiteiten

Naast de 'natuurlijke' processen die opname en emissie van de gassen veroorzaken, zijn er ook een aantal managementfactoren (zoals bemesten, maaien, koeien, mestopslag) die opname of emissie van broeikasgassen tot gevolg hebben. Deze management factoren kunnen leiden grofweg tot een verdubbeling van de broeikasgasemissie van veenweidegebied met een verlaagde waterstand. De belangrijkste agrarische activiteiten met effect op broeikasgasbalans in veenweidegebied, afgezien van verlaging van de waterstanden, zijn maaien, bemesten en veehouderij (Veenendaal e.a., 2007; Soussana e.a., 2008). De effecten worden hieronder kort toegelicht:

#### *Maaien*

- Als gevolg van maaien wordt een deel van de biomassa verwijderd uit het gebied waardoor het niet kan accumuleren.
- Daarnaast valt na iedere maaiperiode de fotosynthese door de planten (opname van CO<sub>2</sub>) tijdelijk stil.

Beide mechanismen hebben een afname van de opname van CO<sub>2</sub> tot gevolg.

#### *Bemesten*

- Het bemesten van landbouwgrond veroorzaakt hoge N<sub>2</sub>O-emissies in de dagen na de periode van bemesting.
- Daarnaast zorgt de bemesting voor een toename van de voedselrijkdom van een gebied, de effecten hiervan worden beschreven in paragraaf 2.3.4.

#### *Veehouderij*

- Vee, en dan vooral koeien, ademen grote hoeveelheden CH<sub>4</sub> uit.
- De mestopslagdepots op boerderijen en agrarische bedrijven zorgen daarnaast ook voor hoge CH<sub>4</sub>-emissies.

### 3 Systeemkenmerken flexpeilgebieden

#### 3.1 Verzamelen van informatie

Om een beeld te krijgen van de te verwachte broeikasgasemissie en de veranderingen door flexpeil is voor de flexpeilgebieden de een inventarisatie gemaakt van de systeemkenmerken genoemd in paragraaf 2.3 (bodem, grondwater en peilbeheer, vegetatie, bodem- en waterkwaliteit, landelementen en agrarische activiteiten). Deels is daarvoor gebruik gemaakt van andere rapportageonderdelen van het Flexpeil Project. In hoofdstuk 2 van Flexpeil Hydrologie deelrapport A (Borren e.a., 2012-A), is een gebiedsbeschrijving gegeven van alle flexpeilgebieden van het Flexpeil Project. Daarnaast is gebruik gemaakt van overige bevindingen van het Flexpeil Project:

- Informatie over bodem: Geotop informatie (DINO/okef), bodemanalyses Flexpeil Project (B-Ware), grondboringen en beschrijvingen.
- Informatie over beheer oppervlaktewaterpeil (informatie peilbeheer Waternet en metingen)
- Informatie over grondwaterstanden op de percelen en in de oevers. De grondwaterstanden en GXG-waarden genoemd in deze studie zijn gebaseerd op berekeningen met 2-dimensionele perceelsmodellen van Ronde Hoep Noord, Ronde Hoep Zuid en Middelpolder voor de verschillende scenario's. De perceelsmodellen zijn gevalideerd aan de hand van meetreeksen van de grondwaterstand in de respectievelijke gebieden (Borren e.a., 2012b).
- Informatie vegetatie: vegetatieopnamen (NIOO), bestaande informatie (Waternet)
- Informatie bodem- en waterkwaliteit: bestaande informatie (Waternet), analyses bodem- en waterchemie (B-Ware).
- Informatie over landelementen: afgeleid uit veldbezoeken, oeverprofielen en perceelsmodellen.

De systeemkenmerken die van belang zijn voor de uitwisseling van broeikasgassen worden voor deze gebieden per peilregime beschreven in de onderstaande paragrafen.

#### 3.2 Systeemkenmerken Ronde Hoep Noord en Zuid

Polder De Ronde Hoep ligt ten zuiden van Amsterdam tussen de Amstel aan de westkant en de Waver aan de oostkant. Het centrale deel van de Ronde Hoep is hydrologisch geïsoleerd en daar is flexibel peilbeheer ingesteld (Figuur 3.1).

##### *Bodem*

De bodem in het flexpeilgebied bestaat voornamelijk uit Vlierveengronden van ongeveer 4 m dikte op zavel of klei. In de rest van de Ronde Hoep komen ook Weideveengronden en Koopveengronden voor, gelegen op Bosveen of eutroof Broekveen. De dikte van de deklaag bestaande uit een holoceen pakket van veen en klei varieert: in het noordwesten is de deklaag maximaal ongeveer 9 m dik, terwijl deze in het zuidoosten afneemt tot 5 à 6 m dikte.

##### *Peilbeheer*

Een groot deel van het flexpeilgebied had voor de invoering van het flexpeil een zomer- en winterpeil van -2.97 mNAP en een drooglegging van 0.64 m. Ten noorden van het flexpeilgebied zijn twee peilvakken in het landbouwgebied van polder Ronde Hoep met een zomer- en winterpeil van -2.60 mNAP en een drooglegging van 0.50 m. De polder kent

daarnaast particuliere onderbemalingen met een waterpeil tussen -2,85 en -3,20 mNAP en een drooglegging van 0,45 tot 0,80 m. Een deel van deze particuliere onderbemalingen is overgegaan in flexibel peilregime.



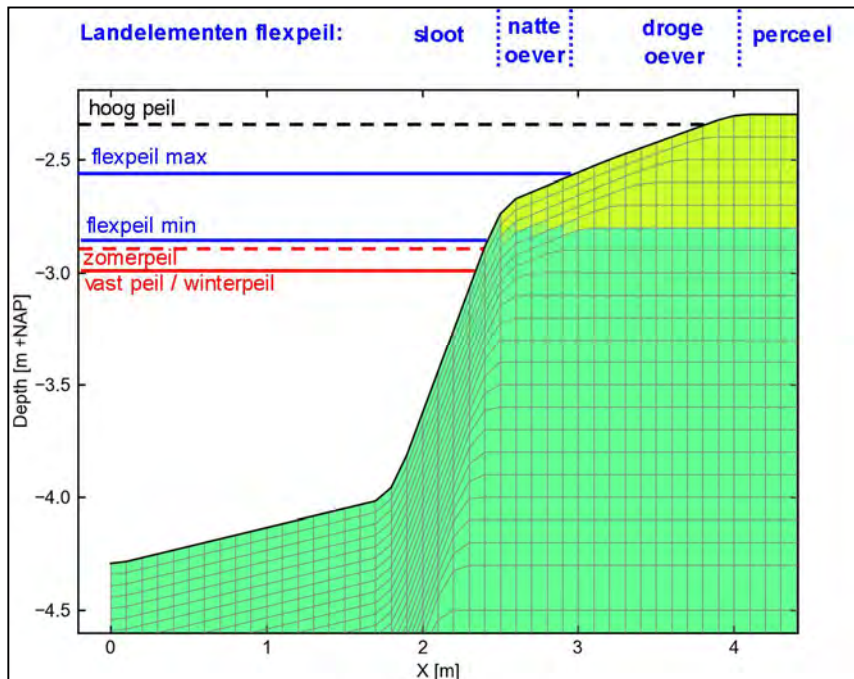
Figuur 3.1 Ligging polder Ronde Hoep met daarin het flexpeilgebied binnen de gele lijn.

Sinds 2008 wordt in het flexpeilgebied in polder Ronde Hoep een flexibel peilregime gevoerd met een maximum peil van -2.45 mNAP en een minimumpeil van -2.80 mNAP. In de praktijk is het maximum peil in de polder echter ongeveer -2.55 mNAP, als gevolg van de relatief lage ligging van het maaiveld in het zuidoostelijk deel van de polder. Bij waterpeilen hoger dan -2.55 mNAP stroomt het water over het maaiveld het flexpeilgebied uit naar het omliggende land met een lager oppervlaktewaterpeil. In het zuidoostelijk deel is tijdens natte perioden dan ook sprake van een geheel waterverzadigde ondergrond en inundatie van het land. In de analyse van het effect van flexibel peilregime zal hiermee rekening worden gehouden.

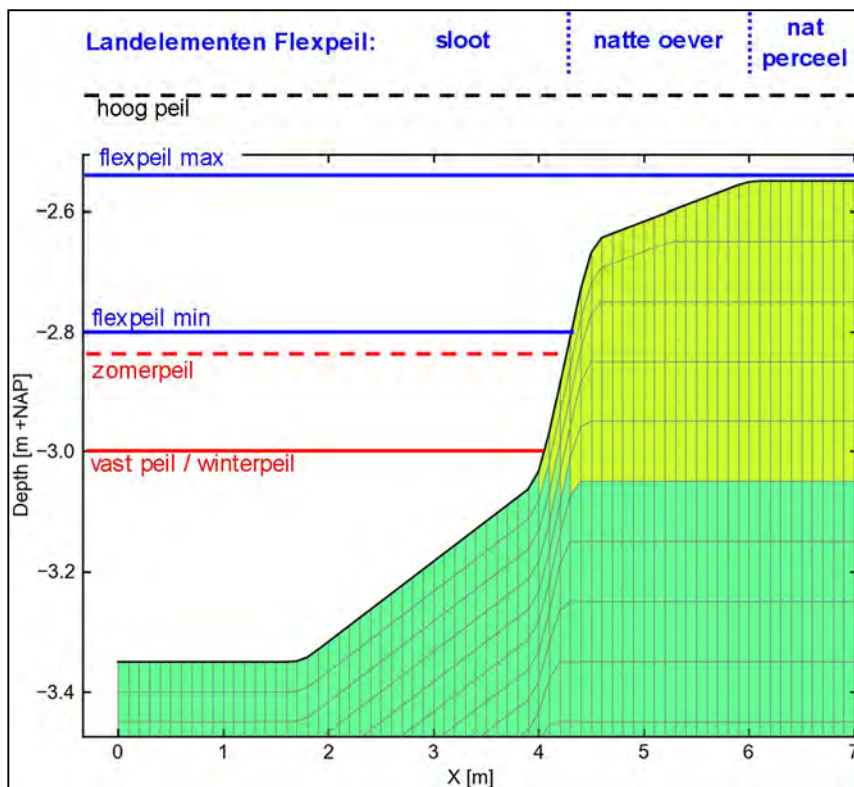
Voor het analyseren de effecten van een peilregime vergelijkbaar aan de natuureservaten in het zuiden van de Horstermeerpolder is een vast oppervlaktewaterpeil van -2.35 mNAP genomen. In het noorden van de Ronde Hoep betekent dit een oppervlaktewaterpeil van ongeveer 5 cm onder het maaiveldniveau van het perceel. In het zuidennoostelijk deel van de Ronde Hoep betekent dit echter een oppervlaktepeil boven maaiveldniveau en permanente inundatie van de percelen.

#### Landelementen

De percelen in polder Ronde Hoep bestaan grofweg uit vijf typen landelementen: sloten (oppervlaktewater), natte oevers (deel van het jaar geïnundeerd), relatief droge oevers en droge percelen en natte percelen (deel van het jaar geïnundeerd). Het oppervlak dat ieder type landelement beslaat verschilt tussen het lage vaste peilregime, het flexibel peilregime en het hoge vaste peilregime. Als gevolg van de maaiveldverschillen en verschillen in oevervorm, varieert het aandeel van de landelementen in het hoger gelegen noordelijk deel van dat in het lager gelegen zuidelijk deel. Als gevolg van het lage maaiveld in het zuidoostelijk deel van het gebied, zijn de percelen hier een deel van het jaar geïnundeerd, waardoor er geen sprake is van droge oevers (zie Tabel 3.1, Figuur 3.2 en Figuur 3.3).



Figuur 3.2 Karakteristiek oeverprofiel voor het noordelijk deel van het flexpeilgebied in Ronde Hoep, met daarin weergegeven de waterpeilen van de verschillende peilregimes (laag vast peil, flexibel peil en hoog vast peil) en de landelementen. Toelichting kleuren: lichtgroen is de bouwvoor; donkergroen is het veen.



Figuur 3.3 Karakteristiek oeverprofiel voor het zuidoostelijk deel van het flexpeilgebied in Ronde Hoep, met daarin weergegeven de waterpeilen van de verschillende peilregimes (laag vast peil, flexibel peil en hoog vast peil) en de landelementen. Toelichting kleuren: lichtgroen is de bouwvoor; donkergroen is het veen.

Tabel 3.1 Percentages oppervlak landelementen voor Ronde Hoep Noord en Zuid voor de verschillende scenario's. Schattingen op basis van veldbezoeken en GIS-analyse.

	Percentage van totaal landoppervlak					
	droog perceel	nat perceel	droge oever	natte oever	sloten	ondiepe meren
Ronde Hoep (noord) <i>vast peil</i>	86%	0%	5%	0%	9%	0%
Ronde Hoep (noord) <i>flexpeil</i>	84%	0%	5%	2%	9%	0%
Ronde Hoep (noord) <i>hoog peil</i>	70%	0%	7%	10%	13%	0%
Ronde Hoep (zuid) <i>vast peil</i>	81%	0%	6%	0%	13%	0%
Ronde Hoep (zuid) <i>flexpeil</i>	74%	0%	10%	10%	15%	0%
Ronde Hoep (zuid) <i>hoog peil</i>	0%	55%	0%	25%	20%	0%

### Grondwater

Voor het bepalen van het effect van het peilbeheer op de broeikasgasemissie zijn de resultaten van de perceelsmodellering van Ronde Hoep ingezet (Borren e.a., 2012b). Meer specifiek is gekeken naar de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld voor de percelen en voor de oevers in het noordelijk deel en het zuidoostelijk deel van Ronde Hoep. De perceelsmodellen zijn doorgerekend voor de periode 2003 tot en met 2011. Op basis hiervan zijn voor de percelen en de oevers de volgende resultaten beschikbaar voor oever en perceel:

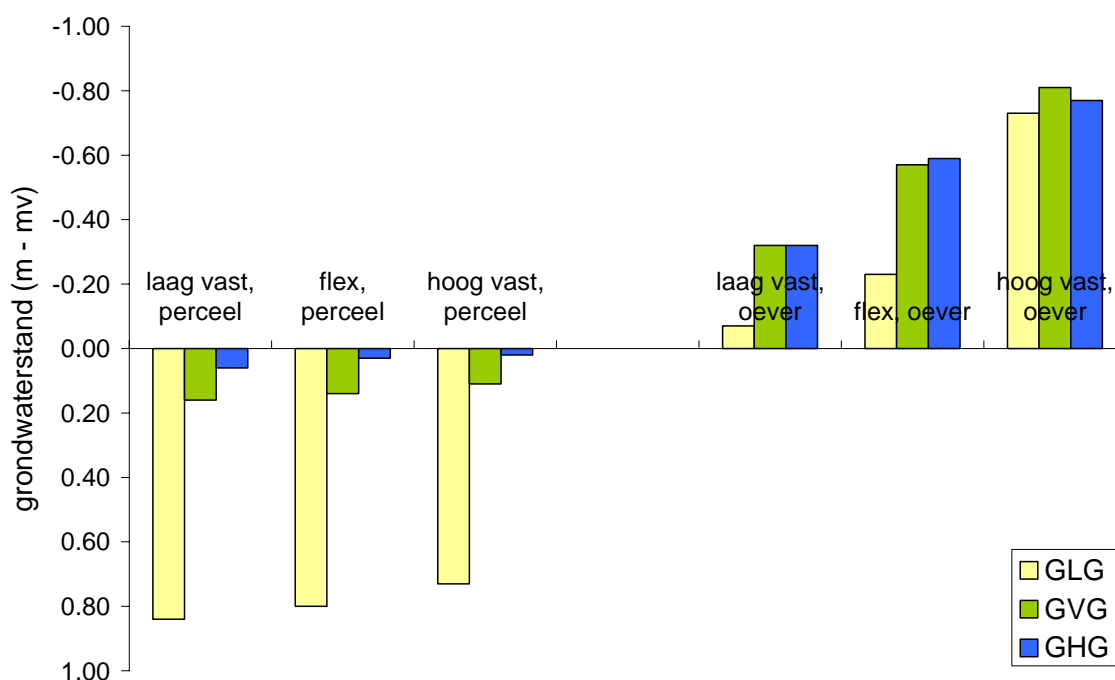
- GXG's: gemiddelde, laagste, hoogste en voorjaarsgrondwaterstand;
- minimale, maximale en gemiddelde grondwaterstand voor het hele jaar;
- minimale, maximale en gemiddelde grondwaterstand voor de zomerperiode.

Hiermee worden de belangrijkste karakteristieken van de grondwaterstand onder een bepaald peilregiem in beeld gebracht voor zowel het noordelijk deel de Ronde Hoep en het zuidoostelijk deel van de Ronde Hoep. Ook het verschil tussen de peilregimes is inzichtelijk gemaakt. De effecten van verschillende peilregimes (laag vast peil, flexibel peil en hoog vast peil) op de percelen en de oevers van het noordelijk deel van Ronde Hoep zijn samengevat in Tabel 3.2 en gevisualiseerd in Figuur 3.4. De effecten van verschillende peilregimes (laag vast peil, flexibel peil en hoog vast peil) op de percelen en de oevers van het zuidoostelijk deel van Ronde Hoep zijn samengevat in Tabel 3.3 en gevisualiseerd in Figuur 3.5.



Tabel 3.2 Kenmerken grondwaterstand in het noordelijk deel van de Ronde Hoep in de oevers en het perceel voor het lage vaste vast peilregime, het flexpeilregime en het hoge vaste peilregime. Dikgedrukte getallen waar het verschil met het lage vaste peil meer dan 0.2 m is en rode getallen waar het verschil met het lage vaste peil meer dan 0.5 m is. Resultaten op basis van perceelsmodel Ronde Hoep Noord.

		GLG	GVG	GHG	min (P5)	gemidd. (P50)	max (P95)
		(m-mv)	(m-mv)	(m-mv)	(m-mv)	(m-mv)	(m-mv)
Vast Laag Peil	perceel, jaar	0.84	0.16	0.06	0.90	0.46	0.04
	perceel, zomer	--	--	--	0.91	0.66	0.30
	oever, jaar	-0.07	-0.32	-0.32	-0.06	-0.19	-0.33
	oever, zomer	--	--	--	-0.05	-0.12	-0.24
Flexibel Peil	perceel, jaar	0.80	0.14	0.03	0.87	0.40	0.02
	perceel, zomer	--	--	--	0.88	0.62	0.24
	oever, jaar	-0.23	<b>-0.57</b>	<b>-0.59</b>	-0.21	<b>-0.44</b>	<b>-0.59</b>
	oever, zomer	--	--	--	-0.20	<b>-0.32</b>	<b>-0.55</b>
Vast Hoog Peil	perceel, jaar	0.73	0.11	0.02	0.78	0.33	0.01
	perceel, zomer	--	--	--	0.80	0.55	0.19
	oever, jaar	<b>-0.73</b>	<b>-0.81</b>	<b>-0.77</b>	<b>-0.73</b>	<b>-0.75</b>	<b>-0.77</b>
	oever, zomer	--	--	--	<b>-0.73</b>	<b>-0.74</b>	<b>-0.76</b>

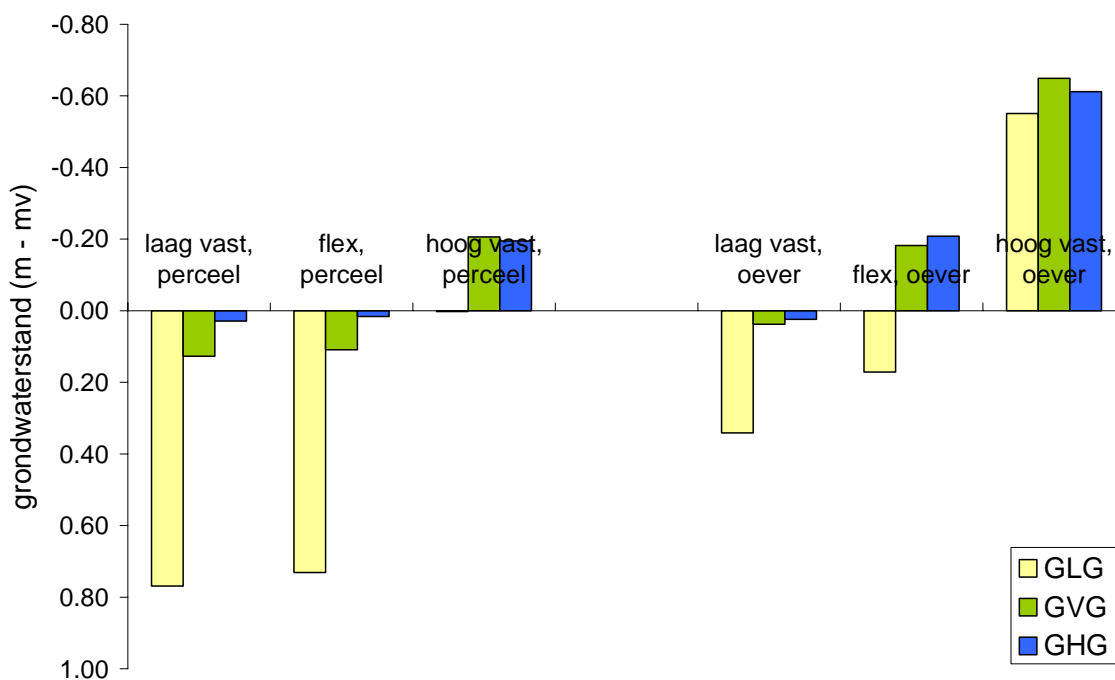


Figuur 3.4 Karakteristieken van de grondwaterstand (GXG's) op percelen en in oevers van Ronde Hoep Noord voor vast laag peil, flexibel peil en vast hoog peil op basis van berekeningen met het perceelsmodel Ronde Hoep Noord (2003 – 2011).



Tabel 3.3 Kenmerken grondwaterstand in het zuidoostelijk deel van de Ronde Hoep in de oevers en het perceel voor het lage vaste peilregime, het flexpeilregime en het hoge vaste peilregime. Dikgedrukte getallen geven aan waar het verschil met het lage vaste peil meer dan 0.2 m is en rode getallen waar het verschil met het lage vaste peil meer dan 0.5 m is. Resultaten op basis van perceelsmodel Ronde Hoep Zuid.

		GLG	GVG	GHG	min (P5)	gemidd. (P50)	max (P95)
		(m-mv)	(m-mv)	(m-mv)	(m-mv)	(m-mv)	(m-mv)
Laag Vast Peil	perceel, jaar	0.77	0.13	0.03	0.83	0.37	0.01
	perceel, zomer	--	--	--	0.85	0.60	0.20
	oever, jaar	0.34	0.04	0.02	0.36	0.18	0.02
	oever, zomer	--	--	--	0.37	0.27	0.10
Flexibel Peil	perceel, jaar	0.73	0.11	0.02	0.80	0.32	0.00
	perceel, zomer	--	--	--	0.82	0.55	0.16
	oever, jaar	0.17	<b>-0.18</b>	<b>-0.21</b>	0.19	<b>-0.06</b>	<b>-0.21</b>
	oever, zomer	--	--	--	0.21	<b>0.08</b>	<b>-0.17</b>
Hoog Vast Peil	perceel, jaar	<b>0.00</b>	<b>-0.21</b>	<b>-0.20</b>	<b>0.01</b>	<b>-0.11</b>	<b>-0.20</b>
	perceel, zomer	--	--	--	<b>0.02</b>	<b>-0.07</b>	<b>-0.18</b>
	oever, jaar	<b>-0.55</b>	<b>-0.65</b>	<b>-0.61</b>	<b>-0.55</b>	<b>-0.60</b>	<b>-0.61</b>
	oever, zomer	--	--	--	<b>-0.53</b>	<b>-0.59</b>	<b>-0.61</b>



Figuur 3.5 Karakteristieken van de grondwaterstand (GXG's) op percelen en in oevers van Ronde Hoep Zuid voor vast laag peil, flexibel peil en vast hoog peil op basis van berekeningen met het perceelsmodel Ronde Hoep Zuid (2003 – 2011).

### *Agrarische activiteiten*

Vóór de invoering van flexibel peilregime en het weidevogelbeheer, werd Ronde Hoep intensief agrarisch beheerd: regelmatige maaien en bemesten en weiden van vee. Sinds de invoering van het weidevogelbeheer en het flexibel peilregime wordt het gebied verpacht voor beperkt agrarisch gebruik. Er wordt één tot twee keer per jaar gemaaid. Wanneer slechts één maal gemaaid wordt, vanaf half mei begrazing met jongvee. Er wordt bemest met stalmest, niet met kunstmest. In natte jaren is maaien en beweiding echter niet altijd mogelijk. In het zuidoostelijk deel van de Ronde Hoep, vanwege de hoge grondwaterstanden en geïndeerde percelen. In het geval een peilregime wordt gevoerd vergelijkbaar met de natuureservaten in het zuiden van de Horstermeerpolder in de Ronde Hoep, zijn agrarische activiteiten niet tot nauwelijks mogelijk door de hoge grondwaterstanden.

### *Vegetatie*

De percelen in het flexpeilgebied van Ronde Hoep worden gedomineerd door grasland. Meer specifiek is op de percelen zeebies te vinden, afgewisseld met kale plekken (geen vegetatie). De oevers in het gebied worden gedomineerd door witbol en vossenstaart. De relevante eigenschappen van deze plantensoorten zijn te vinden in Tabel 2.2.

In het geval een peilregime wordt gevoerd vergelijkbaar met de natuureservaten in het zuiden van de Horstermeerpolder zal de samenstelling van de vegetatie in de loop van 10 jaar sterk veranderen als gevolg van de hoge oppervlaktewaterpeilen (oever), grondwaterstanden (perceel) en het wegvallen van de agrarische activiteiten. In het noordelijk deel van de Ronde Hoep zou bijvoorbeeld een combinatie van planten soorten als vossenstaart, liesgras, pitrus, riet en lisdodde kunnen worden verwacht (zie Tabel 2.2). In het zuidoostelijk deel van de Ronde Hoep kunnen soorten als vossenstaart, liesgras, riet en lisdodde worden verwacht (zie Tabel 2.2). Door de hoge waterstanden in dit deelgebied, zullen er ook plekken zijn waar vegetatie ontbreekt.

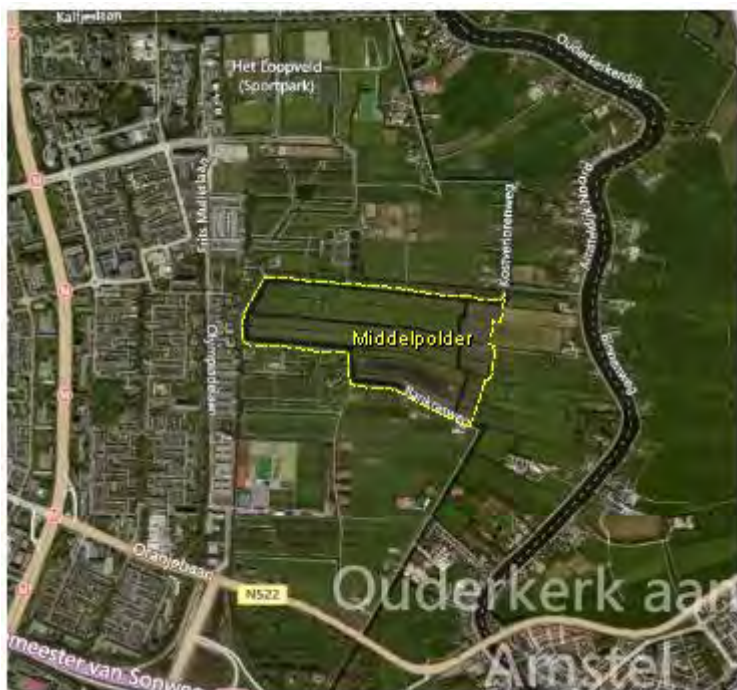
### *Bodem- en waterkwaliteit*

De bovengrond is door het (historische) agrarisch gebruik aangerijkt met landbouwverontreinigingen (nutriënten, zware metalen, pesticiden). De aanrijking van de bovengrond met nutriënten kan deels een restant zijn van in het verleden gemeneraliseerd veen. Inlaatwater (afkomstig uit de Waver) heeft een hoge EC en P-concentratie door een grote bijdrage van brak uitgemalen water uit polder Groot Mijdrecht. Daarnaast is het oppervlaktewater en grondwater rijk aan nutriënten uit de landbouw (bodemuitspoeling). Het flexpeilgebied is afgesloten van de rest van de polder en kent een peilregime waarbij minder waterinlaat nodig is (flexibel peilregime). Hierdoor ondervindt het flexpeilgebied waarschijnlijk minder invloed van het nutriëntenrijke inlaatwater. Uitspoeling van de bodem en de percelen van voedselrijk water vindt (voorlopig) nog wel plaats.

In het geval een peilregime wordt gevoerd vergelijkbaar met de natuureservaten in het zuiden van de Horstermeerpolder zal de samenstelling het grond- en oppervlaktewater in de loop van 10 jaar sterk veranderen als gevolg van de hoge oppervlaktewaterpeilen, grondwaterstanden en het wegvallen van de agrarische activiteiten. Er zal in deze periode waarschijnlijk een transitie plaatsvinden een zeer eutroof milieu naar een mesotroof tot eutroof milieu.

## **3.3** **Systeemkenmerken Middelpolder**

De Middelpolder ligt ten zuiden van Amsterdam en ten oosten van Amstelveen en ten westen van de rivier de Amstel. Een deel van de Middelpolder is hydrologisch geïsoleerd en daar is flexibel peilbeheer ingesteld (Figuur 3.6).



Figuur 3.6 Ligging polder Ronde Hoep met daarin het flexpeilgebied binnen de gele lijn.

### *Bodem*

De bodem in het flexpeilgebied van de Middelpolder bestaat hoofdzakelijk uit moerige kleigrond van ongeveer 7 m dikte met daarop een veenlaag (koopveengronden op zeggeveen, rietveen of broekveen) met een dikte van ongeveer 2.5 m. De bovenste 50 cm van het veen is zandig en veraard.

### *Peilbeheer*

Een groot deel van het flexpeilgebied had voor de invoering van het flexpeil een zomerpeil van -2.40 mNAP en een winterpeil van -2.45 mNAP. Sinds 2011 wordt in het flexpeilgebied in de Middelpolder een flexibel peilregime gevoerd met een maximum peil van -2.25 mNAP en een minimumpeil van -2.55 mNAP.

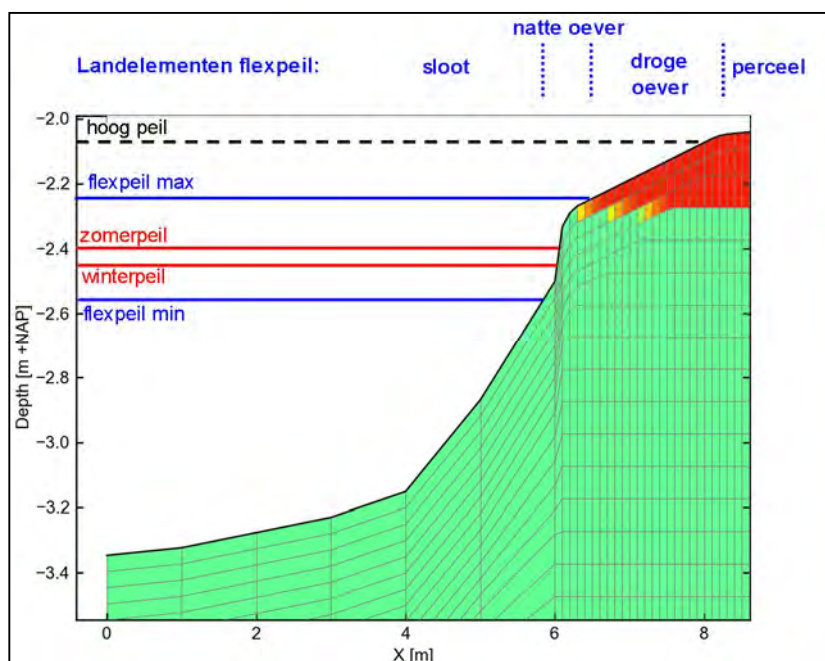
Voor het analyseren de effecten van een peilregime vergelijkbaar aan de natuurreservaten in het zuiden van de Horstermeerpolder is een vast oppervlaktewaterpeil van -2.17 mNAP genomen. Dit betekent een oppervlaktewaterpeil van ongeveer 5 cm onder het maaiveldniveau van het perceel.

### *Landelementen*

De percelen in polder Middelpolder bestaan grofweg uit vier typen landelementen: sloten (oppervlaktewater), natte oevers (deel van het jaar geïnundeerd), relatief droge oevers en droge percelen. Het oppervlak dat ieder type landelement beslaat verschilt tussen het zomerwinterpeil regime, het flexibel peilregime en het hoge vaste peilregime (zie Tabel 3.4 en Figuur 3.7).

Tabel 3.4 Percentages oppervlak landelementen voor Middelpolder. Schattingen op basis van veldbezoeken en GIS-analyse.

	Percentage van totaal landoppervlak				
	droog perceel	droge oever	natte oever	sloten	ondiepe meren
Ronde Hoep (noord) zwp	83 %	2 %	0 %	15 %	0 %
Ronde Hoep (noord) flexpeil	76 %	6 %	2 %	16 %	0 %
Ronde Hoep (noord) hoog peil	60 %	7 %	7%	26 %	0 %



Figuur 3.7 Karakteristiek oeverprofiel voor het noordelijk deel van het flexpeilgebied in Middelpolder, met daarin weergegeven de waterpeilen van de verschillende peilregimes (flexpeil, zomerwinterpeil en vast hoog peil) en de landelementen bij flexibel peilregime. Toelichting kleuren: rood is de bouwvoor; groen is het veen.

### Grondwater

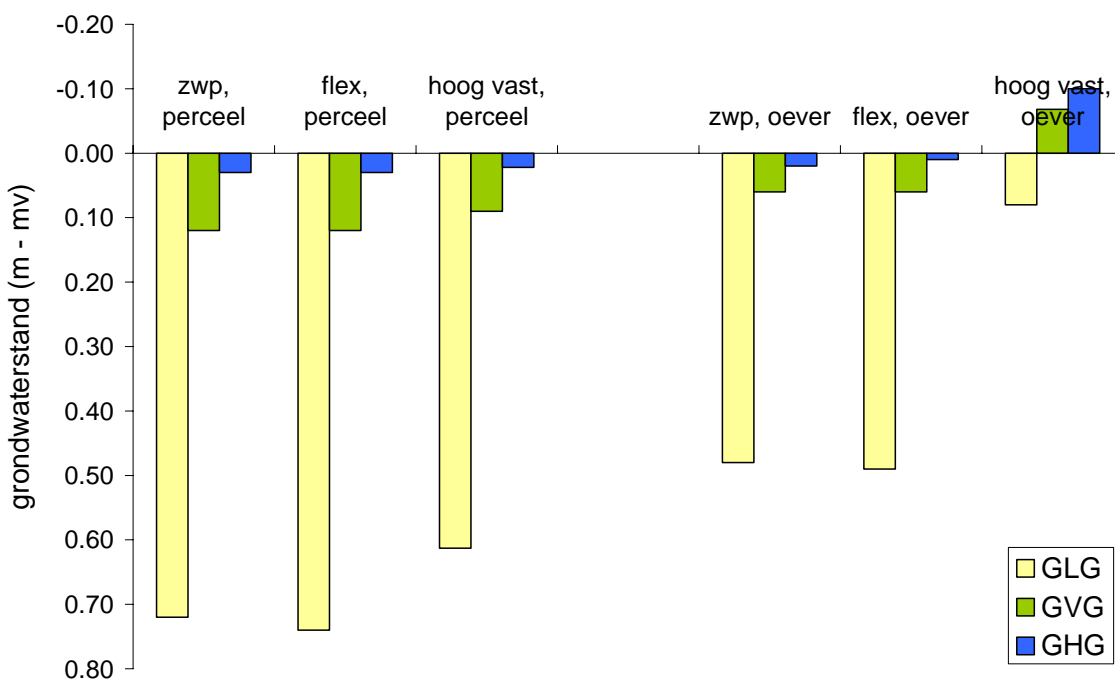
Voor het bepalen van het effect van het peilbeheer op de broeikasgasemissie zijn de resultaten van de perceelsmodellering van Middelpolder ingezet (Borren e.a., 2012b). Meer specifiek is gekeken naar de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld voor de percelen en voor de oevers in Middelpolder. De perceelsmodellen zijn doorgerekend voor de periode 2003 tot en met 2011. Op basis hiervan zijn voor de percelen en de oevers de volgende resultaten beschikbaar voor oever en perceel:

- GXG's: gemiddelde, laagste, hoogste en voorjaarsgrondwaterstand;
- minimale, maximale en gemiddelde grondwaterstand voor het hele jaar;
- minimale, maximale en gemiddelde grondwaterstand voor de zomerperiode.

Hiermee worden de belangrijkste karakteristieken van de grondwaterstand onder een bepaald peilregiem in beeld de Middelpolder. De effecten van verschillende peilregimes (laag zomerwinterpeil, flexibel peil en hoog vast peil) op de percelen en de oevers van de Middelpolder zijn samengevat in Tabel 3.5 en gevisualiseerd in Figuur 3.8.

Tabel 3.5 Kenmerken grondwaterstand in de Middelpolder in de oevers en het perceel voor het zomerwinterpeilregime en voor het flexpeilregime. Onderste vier regels tonen het verschil in grondwaterstand tussen de peilregimes; dikgedrukt waar het verschil met het lage vast peil meer dan 0.2 m is en rood waar het verschil met het lage vaste peil meer dan 0.5 m is. Resultaten op basis van perceelsmodel Middelpolder.

		GLG	GVG	GHG	Min (P5)	gemidd. (P50)	max (P95)
		(m-mv)	(m-mv)	(m-mv)	(m-mv)	(m-mv)	(m-mv)
Zomerwinter Peil	perceel, jaar	0.72	0.12	0.03	0.77	0.29	0.02
	perceel, zomer	--	--	--	0.80	0.52	0.15
	oever, jaar	0.48	0.06	0.02	0.51	0.20	0.01
	oever, zomer	--	--	--	0.54	0.35	0.09
Flexibel Peil	perceel, jaar	0.74	0.12	0.03	0.77	0.27	0.02
	perceel, zomer	--	--	--	0.80	0.51	0.15
	oever, jaar	0.49	0.06	0.01	0.55	0.15	0.00
	oever, zomer	--	--	--	0.58	0.33	0.07
Hoog Vast Peil	perceel, jaar	0.61	0.09	0.02	0.67	0.21	0.02
	perceel, zomer	--	--	--	0.70	0.42	0.10
	oever, jaar	<b>0.08</b>	-0.07	-0.1	<b>0.09</b>	<b>0.00</b>	-0.04
	oever, zomer	--	--	--	<b>0.10</b>	<b>0.04</b>	-0.03



Figuur 3.8 Karakteristieken van de grondwaterstand (GXG's) op percelen en in oevers van Middelpolder voor zomerwinter-peilregime, flexibel peilregime en hoog vast peilregime op basis van berekeningen met het perceelsmodel Middelpolder (2003 – 2011).

### *Agrarische activiteiten*

Vóór de invoering van flexibel peilregime en het weidevogelbeheer, werd Middelpolder intensief agrarisch beheerd: regelmatige maaien en bemesten en weiden van vee. Sinds de invoering van het weidevogelbeheer en het flexibel peilregime wordt het gebied verpacht voor beperkt agrarisch gebruik. Er wordt één tot twee keer per jaar gemaaid. Wanneer slechts één maal gemaaid wordt, vanaf half mei begrazing met jongvee. Er wordt bemest met stalmest, niet met kunstmest. In het geval een peilregime wordt gevoerd vergelijkbaar met de natuurreservaten in het zuiden van de Horstermeerpolder in de Middelpolder, zijn agrarische activiteiten niet tot nauwelijks mogelijk door de hoge grondwaterstanden.

### *Vegetatie*

De percelen in het flexpeilgebied van Middelpolder worden gedomineerd door grasland. Meer specifiek is op de percelen zeebies en liegras te vinden. De oevers in het gebied worden gedomineerd door witbol en vossenstaart. De relevante eigenschappen van deze plantensoorten zijn te vinden in Tabel 2.2.

In het geval een peilregime wordt gevoerd vergelijkbaar met de natuurreservaten in het zuiden van de Horstermeerpolder zal de samenstelling van de vegetatie in de loop van 10 jaar sterk veranderen als gevolg van de hoge oppervlaktewaterpeilen (oever), grondwaterstanden (perceel) en het wegvallen van de agrarische activiteiten. Een combinatie van planten soorten als vossenstaart, liesgras, pitrus, riet en lisdodde kan worden verwacht (zie Tabel 2.2).

### *Bodem- en waterkwaliteit*

In de Middelpolder wordt in tijden van droogte vanuit de Amstel en vanuit particuliere inlaten water ingelaten. Dit is zeer nutriëntrijk water en dit heeft een grote invloed op de waterkwaliteit in de polder. Ook wordt het oppervlaktewater in de polder negatief beïnvloed door een enkele lozing van effluent water van de RWZI. Het flexpeilgebied is deels afgesloten van de rest van de polder en kent een peilregime waarbij minder waterinlaat nodig is (flexibel peilregime). Hierdoor ondervindt het flexpeilgebied waarschijnlijk minder invloed van het nutriëntenrijke water vanuit de Amstel en de particuliere inlaten. Uitspoeling van de bodem en de percelen van voedselrijk water vindt (voorlopig) nog wel plaats.

In het geval een peilregime wordt gevoerd vergelijkbaar met de natuurreservaten in het zuiden van de Horstermeerpolder zal de samenstelling het grond- en oppervlaktewater in de loop van 10 jaar sterk veranderen als gevolg van de hoge oppervlaktewaterpeilen, grondwaterstanden en het wegvallen van de agrarische activiteiten. Er zal in deze periode waarschijnlijk een transitie plaatsvinden een zeer eutroof milieu naar een mesotroof tot eutroof milieu.



## 4 Broeikasgasemissie flexpeilgebieden

### 4.1 Broeikasgasemissie Ronde Hoep Noord

In Tabel 4.1 wordt een overzicht gegeven van de impact van peilbeheer in het noordelijk deel van de Ronde Hoep via de systeemkenmerken grondwaterstand, bodem- en water kwaliteit, vegetatie en landgebruik op de broeikasgasemissies van de verschillende landelementen (perceel, oever, sloot). Voor ieder type peilregime is per landelement met kleur de relatieve impact aangeduid. Hierbij is naast effect op de broeikasgasemissie per vierkante meter ook rekening gehouden met het relatieve oppervlak van de landelementen. In onderstaande tekst wordt de tabel per peilregime toegelicht en wordt een schatting gegeven van de totale broeikasgasemissie van het gebied per peilregime.

#### 4.1.1 Laag vast peilregime

- Onder het lage vaste peilregime is de CO<sub>2</sub>-emissie vanuit het perceel hoog, als gevolg van de lage grondwaterstanden tijdens de zomerperiode. Belangrijk hierbij is ook het frequente maaien van het gras, waardoor de opname van CO<sub>2</sub> door plantengroei en sterk wordt afgeremd. De eutrofe omstandigheden zorgen daarnaast voor een hoge microbiële activiteit in de bodem, waardoor veenoxidatie waarschijnlijk wordt gestimuleerd en de CO<sub>2</sub>-emissie hoog is.
- De oeverzone is relatief smal en zal daardoor een lage tot beperkte bijdragen leveren aan de emissie van CO<sub>2</sub> of CH<sub>4</sub>.
- De sloten geven waarschijnlijk een hoge CH<sub>4</sub>-emissie, doordat ze een zeer eutrofe waterbodem hebben als gevolg van afspoeling van meststoffen vanaf het maaiveld.
- De emissie van broeikasgassen als gevolg van agrarische activiteit is hoog: de beweiding en mestopslag van vee geven een hoge CH<sub>4</sub>-emissie en frequente bemesting met natuurlijke en kunstmest veroorzaken significante N<sub>2</sub>O-emissies.

Geschatte totale broeikasgasemissie in Ronde Hoep Noord onder laag vast peilregime: +2.0 ± 1.0 kg CO<sub>2</sub>-equiv. m<sup>-2</sup> jr<sup>-1</sup>. Hiervan wordt +0.3 tot +0.7 kg CO<sub>2</sub>-equiv. m<sup>-2</sup> jr<sup>-1</sup> veroorzaakt door agrarische activiteiten.

#### 4.1.2 Flexibel peilregime

- Onder het flexpeilregime zoals ingesteld in het noordelijk deel van de Ronde Hoep zullen de grondwaterstanden op het perceel weinig verschillen van de grondwaterstanden onder het lage vaste peilregime. Als gevolg van het minder frequente maaien van het gras en de wat minder eutrofe omstandigheden, zal de CO<sub>2</sub>-emissie vanuit het perceel op termijn waarschijnlijk wat dalen ten opzichte van de omstandigheden onder het zomerwinter-peilregime.
- De oeverzone is iets breder en natter dan onder het lage vaste peilregime door de wat grotere fluctuaties van het oppervlaktewaterpeil. Door de wat nattere condities, het type vegetatie en de eutrofe omstandigheden zal de oever beperkt tot matig bijdragen aan de emissie van CH<sub>4</sub>.
- De sloten geven waarschijnlijk een matig hoge CH<sub>4</sub>-emissie, doordat ze een eutrofe waterbodem hebben als gevolg van afspoeling van meststoffen vanaf het maaiveld.
- De emissie van broeikasgassen als gevolg van agrarische activiteit is matig: de nu gereduceerde beweiding van vee en mestopslag geven een matig hoge CH<sub>4</sub>-emissie.



De ook gereduceerde bemesting met natuurlijke mest zal toch een zekere mate van N<sub>2</sub>O-emissies veroorzaken.

Geschatte totale broeikasgasemissie in Ronde Hoep Noord onder flexibel peilregime: +1.5 ± 0.75 kg CO<sub>2</sub>-equiv. m<sup>-2</sup> jr<sup>-1</sup>. Hiervan wordt +0.2 tot +0.4 kg CO<sub>2</sub>-equiv. m<sup>-2</sup> jr<sup>-1</sup> veroorzaakt door agrarische activiteiten.

Tabel 4.1 Overzicht van systeemkenmerken van Ronde Hoep Noord onder de verschillende vormen van peilbeheer. In kleur is de impact van op de emissie van broeikasgassen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O) voor de verschillende landelementen weergegeven (rood: emissie sterk; oranje: emissie matig; geel: emissie laag; wit: geen emissie; groen: opname CO<sub>2</sub>).

Perceel		Laag Vast Peil	Flexibel Peil	Hoog Vast peil
opp. (geïnd.) (%)		86% (--)	84% (--)	70% (--)
grondwater (m-mv)	GLG	0.84	0.80	0.73
	GVG	0.16	0.14	0.11
	GHG	0.06	0.03	0.02
bodem, kwaliteit		veen, zeer eutroof	veen, zeer eutroof	veen, eutroof - mesotroof
Vegetatie		zeebies	zeebies, kale grond	witbol, pitrus, liesgras
<b>Oever</b>		Laag Vast Peil	Flexibel Peil	Hoog Vast peil
opp. (nat opp.) (%)		5% (--)	7% (2%)	17%(7%)
grondwater (m-mv)	GLG	-0.07	-0.23	-0.73
	GVG	-0.32	-0.57	-0.81
	GHG	-0.32	-0.59	-0.77
Bodemkwaliteit		veen, zeer eutroof	veen, zeer eutroof	veen, eutroof - mesotroof
Vegetatie		witbol/ vossenstaart	witbol, vossenstaart	vossenstaart, liesgras, riet, pitrus, lisdodde
<b>Sloot</b>		Laag Vast Peil	Flexibel Peil	Hoog Vast peil
opp. (%)		9%	9%	13%
water(bodem)kwaliteit		zeer eutroof	eutroof	eutroof - mesotroof
<b>Agrarische activiteit</b>		Laag Vast Peil	Flexibel Peil	Hoog Vast peil
Vee		++	-/+	-
Mest		++	+	-
Maaien		++	+	-

### 4.1.3 Hoog vast peilregime

- Onder een hoog vast peilregime zullen de grondwaterstanden op het perceel stijgen ten opzichte van de grondwaterstanden onder het lage vaste peilregime. Als gevolg van het stopzetten van het maaien van het gras en de verandering van vegetatietype, zal de opname CO<sub>2</sub>-opname door plantengroei significant toenemen. De plantengroei zal de eerste (10 tot 30) jaren nog groot zijn als gevolg van de eutrofe tot mesotrofe omstandigheden. De CH<sub>4</sub>-emissie op het perceel zal mogelijk iets stijgen ten opzichte van de andere peilregimes. Over het algemeen stijgt de grondwaterstand van het perceel onder dit scenario in de Ronde Hoep Noord niet dusdanig dat de CH<sub>4</sub>-emissie sterk toeneemt. Lokaal kan dit wel het geval zijn: op natte plekken in het perceel door verdichting van de ondergrond en daar waar plantensoorten voorkomen die het transport van CH<sub>4</sub> naar de atmosfeer bevorderen.
- De oeverzone is breder en natter door het aanhoudend hoge oppervlaktewaterpeil. Door de nattere condities, het type vegetatie en de eutrofe tot mesotrofe

omstandigheden zal de oeverzone matig bijdragen aan de broeikasgasemissies door de emissie van CH<sub>4</sub>.

- De sloten geven waarschijnlijk een matige CH<sub>4</sub>-emissie, doordat ze een matig eutrofe tot mesotrofe waterbodem hebben als gevolg van afspoeling van meststoffen vanaf het maaiveld onder het vorige landgebruik.
- De emissie van broeikasgassen als gevolg van agrarische activiteit is gereduceerd tot nul.

Geschatte totale broeikasgasemissie in Ronde Hoep Noord onder hoog vast peilregime:  $-0.8 \pm 0.4$  kg CO<sub>2</sub>-equiv. m<sup>-2</sup> jr<sup>-1</sup> (**opname van broeikasgassen**). Geen emissie vanwege agrarische activiteiten.

Opgemerkt moet worden dat de opname van broeikasgassen (CO<sub>2</sub>) onder een hoog vast peilregime in de Ronde Hoep Noord grotendeels wordt veroorzaakt door de sterke toename van biomassa van de planten onder dit scenario. Bij een afname van de voedselrijkdom in het gebied na enkele tientallen jaren, zal de aanwas van biomassa uiteindelijk ook afnemen waardoor de opname van CO<sub>2</sub> afneemt. Waarschijnlijk ontstaat er uiteindelijk een ongeveer klimaatneutrale situatie (weinig opname of uitstoot van broeikasgassen).

## 4.2 Broeikasgasemissie Ronde Hoep Zuid

In Tabel 4.2 wordt een overzicht gegeven van de impact van peilbeheer in het zuidoostelijk deel van de Ronde Hoep via de systeemkenmerken grondwaterstand, bodem- en water kwaliteit, vegetatie en landgebruik op de broeikasgasemissies van de verschillende landelementen (perceel, oever, sloot). Voor ieder type peilregime is per landelement met kleur de relatieve impact aangeduid. Hierbij is naast effect op de broeikasgasemissie per vierkante meter ook rekening gehouden met het relatieve oppervlak van de landelementen. In onderstaande tekst wordt de tabel per peilregime toegelicht en wordt een schatting gegeven van de totale broeikasgasemissie van het gebied per peilregime.

### 4.2.1 Laag vast peilregime

- Onder het lage vaste peilregime is de CO<sub>2</sub>-emissie vanuit het perceel hoog, als gevolg van de lage grondwaterstanden tijdens de zomerperiode. Belangrijk hierbij is ook het frequente maaien van het gras, waardoor de opname van CO<sub>2</sub> door plantengroei en sterk wordt afgeremd. De eutrofe omstandigheden zorgen daarnaast voor een hoge microbiële activiteit in de bodem, waardoor veenoxidatie waarschijnlijk wordt gestimuleerd en de CO<sub>2</sub>-emissie hoog is.
- De oeverzone is relatief smal en droog en zal daardoor beperkt bijdragen aan de emissie van CO<sub>2</sub> of CH<sub>4</sub>.
- De sloten geven waarschijnlijk een hoge CH<sub>4</sub>-emissie, doordat ze een zeer eutrofe waterbodem hebben als gevolg van afspoeling van meststoffen vanaf het maaiveld.
- De emissie van broeikasgassen als gevolg van agrarische activiteit is hoog: de beweiding en mestopslag van vee geven een hoge CH<sub>4</sub>-emissie en frequente bemesting met natuurlijke en kunstmest veroorzaken significante N<sub>2</sub>O-emissies.

Geschatte totale broeikasgasemissie in Ronde Hoep Zuid onder laag vast peilregime:  $+2.0 \pm 1.0$  kg CO<sub>2</sub>-equiv. m<sup>-2</sup> jr<sup>-1</sup>. Hiervan wordt  $+0.3$  tot  $+0.7$  kg CO<sub>2</sub>-equiv. m<sup>-2</sup> jr<sup>-1</sup> veroorzaakt door agrarische activiteiten.

## 4.2.2 Flexibel peilregime

- Onder het flexipeilregime zoals ingesteld in het zuidoostelijk deel van de Ronde Hoep zullen de grondwaterstanden op het perceel weinig verschillen van de grondwaterstanden onder het lage vaste peilregime. Als gevolg van het minder frequente maaien van het gras en de wat minder eutrofe omstandigheden, zal de CO<sub>2</sub>-emissie vanuit het perceel op termijn waarschijnlijk wat dalen ten opzichte van de omstandigheden onder het zomerwinter-peilregime.
- De oeverzone is relatief breed en nat door de voor dit gebied hoge oppervlaktewaterpeilen en de grotere fluctuaties van het oppervlaktewaterpeil. Door de deze natte oevercondities, het type vegetatie en de eutrofe omstandigheden zal de oever matig tot sterk bijdragen aan de broeikasgasemissie door de emissie van CH<sub>4</sub>.
- De sloten geven waarschijnlijk een matig hoge CH<sub>4</sub>-emissie, doordat ze een eutrofe waterbodem hebben als gevolg van afspoeling van meststoffen vanaf het maaiveld.
- De emissie van broeikasgassen als gevolg van agrarische activiteit is beperkt: beweiding van vee is nauwelijks mogelijk door de brede drassige oevers. Beweiding en mestopslag zal daardoor een beperkte CH<sub>4</sub>-emissie geven. De gereduceerde bemesting met natuurlijke mest zal een zekere mate van N<sub>2</sub>O-emissies veroorzaken.

Geschatte totale broeikasgasemissie in Ronde Hoep Zuid onder flexibel peilregime: +1.6 ± 0.8 kg CO<sub>2</sub>-equiv. m<sup>-2</sup> jr<sup>-1</sup>. Hiervan wordt +0.1 tot +0.2 kg CO<sub>2</sub>-equiv. m<sup>-2</sup> jr<sup>-1</sup> veroorzaakt door agrarische activiteiten.

Tabel 4.2 Overzicht van systeemkenmerken van Ronde Hoep Zuid onder de verschillende vormen van peilbeheer. In kleur is de impact van op de emissie van broeikasgassen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O) voor de verschillende landelementen weergegeven (rood: emissie sterk; oranje: emissie matig; geel: emissie laag; wit: geen emissie; groen: opname CO<sub>2</sub>).

Perceel		Laag Vast Peil	Flexibel Peil	Hoog Vast peil
opp. (geïnd.) (%)		81% (--)	65% (--)	55% (55%)
grondwater (m-mv)	GLG	0.77	0.73	0.00
	GVG	0.13	0.11	-0.21
	GHG	0.03	0.02	-0.20
bodem, kwaliteit		veen, zeer eutroof	veen, zeer eutroof	veen, eutroof - mesotroof
Vegetatie		zeebies/ kale grond	zeebies/ kale grond	geen, vossesst, liesgras, riet, lisdodde
<b>Oever</b>		Laag Vast Peil	Flexibel Peil	Hoog Vast peil
opp. (geïnd.) (%)		6% (0%)	20% (10%)	25% (25%)
grondwater (m-mv)	GLG	0.34	0.17	-0.55
	GVG	0.04	-0.18	-0.65
	GHG	0.02	-0.21	-0.61
Bodemkwaliteit		veen, zeer eutroof	veen, zeer eutroof	veen, eutroof - mesotroof
Vegetatie		witbol/ vossenstaart	witbol/ vossenstaart	geen, vossesst, liesgras, riet, lisdodde
<b>Slot</b>				
opp. (%)		13 %	15 %	20 %
water(bodem)kwaliteit		Zeer eutroof	eutroof	eutroof - mesotroof
<b>Agrarische activiteit</b>		Laag Vast Peil	Flexibel Peil	Hoog Vast peil
Vee		++	--	-
Mest		++	+	-
Maaien		++	+	-

#### 4.2.3 Hoog vast peilregime

- In het zuidoostelijk deel van de Ronde Hoep zullen de grondwaterstanden op het perceel onder een hoog vast peilregime altijd boven maaiveld staan. Er is continue sprake van een plas-dras situatie of geïnundeerde percelen. De uitstoot van CO<sub>2</sub> zal sterk afnemen door een sterke afname van de veenoxidatie. Anderzijds neemt door de anaerobe omstandigheden in combinatie met de eutrofe tot mesotrofe (water)bodem neemt de emissie van CH<sub>4</sub> zeer sterk toe. De veranderde plantengroei (toename gastransport) verstrekt waarschijnlijk de emissie van CH<sub>4</sub>.
- De situatie in de (voormalige) oeverzone is vergelijkbaar met die van het geïnundeerde perceel: sterk gereduceerde CO<sub>2</sub>-emissies, maar hoge CH<sub>4</sub>-emissies.
- De sloten geven waarschijnlijk een matige CH<sub>4</sub>-emissie, doordat ze een matig eutrofe tot mesotrofe waterbodem hebben als gevolg van afspoeling van meststoffen vanaf het maaiveld onder het vorige landgebruik. Door de grotere waterdiepte speelt het versnelde transport van CH<sub>4</sub> naar de atmosfeer via planten niet.
- De emissie van broeikasgassen als gevolg van agrarische activiteit is gereduceerd tot nul.

Geschatte totale broeikasgasemissie in Ronde Hoep Zuid onder hoog vast peilregime:  $+3.0 \pm 1.5$  kg CO<sub>2</sub>-equiv. m<sup>-2</sup> jr<sup>-1</sup>. Geen emissie vanwege agrarische activiteiten.

Opgemerkt moet worden dat de sterke emissie van broeikasgassen (CH<sub>4</sub>) onder een hoog vast peilregime in de Ronde Hoep Zuid grotendeels wordt veroorzaakt door de zeer voedselrijke situatie van het gebied. Bij een afname van de voedselrijkdom na enkele tientallen jaren, zal de microbiële activiteit die zorgt voor de methaanproductie afnemen waardoor de emissie van CH<sub>4</sub> afneemt. Waarschijnlijk ontstaat er uiteindelijk een ongeveer klimaatneutrale situatie (weinig opname of uitstoot van broeikasgassen).

### 4.3 Broeikasgasemissie Middelpolder

In Tabel 4.3 wordt een overzicht gegeven van de impact van peilbeheer in de Middelpolder via de systeemkenmerken grondwaterstand, bodem- en water kwaliteit, vegetatie en landgebruik op de broeikasgasemissies van de verschillende landelementen (perceel, oever, sloot). Voor ieder type peilregime is per landelement met kleur de relatieve impact aangeduid. Hierbij is naast effect op de broeikasgasemissie per vierkante meter ook rekening gehouden met het relatieve oppervlak van de landelementen. In onderstaande tekst wordt de tabel per peilregime toegelicht en wordt een schatting gegeven van de totale broeikasgasemissie van het gebied per peilregime.

#### 4.3.1 Zomerwinter-peilregime

- Onder het zomerwinter-peilregime is de CO<sub>2</sub>-emissie vanuit het perceel hoog, als gevolg van de lage grondwaterstanden tijdens de zomerperiode. Belangrijk hierbij is ook het frequente maaien van het gras, waardoor de opname van CO<sub>2</sub> door plantengroei en sterk wordt afgeremd. De eutrofe omstandigheden zorgen daarnaast voor een hoge microbiële activiteit in de bodem, waardoor veenoxidatie waarschijnlijk wordt gestimuleerd en de CO<sub>2</sub>-emissie hoog is.
- De oeverzone is relatief smal en zal daardoor een lage tot beperkte bijdragen leveren aan de emissie van CO<sub>2</sub> of CH<sub>4</sub>.
- De sloten geven waarschijnlijk een hoge CH<sub>4</sub>-emissie, doordat ze een zeer eutrofe waterbodem hebben als gevolg van afspoeling van meststoffen vanaf het maaiveld.

- De emissie van broeikasgassen als gevolg van agrarische activiteit is hoog: de beweiding en mestopslag van vee geven een hoge CH<sub>4</sub>-emissie en frequente bemesting met natuurlijke en kunstmest veroorzaken significante N<sub>2</sub>O-emissies.

Geschatte totale broeikasgasemissie in Middelpolder onder zomerwinter-peilregime: +2.0 ± 1.0 kg CO<sub>2</sub>-equiv. m<sup>-2</sup> jr<sup>-1</sup>. Hiervan wordt +0.3 tot +0.7 kg CO<sub>2</sub>-equiv. m<sup>-2</sup> jr<sup>-1</sup> veroorzaakt door agrarische activiteiten.

#### 4.3.2 Flexibel peilregime

- Onder het flexpeilregime zoals ingesteld in de Middelpolder zullen de grondwaterstanden op het perceel weinig verschillen van de grondwaterstanden onder het lage vaste peilregime. Als gevolg van het minder frequente maaien van het gras en de wat minder eutrofe omstandigheden, zal de CO<sub>2</sub>-emissie vanuit het perceel op termijn waarschijnlijk wat dalen ten opzichte van de omstandigheden onder het zomerwinter-peilregime.
- De oeverzone is relatief iets breder en natter door de wat grotere fluctuaties van het oppervlaktewaterpeil dan onder het lage vaste peilregime. Door de wat nattere condities, het type vegetatie en de onverminderd eutrofe omstandigheden zone zal de oever matig bijdragen aan de emissie van CH<sub>4</sub>.
- De sloten geven waarschijnlijk een matig hoge CH<sub>4</sub>-emissie, doordat ze een eutrofe waterbodem hebben als gevolg van afspoeling van meststoffen vanaf het maaiveld.
- De emissie van broeikasgassen als gevolg van agrarische activiteit is matig: de nu gereduceerde beweiding van vee en mestopslag geven een matig hoge CH<sub>4</sub>-emissie. De ook gereduceerde bemesting met natuurlijke mest zal toch een zekere mate van N<sub>2</sub>O-emissies veroorzaken.

Geschatte totale broeikasgasemissie in Middelpolder onder flexibel peilregime: +1.5 ± 0.75 kg CO<sub>2</sub>-equiv. m<sup>-2</sup> jr<sup>-1</sup>. Hiervan wordt +0.2 tot +0.4 kg CO<sub>2</sub>-equiv. m<sup>-2</sup> jr<sup>-1</sup> veroorzaakt door agrarische activiteiten.

#### 4.3.3 Hoog vast peilregime

- Onder een hoog vast peilregime zullen de grondwaterstanden op het perceel stijgen ten opzichte van de grondwaterstanden onder zomerwinter-peilregime. Als gevolg van het stopzetten van het maaien van het gras en de verandering van vegetatietype, zal de opname CO<sub>2</sub>-opname door plantengroei significant toenemen. De plantengroei zal de eerste (10 tot 30) jaren nog groot zijn als gevolg van de eutrofe tot mesotrofe omstandigheden. De CH<sub>4</sub>-emissie op het perceel zal mogelijk iets stijgen ten opzichte van de andere peilregimes. Over het algemeen stijgt de grondwaterstand van het perceel onder dit scenario in de Middelpolder niet dusdanig dat de CH<sub>4</sub>-emissie sterk toeneemt. Lokaal kan dit wel het geval zijn: op natte plekken in het perceel door verdichting van de ondergrond en daar waar plantensoorten voorkomen die het transport van CH<sub>4</sub> naar de atmosfeer bevorderen.
- De oeverzone is breder en natter door het aanhoudend hoge oppervlaktewaterpeil. Door de nattere condities, het type vegetatie en de eutrofe tot mesotrofe omstandigheden zal de oeverzone matig bijdragen aan de broeikasgasemissies door de emissie van CH<sub>4</sub>.
- De sloten geven waarschijnlijk een matige CH<sub>4</sub>-emissie, doordat ze een matig eutrofe tot mesotrofe waterbodem hebben als gevolg van afspoeling van meststoffen vanaf het maaiveld onder het vorige landgebruik.

- De emissie van broeikasgassen als gevolg van agrarische activiteit is gereduceerd tot nul.

Geschatte totale broeikasgasemissie in Middenpolder onder hoog vast peilregime:  $-0.8 \pm 0.4 \text{ kg CO}_2\text{-equiv. m}^{-2} \text{ jr}^{-1}$  (**opname van broeikasgassen**). Geen emissie vanwege agrarische activiteiten.

Opgemerkt moet worden dat de opname van broeikasgassen ( $\text{CO}_2$ ) onder een hoog vast peilregime in de Middenpolder grotendeels wordt veroorzaakt door de sterke toename van biomassa van de planten onder dit scenario. Bij een afname van de voedselrijkdom in het gebied na enkele tientallen jaren, zal de aanwas van biomassa uiteindelijk ook afnemen waardoor de opname van  $\text{CO}_2$  afneemt. Waarschijnlijk ontstaat er uiteindelijk een ongeveer klimaatneutrale situatie (weinig opname of uitstoot van broeikasgassen).

Tabel 4.3 Overzicht van systeemkenmerken van Middenpolder onder de verschillende vormen van peilbeheer. In kleur is de impact van op de emissie van broeikasgassen ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  en  $\text{N}_2\text{O}$ ) voor de verschillende landelementen weergegeven (rood: emissie sterk; oranje: emissie matig; geel: emissie laag; wit: geen emissie; groen: opname  $\text{CO}_2$ ).

Perceel		Zomerwinter Peil	Flexibel Peil	Hoog Vast peil
opp. (geïnu.) (%)		83%	80%	60%
grondwater (m-mv)	GLG	0.72	0.74	0.61
	GVG	0.12	0.12	0.09
	GHG	0.03	0.03	0.02
bodem, kwaliteit		veen, zeer eutroof	veen, zeer eutroof	veen, eutroof - mesotroof
Vegetatie		zeebies, ...	zeebies, liesgras	witbol, pitrus, liesgras
<b>Oever</b>		Zomerwinter Peil	Flexibel Peil	Hoog Vast peil
opp. (geïnu.) (%)		2% (--)	4% (2%)	14% (7%)
grondwater (m-mv)	GLG	0.48	0.49	0.08
	GVG	0.06	0.06	-0.07
	GHG	0.02	0.01	-0.10
Bodemkwaliteit		veen, zeer eutroof	veen, eutroof	veen, eutroof - mesotroof
Vegetatie		witbol/ vossenstraat	witbol, vossenstraat	vossest, liesgras, riet, lisdodde
<b>Sloot</b>		Zomerwinter Peil	Flexibel Peil	Hoog Vast peil
opp. (%)		15%	16%	26%
water(bodem)kwaliteit		zeer eutroof	eutroof	eutroof - mesotroof
<b>Agrarische activiteit</b>		Zomerwinter Peil	Flexibel Peil	Hoog Vast peil
Vee		++	-/+	-
Mest		++	+	-
Maaien		++	+	-



## 5 Broeikasgasemissie en bodemdaling

In het veenweidegebied worden broeikasgasemissies en bodemdaling beiden voor een groot deel bepaald door de mate van veenoxidatie. Het is dan ook zeer waardevol om een uitspraak te doen over de effecten van peilbeheer op bodemdaling. De relatie tussen veenoxidatie, CO<sub>2</sub>-emissies en bodemdaling wordt vaak niet integraal aangepakt. In dit hoofdstuk staan mogelijkheden om deze aspecten wel in samenhang te onderzoeken en te modelleren.

### 5.1 Relatie veenoxidatie en bodemdaling

Behalve bodemdaling door samendrukking van grondlagen (compactie/consolidatie) komt bodemdaling ook voort uit oxidatie van droogvallend veen (boven de grondwaterspiegel) (De Lange e.a., 2006). De afbraak van veen wordt beïnvloed door de bodemopbouw (textuur), mate van ontwatering, de kwel- of inzijgingssituatie, de chemie van het grondwater, de bemesting, en de temperatuur (klimaatveranderingen). De afgelopen jaren zijn er verschillende onderzoeken uitgevoerd naar het effect van veenoxidatie op bodemdaling. Echter, deze onderzoeken leveren tegenstrijdige resultaten op. Uit literatuuronderzoek blijkt dat een maaiveld daling ten gevolge van veenoxidatie van tussen de 3,5 en 7 mm/jaar kan optreden. Bij een afstand van maaiveld tot de grondwaterspiegel van 1 m wordt daarbij een veenoxidatie waargenomen van 5-15 mm/jaar. Een andere waarneming is dat maaiveld daling door oxidatie kan oplopen tot 2% van de dikte aan belucht veen per jaar. Schothorst (1979) komt op waarden van 2-10 mm/jaar (hoogste waarde geldt voor een intensief gedraineerd veld). Omdat oxidatie alleen plaats vindt bij toetreding van lucht, dat wil zeggen boven het niveau van de laagste grondwaterstand, vindt veenoxidatie overwegend plaats in de zomerperiode. De grondwaterstand in de zomer is daarmee voor een groot deel bepalend voor de mate van bodemdaling in het veenweidegebied. Een belangrijk aspect bij het vergelijken van oxidatiewaarden met maaiveld daling is de opgetreden compactie/consolidatie bij ontwateren van veengronden. Door deze fysieke samendrukking daalt het maaiveld, maar niet als resultaat van veenoxidatie. Dit zorgt voor een discrepantie tussen de totale maaiveld daling en dat deel dat door veenoxidatie wordt veroorzaakt. Ook in het geval van een eventuele bovenliggende sedimentlaag, zoals een kleidek, is er een discrepantie tussen de oxidatie van veen en de mate van bodemdaling. Daarnaast kan een kleilaag oxidatie van het onderliggende veen tegengaan (Bremmer e.a., 2003). Door Gunnink e.a. (2010) zijn recentelijk empirische relaties afgeleid voor bodemdaling door oxidatie en compactie voor veengronden met en zonder kleidek.

### 5.2 Berekeningen bodemdaling

Voor de bodemdalingsberekeningen die worden uitgevoerd in het kader van het Flexpeil Project worden bodemdaling door veenoxidatie, compactie en zwel of krimp, ten gevolge van het toe- of afnemen van de waterspanning in het veenpakket meegenomen (Landwehr en Lubking, 2012). In het veenweidegebied is veenoxidatie een belangrijke component in deze modellering. De bodemdaling als gevolg van veenoxidatie wordt als volgt berekend:

$$\Delta h = h_{droog} \times (1 - e^{(-V_{ox} \times \Delta t)}) \quad (1)$$



, waarin  $\Delta h$  = dikteverandering door veenoxidatie (m),  $h$  = dikte grondlaag (m),  $h_{droog}$  = dikte droogliggend veen,  $V_{ox}$  = veenoxidatiesnelheid,  $\Delta t$  = oxidatieduur (jr). Voor de veenoxidatiesnelheid wordt in de berekeningen een vaste waarde van 15 mm/jaar per meter droogleggend veen per jaar genomen. De resultaten van de bodemdalingberekeningen voor de situatie van voor en tijdens het flexibel peilregime in de Ronde Hoep en de Middelpolder zijn te vinden in Landwehr en Lubking (2012).

### 5.3 Verbeteringen bodemdalingberekeningen en -modellen

Om verschillende redenen is deze, momenteel gangbare, berekeningsmethode voor bodemdaling zoals beschreven in paragraaf 5.2 een versimpeling van de werkelijkheid. Verschillende aspecten waarover inmiddels uit onderzoek meer bekend is, worden niet meegenomen. De belangrijkste aspecten zijn: nieuwe kennis op het gebied van veenoxidatie, gekoppeld doorrekenen met grondwatermodel en nieuwe inzichten op het gebied van de mechanische oorzaken van bodemdaling. Hieronder worden deze aspecten kort toegelicht.

#### 5.3.1 Kennis over veenoxidatie

In het onderzoek naar broeikasgasemissies is nieuwe kennis ontwikkeld over veenoxidatie. Deze kennis kan nuttig ingezet worden bij het modelleren en berekenen bodemdaling. Zeker in het veenweidegebied is het inzetten van deze nieuwe kennis van belang:

- De snelheid en de mate van veenoxidatie van een veenbodem of organische bodem is sterk afhankelijk van de samenstelling van de bodem (zie paragraaf 2.3.1). In het veenweidegebied bestaan veel veenbodems uit een samenstelling van organische en minerale componenten (klein, silt, zand of gemineraliseerd veen). De bulkdichtheid van de grondlaag en de koolstof oxidatiesnelheid varieert.
- De mate van veenoxidatie neemt niet per definitie lineair toe met de mate van drooglegging. Uit literatuur is bekend dat vooral de bovenste decimeters bijdragen aan de oxidatie van veen (zie paragraaf 2.3.2). Ook het type vegetatie en dikte van de wortelzone speelt hierbij een belangrijke rol (zie paragraaf 2.3.3).
- Verschillen in veenoxidatie- en bodemdaling(snelheid) over het perceel. Van belang hierbij zijn de ruimtelijke maaiveldverschillen en grondwaterstand op een perceel, bijvoorbeeld als gevolg van een holle grondwaterspiegel gedurende de zomer, lokale vergravingen en maaiveldhoogteverschillen door beweiding.

Bij Deltares wordt momenteel gewerkt aan het samenbrengen van de kennis over veenoxidatie en bodemdaling, zodat bovenstaande aspecten meegenomen kunnen worden bij het berekenen en voorspellen van bodemdaling in veengebieden. Een belangrijk aspect voor zowel broeikasgasemissies als bodemdaling in veengebieden is de snelheid van veenoxidatie ( $V_{ox}$ ). Uit bodemeigenschappen van een veenbodem is het echter niet mogelijk om direct een bodemdaling of een oxidatiesnelheid af te leiden. Bij het berekenen van bodemdaling worden daarom nu relatief ruwe schattingen gebruikt voor de oxidatiesnelheid van het veen. Kennis over de CO<sub>2</sub>-emissies (uit metingen of op basis van een procesmodel) kan daarentegen wél gekoppeld worden aan zowel de bodemeigenschappen als aan de snelheid van de veenoxidatie. Kennis van broeikasgasemissies vormt daarmee de ontbrekende schakel voor het bepalen van de snelheid van veenoxidatie en het verbeteren van de bodemdalingberekeningen en -modellen.

### 5.3.2 Gekoppeld grondwatermodel en bodemdalingsmodel

Voor het bepalen van middellange en lange termijn effecten van verschillende scenario's (peilbeheer, klimaat, landgebruik en beheerstypen) op bodemdaling kunnen modellen ingezet worden. Het gaat daarbij om een koppeling tussen een hydrologisch model en een bodemdalingsmodel (Borren en Bleuten, 2006).

De koppeling kan serieel uitgevoerd worden:

- Het grondwatermodel<sup>1</sup> berekent grond- en oppervlaktewaterstanden voor verschillende peilbeheer-varianten.
- Deze toestanden zijn input voor het bodemdalingsmodel dat veenoxidatie, compactie en zwel/krimp berekent.
- Daaruit volgt een verandering van maaiveldhoogte. Deze maaiveldverandering leidt vervolgens tot een aanpassing in het grondwatermodel.

Het grondwatermodel heeft een typische tijdstapgrootte van 1 dag. Omdat de bodemdalingsprocessen relatief langzaam zijn (ordegrootte 0.5-1 cm bodemdaling per jaar) en de gebruikte methode vaak uitgaat van een GLG, is het niet nodig om op dagbasis de koppeling tussen het grondwatermodel en het bodemdalingsmodel te leggen. Volstaan kan worden met een terugkoppeling op jaarbasis.

In een dergelijke modelkoppeling kan de bodemdaling ruimtelijk gevarieerd worden berekend. Daarmee kunnen in principe ook verschillen in maaiveld daling worden berekend, bijvoorbeeld de 'holle' percelen die voorkomen in het veenweidegebied als gevolg van de holle waterspiegels in de zomer.

Het voordeel van de hierboven geschetste seriële aanpak is dat deze modellen onafhankelijk van elkaar gekozen kunnen worden. In het Flexpeil Project wordt met een ruimtelijk-dynamisch grondwatermodel gewerkt. Een MODFLOW-Simgro koppeling voor 2-D dwarsdoorsnedenmodellen van het sloot-oever-perceel systeem. In deze modelkoppeling worden de grond- en oppervlaktewatertoestanden ruimtelijk gevarieerd doorgerekend. Het model omvat grondwater (MODFLOW), onverzadigde zone (metaSWAP) en oppervlaktewater (Simres). Dit ruimtelijk-dynamisch grondwatermodel is geschikt voor een koppeling met een bodemdalingsmodel. Door een dergelijke koppeling kunnen ook verschillende beheer- en klimaatscenario's worden doorgerekend (zie ook paragraaf 7.1.4)

### 5.3.3 Mechanische bodemdaling

Naast bovengenoemde aspecten met betrekking tot de veenoxidatiesnelheid, is inmiddels meer bekend over de wisselwerking tussen waterbeheer, bodemopbouw en de verschillende factoren die een rol spelen bij bodemdaling. In veengebieden spelen naast veenoxidatie ook grondmechanische processen zoals krimp en compactie/consolidatie een rol in de maaiveld daling. Hierbij kunnen er ook terugkoppelingen zijn tussen de verschillende processen. Zo kan zetting zorgen voor hogere organische stof dichtheden, maar het kan ook de drooglegging verminderen. De afbraak van het organische materiaal (de oxidatie) zorgt direct voor bodemdaling, maar vermindert tegelijkertijd zetting. De grootte van deze complexe wisselwerking tussen zetting en oxidatie bij drainage van veengebieden is nu nog grotendeels onbekend. Deltares investeert nu in nieuwe kennis en modellen om deze processen geïntegreerd te kunnen modelleren. Hierbij wordt gebruikt gemaakt van de ervaring die

---

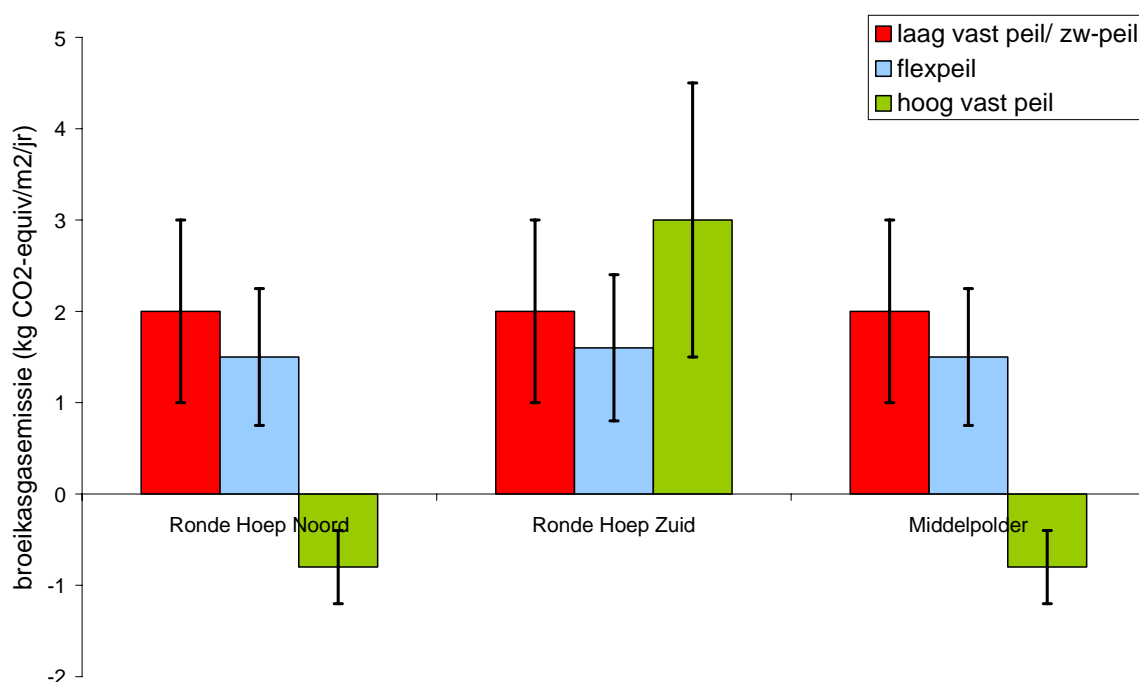
<sup>1</sup> Ruimtelijk in 1, 2 of 3 dimensies

opgedaan is in het Nederlandse veengebied, maar ook elders in de wereld zoals in Indonesië (Erkens e.a., 2011). In samenwerking met de Universiteit Utrecht is een model gemaakt dat de zetting van diepere grondlagen berekend bij een bepaalde belasting.

## 6 Conclusies en discussie

### 6.1 Effect peilbeheer op broeikasgasemissies in flexpeilgebieden

Op basis van deze verkennende studie is een eerste schatting gegeven van de effecten van (flexibel) peilbeheer op de emissie van broeikasgassen in het veenweidegebied in het beheergebied van Waternet. Voor de flexpeilgebieden de Ronde Hoep (Noord en Zuid) en de Middelpolder is een analyse gedaan van de voor broeikasgasemissie relevante systeemkenmerken. In combinatie met expertkennis over broeikasgasemissies in het Nederlandse veenweidegebied en het modelleren van de grondwaterstanden voor verschillende scenario's zijn vervolgens schattingen gedaan van de omvang van broeikasgasemissie in deze flexpeilgebieden onder drie typen peilbeheer: laag vast peilregime (of zomerwinter-peilregime), flexibel peilregime en hoog vast peilregime.



Figuur 6.1 Overzicht van de geschatte effecten van peilbeheer op broeikasgasemissies in de flexpeilgebieden de Ronde Hoep (Noord en Zuid) en de Middelpolder.

De resultaten van deze verkennende studie laten zien dat de totale broeikasgasemissie waarschijnlijk wat omlaag gaat als gevolg van de overgang van een vast laag peil of een zomerwinter-peilregime naar een flexibel peilregime (Figuur 6.1). Belangrijk voor deze afname is de overgang naar een minder intensief agrarisch beheer van het gebied. De verandering van CO<sub>2</sub>-emissies door veenoxidatie als gevolg van de overgang naar flexibel peilbeheer is waarschijnlijk beperkt. Wel is het mogelijk dat er in de oeverzone verandering van de bodem- en vegetatiecondities optreedt met een wat hogere emissie van CH<sub>4</sub> als gevolg.

Een overgang naar een hoog vast peilregime heeft waarschijnlijk een sterker effect op de flexpeilgebieden (Figuur 6.1). Deze veranderingen worden veroorzaakt door de sterkere

veranderingen in grondwaterstanden en het wegvallen agrarisch beheer. De stijging van de grondwaterstanden zorgt voor een afname van CO<sub>2</sub>-emissies en een toename van de CH<sub>4</sub>-emissies. In alle drie de deelgebieden worden de emissies van CH<sub>4</sub> (vee) en N<sub>2</sub>O (bemesting) als direct gevolg van agrarisch beheer tot nul gereduceerd. In de Ronde Hoep Noord en de Middelpolder, leidt de grondwaterstijging in combinatie met het stopzetten van het maaibeheer en de blijvend eutrofe omstandigheden tot een sterke aanwas van organisch materiaal en dus een sterke opname van CO<sub>2</sub>. De toegenomen CH<sub>4</sub>-emissie in deze gebieden (voornamelijk vanuit de oeverzone) wordt hierdoor waarschijnlijk ruimschoots gecompenseerd. De waterstandstijging ten opzichte van het maaiveldniveau in de Ronde Hoep Zuid is zo groot, dat zowel oevers als percelen het hele jaar geïnundeerd zijn of een plas-dras situatie kennen. In combinatie met de voedselrijke condities in het gebied, leidt dit waarschijnlijk tot zeer hoge CH<sub>4</sub>-emissies.

De sterke uitwisseling van broeikasgassen onder het hoge vaste peil in alle gebieden (hoge opname in de Ronde Hoep Noord en de Middelpolder en hoge emissie in de Ronde Hoep Zuid) worden grotendeels door de nutriëntenrijke situatie in de gebieden na het jarenlange agrarische beheer. Bij een blijvend niet-agrarisch beheer, zal de voedselrijkdom in de gebieden na enkele tientallen afnemen met als gevolg dat respectievelijk de opname van CO<sub>2</sub> (Ronde Hoep Noord en Middelpolder) en de emissie van CH<sub>4</sub> (Ronde Hoep Zuid) afnemen. Uiteindelijk zal in beide typen gebieden een ongeveer klimaatneutrale situatie ontstaan (weinig opname of uitstoot van broeikasgassen).

## 6.2 Onzekerheden en discussie

In deze verkennende studie naar het effect van (flexibel) peilbeheer op broeikasgasemissies uit de pilotgebieden van het Flexpeil Project is vooral gebruik gemaakt van expert kennis en algemene, reeds beschikbare informatie over de gebieden. De inschatting van de broeikasgasemissies uit de verschillende gebieden en de effecten van peilregime scenario's was dan ook slechts op hoofdlijnen mogelijk. Meer gedetailleerde gebiedsspecifieke informatie over bodemsamenstelling, bodem- en waterkwaliteit en vegetatie ontbrak veelal nog op het tijdens het uitvoeren van deze verkennende studie.

Ook is het lastig om op basis van de bestaande informatie voorspellingen te doen van broeikasgasemissies op de middellange tot lange termijn. Deze hangen enerzijds af van de ontwikkeling van het systeem (vegetatie, voedselrijkdom, water- en bodemkwaliteit) als gevolg van het veranderde (water)beheer en landgebruik. Anderzijds is een voorspelling op de middellange tot lange termijn afhankelijk van klimaatverandering. De processen veenoxidatie en methaanproductie nemen toe met verhoging van de temperatuur (Stephens e.a. 1984). Daarnaast beïnvloedt klimaatverandering veenoxidatie en methaanproductie als gevolg van veranderende grondwaterstanden door temperatuurstijging en verandering in neerslagpatronen.

Binnen de tijdspanne van deze studie was het niet mogelijk om een verkennend onderzoek te doen naar broeikasgasemissies in alle pilotgebieden van het Flexpeil Project. Wel kunnen een aantal algemene conclusies worden getrokken waarmee ook voor de andere veenweidegebieden op hoofdlijnen schattingen gedaan kunnen worden over broeikasgasemissies en de effecten van een verandering van (water)beheer:

- Gebieden met veel organisch materiaal in de bodem (veenbodem) veroorzaken relatief hoge broeikasgasemissies. In deze gebieden zijn ook de effecten van (flex)peilbeheer op de broeikasgasemissies potentieel het sterkst.

- Een overgang van naar een ander peilbeheer dat een sterke verandering van de GLG veroorzaakt, zal een significant effect hebben op de veenoxidatie en methaanvorming in de bodem en dus op de broeikasgasemissies. Een verlaging van de GLG zorgt voor een toename van CO<sub>2</sub>-emissies en een afname van CH<sub>4</sub>-emissies; een verhoging van de GLG zorgt voor een afname van CO<sub>2</sub>-emissies en een toename van CH<sub>4</sub>-emissies. Permanente inundatie van een gebied leidt (op de korte tot middellange termijn) tot zeer hoge CH<sub>4</sub>-emissies. *(Let op: de effecten van peilbeheer op de grondwaterstanden zijn in ieder gebied anders en dienen bepaald te worden met metingen en/of grondwatermodellen)*
- Gebieden met veel oeverzones en/of flauwe oeverzones zullen bij een stijging van het waterpeil een relatief sterke toename van CH<sub>4</sub>-emissies vertonen.
- Vermindering of stopzetten van agrarische activiteit heeft een sterk effect op de broeikasgasbalans van veenweidegebied:
  - verminderen van maaien zorgt voor een afname van de netto CO<sub>2</sub>-emissie; stopzetten van maaien kan zelfs (tijdelijk) leiden tot een netto opname van CO<sub>2</sub>.
  - verminderen van bemesting zorgt voor een afname van emissies van het sterke broeikasgas N<sub>2</sub>O.
  - verminderen van de hoeveelheid vee leidt tot een afname van CH<sub>4</sub>-emissies.
- In gebieden met een eutrofe bodem (voormalig landbouwgebied) zijn de broeikasgasemissies over het algemeen hoger dan in voedselarme gebieden. De geleidelijke vermindering van de voedselrijkdom in een gebied zal leiden tot het afnemen van de intensiteit van de broeikasgasemissies.
- In gebieden waar veel planten voorkomen met wortelstokken en/of holle stengels, worden broeikasgasemissies versterkt door het vergemakkelijkt gastransport via de planten.

Het inzetten van een op processen gebaseerd broeikasgasmodel, al dan niet gekoppeld aan een grondwatermodel en ondersteund met broeikasgasmetingen, waarin alle relevante gebiedsinformatie wordt meegenomen is onmisbaar bij het doen van gerichte berekeningen van broeikasgasemissies. Met een dergelijk model kunnen ook scenarioberekeningen worden uitgevoerd om de effecten van (water)beheer en klimaat op de middellange tot lange termijn te bepalen. In het volgende hoofdstuk worden de mogelijkheden van verder onderzoek en advies op het gebied van broeikasgasemissies in veenweidegebied verder toegelicht.

### 6.3 Peilbeheer, broeikasgasemissies en duurzaamheid

Het peilbeheer in het veenweidegebied van Waternet kan effectief ingezet worden bij het streven naar de duurzaamheid van het gebied. Verandering naar flexibel peilbeheer met bijbehorende agrarische beheertypen zorgt waarschijnlijk voor een kleine verlaging van broeikasgasemissies in nu nog intensief agrarisch beheerd gebied. Andere, meer ingrijpende wijzigingen in het peilbeheer in deze gebieden kunnen de emissie van broeikasgassen veel verder verlagen.

Een afname van broeikasgasemissies vanuit het veenweidegebied kan in veel gevallen goed gecombineerd worden met andere duurzame ontwikkelingen in het beheergebied van Waternet. Zoals uit bovenstaande blijkt, gaat een afname van de emissies veelal samen met het verminderen van de voedselrijkdom van bodem en (grond)water. In veel gevallen hangt dit samen met een extensivering van het agrarische gebied of het omvormen van een landbouwgebied naar een natuurgebied, waardoor de waterstanden omhoog gaan en agrarische activiteiten worden gereduceerd. Beide aspecten zorgen voor een verlaging van broeikasgasemissies. Ook modernisering van de landbouw, zoals nieuwe

drainagetechnieken, besparende vormen van bemesting en gebruik van biogas, kunnen bijdragen aan een afname van broeikasgasemissies vanuit de bodem en vanuit de agrarische activiteiten.

Zoals beschreven in hoofdstuk 5, gaat een afname van broeikasgasemissies veelal samen met een vertraging van de bodemdaling in het veenweidegebied. Ook dit leidt tot een meer duurzame situatie in het veenweidegebied, doordat de risico's en de kosten als gevolg van bodemdaling worden gereduceerd.

## 7 Advies verder onderzoek

Waternet voert een actief duurzaamheidsbeleid. Hierin streeft Waternet naar volledige klimaatneutraal opereren in 2020 door actief de emissie van broeikasgassen terug te dringen. De broeikasgasemissie door drainage van veengebieden draagt aanzienlijk bij aan de broeikasgasbalans van Waternet. Broeikasgasvrij beheer van veengebieden is niet mogelijk, maar met behulp van een broeikasgasmodel voor veengebieden kan wel gezocht worden naar optimale beheersscenario's waarbij de broeikasgasuitstoot en bodemdaling zo veel mogelijk worden beperkt.

Om meer inzicht te krijgen op de broeikasgasemissies in het veenweidegebied van Waternet, de effecten hierop van flexibel peilbeheer en de mogelijkheden om de emissies te beperken (of zelfs te komen tot opname van CO<sub>2</sub>) met andere vormen van peilbeheer, is het noodzakelijk om de broeikasgasemissies in meer detail in beeld te brengen met metingen en/of broeikasgasmodellen. Hiermee kunnen voorspellingen worden gedaan voor meerdere beheer- en klimaatscenario's en kunnen effecten op meerdere tijdschalen worden bepaald (korte, middellange en lange termijn). Door deze modellen te gebruiken in combinatie met grondwatermodellen, kan voor meerdere beheer- en klimaatscenario's de broeikasgasbalans van een gebied worden bepaald. Van belang is wel dat aandacht wordt besteed aan de parametrisatie van de broeikasgasmodellen. Een andere mogelijkheid om meer inzicht te krijgen in de broeikasgasemissies van de flexpeilgebieden is door het doen van veldmetingen van broeikasgasfluxen. Deze metingen zijn daarnaast onmisbaar voor validatie van de uitkomsten van het broeikasgasmodel.

Als laatste is het zeer waardevol om een koppeling te maken met de effecten van peilbeheer op bodemdaling. In het veenweidegebied worden broeikasgasemissies en bodemdaling namelijk beiden voor een groot deel bepaald door de mate van veenoxidatie. Het samenbrengen van de informatie en resultaten en eventueel het koppelen van modellen, zal de kennis en voorspellingen over zowel broeikasgasemissies als bodemdaling in het veenweidegebied verbeteren (zie ook 5.3).

In de onderstaande paragrafen worden de mogelijkheden van vervolgonderzoek verder toegelicht.

### 7.1 Modelleren broeikasgasemissies

Voor het berekenen van broeikasgasfluxen in veengebieden bestaan procesmodellen, die gevoed moeten worden met informatie over het onderzoeksgebied. Door een goede parametrisatie van een dergelijk model worden alle systeemkenmerken van een gebied meegenomen bij het berekenen van broeikasgasemissies. Aangezien in veenweidegebieden de uitwisseling van CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> grotendeels door de waterstand wordt bepaald, zijn goede waterstandgegevens essentieel voor het modelleren van broeikasgassen. In het onderzoek in Nederlandse gebieden zijn tot nu toe lokale metingen van de waterstand of de grondwatertrappenkaart gebruikt als modelinvoer. Echter, de resultaten die op deze wijze kunnen worden behaald laten te wensen over en zijn nog niet geschikt voor beleidstoepassingen. Zo kunnen met lokale waterstandmetingen geen regionale studies uitgevoerd worden, terwijl de gebiedsdekkende informatie van de grondwatertrappenkaart niet gedetailleerd genoeg is. Daarnaast is het niet mogelijk toekomstscenario's door te rekenen. Door een broeikasgasmodel te gebruiken in combinatie met een gedetailleerd



grondwatermodel is het wel mogelijk om regionale broeikasgasbalansen te bepalen en toekomstscenario's te door te rekenen.

### 7.1.1 Broeikasgasmodel PEATLAND-VU

PEATLAND-VU is een procesmodel waarmee op dagbasis op perceelschaal uitwisseling van CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> tussen bodem en atmosfeer kan worden gemodelleerd voor veengebieden (Van Huissteden e.a., 2006). Het model is eveneens met succes opgeschaald voor landelijk en provinciaal niveau door Van den Bos e.a. (2003) en Petrescu (2009) voor simulaties in het West- Nederlandse veenweidegebied en de Drentse veengebieden en beekdalen. PEATLAND-VU bestaat uit vier submodellen: een bodemfysisch submodel om temperatuur, waterverzadiging en ijsfractie van de bodemlagen te berekenen, een CO<sub>2</sub>-submodel, een CH<sub>4</sub>-submodel en een submodel om productie van organisch materiaal in de bodem te berekenen. Voor het CH<sub>4</sub>-submodel wordt een, voor de Nederlandse situatie, aangepaste versie het veelgebruikte model van Walter (2000) gebruikt. Een volledige beschrijving van het model wordt gegeven door Van Huissteden e.a. (2006) en Van Huissteden e.a. (2009).

Als modelinvoer vereist PEATLAND-VU gegevens over vegetatie en basale bodemfysische gegevens (zie paragraaf 7.1.2). Daarnaast zijn tijdseries nodig van de lucht- of bodemtemperatuur en van de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld, verspreid over het gebied. Wanneer goede resultaten op dagbasis behaald moeten worden, dienen ook de tijdseries van de grondwaterstand en temperatuur te worden als invoer te worden gebruikt (zie paragraaf 7.1.3). Daarnaast is het sterk aan te raden om de een broeikasgasmodel van een gebied te valideren aan de hand van metingen van broeikasgasemissies in dat gebied (zie paragraaf 7.2).

Modellering van broeikasgasemissies wordt in een samenwerking met dr. Ko van Huissteden van de VU Amsterdam uitgevoerd.

### 7.1.2 Parametrisatie broeikasgasmodel

Wanneer het PEATLAND-VU model ingezet wordt voor de pilotgebieden van het Flexpeil Project, moeten de bodem- en vegetatiegegevens benodigd voor de parametrisatie van het model bepaald worden:

- Droge bulk dichtheid van de verschillende lagen in de (veen)bodem;
- Vocht retentie curves (ook mogelijk op basis van literatuur);
- Organische stof gehalte van de verschillende lagen in de (veen)bodem;
- pH en EC van bodem(vocht);
- Organische stof gehalte van dood plantenmateriaal op het maaiveld, dode wortels in de bodem en van het gemakkelijk afbreekbare organische materiaal dat wordt afgescheiden door wortels (rhizodepositie);
- Bij bemesting: organische stof gehalte mest en de hoeveelheden mest.
- Plantensamenstelling (t.b.v. gastransporteigenschappen vegetatie)

Het is raadzaam om deze bodem- en vegetatiegegevens op meerdere locaties van een gebied te bepalen, afhankelijk van de grootte en bodem- en vegetatiediversiteit.

Verschillende parameters kunnen waarschijnlijk vastgesteld worden op basis van bestaande gegevens van Waternet of gegevens die door NIOO of B-Ware zijn verzameld tijdens het Flexpeil Project. Indien dit niet het geval is, zal de informatie door middel van veld- en laboratoriumonderzoek moeten worden bepaald.

### 7.1.3 Koppeling grondwatermodel en broeikasgasmodel

Voor alle pilotgebieden van het Flexpeil Project worden binnen het project ruimtelijk-dynamisch grondwatermodel gemaakt voor 2-D dwarsdoorsnedenmodellen van het sloot-oever-perceel systeem (zie ook paragraaf 5.3.2); Borren e.a., 2012b). De eerste resultaten van deze modellen zijn in voorliggende studie gebruikt om een algemeen beeld te krijgen van de grondwaterstanden in perceel en oever bij verschillende typen peilbeheer. De uitkomsten van de perceelsmodellen bevatten echter veel gedetailleerdere informatie van het verloop van grondwaterstanden over de tijd en de ruimte: grondwaterstanden op dagbasis voor iedere locatie van een perceel. Deze gedetailleerde informatie kan goed worden gecombineerd met een broeikasgasmodel als PEATLAND-VU om tot voorspellingen van de broeikasgasemissies op dagbasis te komen.

De koppeling van het grondwatermodel en het broeikasgasmodel kan serieel uitgevoerd worden:

- Het grondwatermodel berekent grond- en oppervlaktewaterstanden voor verschillende peilbeheer-varianten.
- Deze toestanden zijn input voor het broeikasgasmodel dat uitwisseling van CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> tussen bodem en atmosfeer berekent.

Zowel het grondwatermodel als het broeikasgasmodel heeft een typische tijdstapgrootte van 1 dag. In een dergelijke modelkoppeling kan de bodemdaling ruimtelijk gevarieerd worden berekend. Daarmee kunnen in principe ook verschillen in maaiveld daling worden berekend, bijvoorbeeld de 'holle' percelen die voorkomen in het veenweidegebied als gevolg van de holle waterspiegels in de zomer.

### 7.1.4 Scenarioberekeningen

Met de combinatie van de broeikasgasmodellen en de ruimtelijk-dynamische grondwatermodellen kunnen de effecten van verschillende vormen van peilbeheer op de emissie van broeikasgassen op dagbasis doorgerekend worden. Daarnaast kunnen de effecten van het peilbeheer op de middellange tot lange termijn worden voorspeld, waarbij ook het effect van klimaatverandering kan worden meegenomen. Hiertoe kunnen de KNMI klimaatscenario's ingezet worden om zowel de perceelsmodellen als de broeikasgasmodellen te voeden.

Voorgesteld wordt om, naast de flexpeilregimes, ook de effecten van andere vormen van peilbeheer en landgebruik op broeikasgasemissies door te rekenen. Op die manier kan een gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd, waarmee de vragen beantwoord kunnen worden als: "Wat is de maximaal haalbare reductie van broeikasgasemissie en bij welke vorm van peilbeheer wordt dit gerealiseerd?" en "Is het mogelijk om te komen tot een netto opname van broeikasgassen (CO<sub>2</sub>)?" Daarnaast kunnen meer realistische scenario's worden doorgerekend, waarbij gedacht kan worden aan ontwikkelingen in het natuurbeheer (ontwikkeling nieuwe natuur in het kader van EHS en Natura2000) die effecten hebben op het waterbeheer, en ontwikkelingen in het landbouwkundige gebruik. Bij landbouwkundig gebruik kan naast autonome landbouweconomische ontwikkeling in de landbouw ook rekening gehouden worden met effecten van maatregelen voor mitigatie van veenoxidatie, zoals omgekeerde drainage (aanleggen van drains om sterke waterstanddaling in de zomer in het midden van veenweidepercelen te voorkomen).

### 7.1.5 Koppeling grondwatermodel, broeikasgasmodel en bodemdalingsmodel

Door het broeikasgasmodel te koppelen aan een grondwatermodel en een bodemdalingsmodel kan met grotere zekerheid een integrale analyse worden gemaakt van de totale effecten van waterbeheer (drainage peilbesluiten) en klimaat op de broeikasgasemissie, bodemdaling en grondwaterbelasting door veenoxidatie. Met een dergelijk geïntegreerd model worden daarnaast zowel de voorspellingen van de broeikasgasemissies als de voorspellingen van bodemdaling sterk verbeterd:

- de kennis over veenoxidatie uit het broeikasgasmodel kan worden ingezet voor het berekenen van de snelheid van de bodemdaling door veenoxidatie (zie paragraaf 5.3)
- de terugkoppeling van het effect van bodemdaling op de maaiveldhoogte kan niet alleen worden ingezet voor de berekeningen van de bodemdaling in de volgende tijdstap, maar ook in de berekeningen van de broeikasgasemissies.
- bestaande grondmechanische modellen kunnen worden geïntegreerd met een veenoxidatie model waarmee de effecten van grondwaterbeheer op broeikasgasemissie en bodemdaling geïntegreerd kan worden bepaald.
- de innovatieve modelberekeningen leveren daarnaast veel kennis op over de samenhang van broeikasgasemissies en bodemdaling en de mogelijkheden om beide ongewenste processen te verminderen of te stoppen.

Ook deze koppeling van de drie modellen kan serieel uitgevoerd worden:

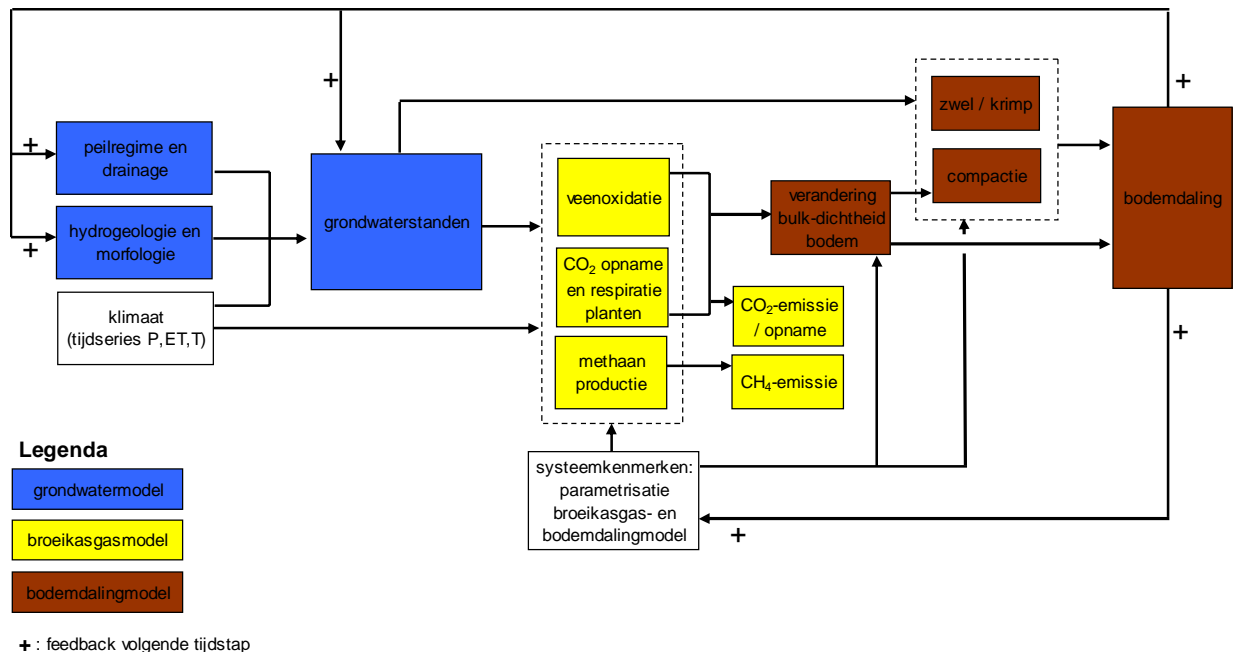
- Het grondwatermodel berekent grond- en oppervlaktewaterstanden voor verschillende peilbeheer-varianten.
- Deze grondwaterstanden zijn input voor het broeikasgasmodel dat uitwisseling van CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> tussen bodem en atmosfeer berekent.
- De grondwaterstanden berekent door het grondwatermodel en de veenoxidatie berekent met het broeikasgasmodel zijn input voor het geïntegreerde bodemdalingsmodel dat op basis de bodemdaling berekent op basis van veenoxidatie, compactie en zwel/krimp.
- Daaruit volgt een verandering van maaiveldhoogte. Deze maaiveldverandering leidt vervolgens tot een aanpassing in het grondwatermodel dat weer als input wordt gebruikt voor de modellering van de broeikasgasemissies en bodemdaling in de volgende tijdstap.

In Figuur 7.1 wordt de grondwater-broeikasgas-bodemdaling-modelkoppeling schematisch weergegeven.

In een dergelijke modelkoppeling kan de bodemdaling ruimtelijk gevarieerd worden berekend. Daarmee kunnen in principe ook verschillen in maaiveldddaling worden berekend, bijvoorbeeld de 'holle' percelen die voorkomen in het veenweidegebied als gevolg van de holle waterspiegels in de zomer.

Ter onderbouwing van een dergelijke modelstudie is behoefte aan een studie waarin de grondmechanische en biologische aspecten die bodemdaling in veengebieden veroorzaken worden geïntegreerd voor correcte bodemdaling voorspellingen. In de flexpeilgebieden de Ronde Hoep en de Middelpolder worden bodemdalingsmetingen uitgevoerd, wat deze gebieden tot zeer geschikte studiegebieden maakt voor een geïntegreerd bodemdalingsmodel. De metingen kunnen namelijk als validatie gebruikt worden. Momenteel ontbreekt het veelal aan lange termijn bodemdalingsmetingen en het voorzetten van de huidige metingen in de flexpeilgebieden biedt een kans om een lange termijn bodemdaling-database op te bouwen. Dit soort metingen zijn ook van belang voor het valideren van andere

bodemdalingsmetingen zoals InSAR satellietmetingen die steeds grootschaliger worden ingezet.



*Figuur 7.1 Schematische weergave van een gekoppeld grondwater-broeikasgas-bodemdaling model. De uitkomsten van modelberekeningen voor bodemdaling in tijdstip  $t$  vormen input voor de berekeningen in tijdstip  $t+1$  (Hendriks, in concept).*

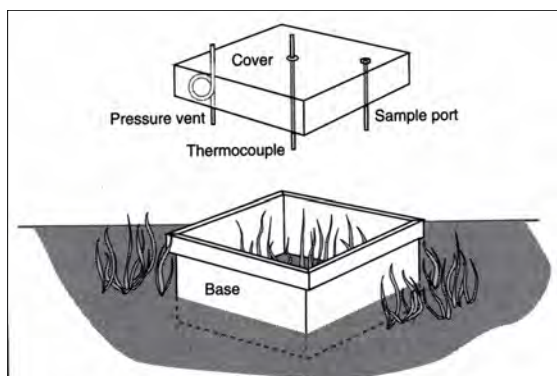
## 7.2 Veldmetingen broeikasgasemissies

Een andere manier om de emissie van broeikasgassen in beeld te brengen is door het doen van veldmetingen van broeikasgasfluxen in het onderzoeksgebied. Daarnaast kunnen dit soort metingen gebruikt worden om een broeikasgasmodel van een gebied te valideren (zie paragraaf 7.1.1). De eenvoudigste methode om broeikasgasemissies te meten is met de fluxkamer techniek (Figuur 7.2). Fluxkamermetingen zijn metingen van broeikasgasuitwisseling gebaseerd op het afsluiten van een klein deel van de bodem en vegetatie van de omgeving door middel van het plaatsen van een meestal luchtdichte doos (kamer). Op deze manier wordt het luchtvolume voor uitwisseling van gassen over het bodem- en vegetatieoppervlak of oppervlaktewater beperkt en kan de netto emissie van of opname van de ingesloten gassen worden gemeten als de verandering van concentratie in de kamer (Livingston en Hutchinson, 1995; Hendriks e.a., 2007). Een draagbaar instrument voor een gecombineerde analyse van  $\text{CO}_2$ -,  $\text{CH}_4$ - en  $\text{N}_2\text{O}$ -emissies (zoals een foto-akoestische gasmonitor) wordt met dunne slangen aangesloten op een luchtdichte, donkere kamer van waaruit de luchtmonsters worden aangezogen (Van Huissteden e.a., 2006; Hendriks e.a. 2007; Schrier-Uijl e.a., 2010).

Om de ruimtelijke variatie van de broeikasgasemissies vast te leggen en te komen tot opschaling is het van belang dat de fluxkamermetingen worden uitgevoerd voor de verschillende landelementen in een onderzoeksgebied (perceel, droge oever, natte oever sloot, ondiep meer). Daarnaast variëren broeikasgasemissies sterk door het jaar heen. Om deze variatie goed te monitoren en jaargemiddelden te kunnen bepalen, is het raadzaam om op meerdere momenten van het jaar te meten, bijvoorbeeld eenmaal per maandag

gedurende voorjaar, zomer en herfst en eenmaal per twee maanden tijdens de winter. Indien alleen metingen gedaan worden zal een uitgebreider meetprogramma nodig zijn om een goed beeld te krijgen van de emissies (meerdere locaties, meerdere jaren). Wanneer de metingen gedaan worden als ondersteuning van een broeikasgasmodel, kan worden volstaan met een beperkte meetopzet.

Veldmetingen van broeikasgasemissies worden in een samenwerking met dr. Ko van Huissteden van de VU Amsterdam uitgevoerd.



Figuur 7.2 Voorbeeld van een fluxkamer voor het meten van broeikasgasemissies (Naar Livingston en Hutchinson, 1995).

### 7.3 Indicatie kosten vervolgonderzoek

In Tabel 7.1 wordt een overzicht gegeven van de kosten van de werkzaamheden voor uitvoeren van een gerichte studie naar broeikasgasemissies in het veenweidegebied en de effecten hierop van (flexibel) peilbeheer. Deze kostenindicatie betreft een eerste inschatting, er kunnen dan ook geen rechten aan worden ontleend. Het is momenteel nog niet mogelijk een inschatting te maken van de kosten van het gekoppeld doorrekenen van broeikasgasemissies en bodemdaling in veenweidegebied, deze toepassing is nog in ontwikkeling. Deltares is momenteel op zoek naar partners om deze innovatieve stap in het toegepaste onderzoek te kunnen zetten.

Tabel 7.1 Overzicht met een indicatie van de kosten van vervolgonderzoek naar effect van peilbeheer op broeikasgasemissies in veenweidegebied. NB. Deze kostenindicatie betreft een eerste inschatting, er kunnen dan ook geen rechten aan worden ontleend.

Werkzaamheden	Indicatie kosten (Euro)
Parametrisatie broeikasgasmodel per gebied (incl. veld- en lab onderzoek)	5.000 - 10.000
Grondwatermodellering met 2D-perceelsmodel per gebied	3.000 - 5.000
Veldonderzoek broeikasgasmetingen per gebied	12.000 - 20.000
Broeikasgasmodellering huidige toestand per gebied (incl. validatie met velddata)	5.000 - 10.000
Broeikasgasmodellering scenario's per gebied	3.000 - 5.000
Rapportage per gebied	2.000 - 3.000
Gekoppeld modelleren bodemdaling	ontwikkeltraject; kosten nog onbekend.

## 8 Referenties

- Beuving, J. en Van den Akker, J.J.H., Maaiveldsdaling van veengrasland bij twee sloot-peilen in de polder Zegveldbroek: vijftienvintig jaar zakkingsmetingen op het ROC Zegveld, DLO-Staring Centrum, 1996, 145 pp.
- Borren, W., Bleuten, W. (2006) Simulating Holocene carbon accumulation in a western Siberian watershed mire using a three-dimensional dynamic modeling approach. *Water Resour. Res.* 42.
- Borren, W., Rozemeijer, J., Klein, J., Hendriks, D.M.D., Wirdum, G. van (2012a) Flexpeil Hydrologie deelrapport A: Systeemanalyse en monitoringsopzet. Deltares rapport 1202707-001-BGS-0003.
- Borren, W., Klein, J., Rozemeijer, J., Hendriks, D.M.D., Wirdum, G. van (2012b) Flexpeil Hydrologie deelrapport C: Modelleren en analyse. Deltares rapport 1202707-001-BGS-0005.
- Bremmer, C.N., G. de Lange, W. van der Linden, E. Veling (2003) Bodemdaling en Integraal Waterbeheer. TNO-rapport nr. NITG 03-200-A.
- Drösler, M., Freibauer, A., Christensen, T.R., Friborg, T., 2008. Observations and status of peatland greenhouse gas emissions in Europe. In: Dolman AJ, Valentini R, and Freibauer A. Observing the continental scale greenhouse gas balance. Springer Ecological series 203: 243-262.
- Erkens, G., Meulen, M.J. van der & Middelkoop, H. (2011). Double trouble: subsidence and CO<sub>2</sub> respiration due to cultivation of deltaic and coastal peatlands. In First World Delta Summit. Jakarta.
- Gunnink, J. G. de Lange, J. van den Akker en P. Fokker (2010) Kennisdocument Bodemdaling. rapport nr. TNO-034-UT-2010-01962/A
- Hendriks D.M.D., Van Huissteden J, Dolman AJ, Van der Molen MK. 2007. The full greenhouse gas balance of an abandoned peat area. *Biogeosciences* 4: 411-424.
- Hendriks, D.M.D., J. van Huissteden, A.J. Dolman, 2009. Multi-technique assessment of spatial and temporal variability of methane fluxes in a peat meadow. *Agricultural and Forest Meteorology*, doi:10.1016/j.agrformet.2009.06.017
- Hendriks, D.M.D. (2009) Integrated observations of greenhouse gas budgets at the ecosystem level. Changing environment and management practices in peat meadows. Thesis VU Amsterdam. ISBN 9789086593804.
- Hensen, A. Kieskamp, W.M., Vermeulen, A.T., v.d. Bulk, W.C.M., Bakker, D.F., Beemsterboer, B., Möls, J.J., Veltkamp, A.C., Wyers, G.P., 1995. Determination of the relative importance of sources and sinks of carbon dioxide. ECN-C-95-035.
- Jungkunst, J.F, Fiedler, S. (2007) Latitudinal differentiated water table control of carbon dioxide, methane and nitrous oxide fluxes from hydromorphic soils: feedbacks to climate change. *Global Change Biology*, Volume 13, Issue 12, pages 2668–2683. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2007.01459.x
- Kroon, P.S., Hensen, A., Jonker, H.J.J., Zahniser, M.S., van 't Veen, W.H., Vermeulen, A.T., 2007. Suitability of quantum cascade laser spectroscopy for CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O eddy covariance flux measurements. *Biogeosciences*. 4, 715-728. Langeveld, C.A., Segers, R., Dirks, B.O.M., van den Pol-van Dasselaar, A., Velthof, G.L., Hensen, A., 1997. Emissions of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O from pasture on drained peat soils in the Netherlands. *European Journal of Agronomy*. 7, 35-42.
- Landwehr H. en P. Lubking (2012) Flexpeil - geotechnische effecten. Deltares rapport nr. 1202707-002.

- Lange, G. de, Gessel, S. van, Schokker, J. (2006) De nieuwe bodemdalingkaart - van black box naar vraaggestuurd product. Ingeokring Newsletter Volume 13, p. 20 - 26.
- Livingston, G.P., and Hutchinson, G.L., 1995. Enclosure-based measurement of trace gas exchange: applications and sources of error, In: Matson, P.A., Harriss, R.C. Biogenic trace gases: measuring emissions from soil and water. Blackwell Publishing, Methods in Ecology, 14-51.
- Schrier-Uijl, A.P., Kroon, P.S., Leffelaar, P.A., Van Huissteden, J.C., Berendse, F. & Veenendaal, E.M. (2010) Methane emissions in two drained peat ecosystems with high and low agricultural intensity. Plant and Soil. doi :10.1007/s11104-009-0180-1.
- Schrier-Uijl, A. P., A. J. Veraart, P. A. Leffelaar, F. Berendse, E. M. Veenendaal (2011) Release of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> from lakes and drainage ditches in temperate wetlands. Biogeochemistry 102:265–279, DOI 10.1007/s10533-010-9440-7.
- Soussana, J.F., 2008. Towards a Full Accounting of the Greenhouse Gas Balance of European Grasslands. In: Dolman AJ, Valentini R, and Freibauer A. Observing the continental scale greenhouse gas balance. Springer Ecological series 203: 257-278.
- Stephens, J.C., Allen, L.H. and Chew, E. 1984. Organic soil subsidence. American Geological Society Reviews in Engineering Geology VI:107-122.
- Van den Pol-van Dasselaar, A., Corre, W.J., Prieme, A., Klemmedtsson, A.K., Weslien, P., Stein, A., Klemmedtsson, L., Oenema, O., 1998. Spatial variability of methane, nitrous oxide, and carbon dioxide emissions from drained grasslands. Soil Science Society of America Journal. 62, 810-817.
- Van den Pol-Van Dasselaar, A., Van Beusichem, M.L., Oenema, O., 1999a. Methane emissions from wet grasslands on peat soil in a nature preserve. Biogeochemistry. 44, 205-220.
- Van den Pol-Van Dasselaar, A., Van Beusichem, M.L., Oenema, O., 1999b. Determinants of spatial variability of methane emissions from wet grasslands on peat soil. Biogeochemistry. 44, 221-237.
- Van den Bos, R.M., 2003. Human influences on carbon fluxes in coastal peatlands; process analysis, quantification and prediction. Thesis, Vrije Universiteit, p. 91-110, 2003.
- Van Huissteden J, van den Bos R, Alvarez IM. 2006. Modelling the effect of water-table management on CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes from peat soils. Netherlands Journal of Geosciences-Geologie En Mijnbouw 85: 3-18.
- Veenendaal, E.M., Kolle, O., Leffelaar, P.A., Schrier-Uijl, A.P., Van Huissteden, J., Van Walsem, J., Moeller, F., Berendse, F., 2007. CO<sub>2</sub> exchange and carbon balance in two grassland sites on eutrophic drained peat soils. Biogeosciences. 4, 1027-1040.
- Walter, B.P., 2000. A process-based, climate-sensitive model to derive methane emissions from natural wetlands: Application to five wetland sites, sensitivity to model parameters, and climate. Global Biogeochemical Cycles 14:745-765.

**stowa**

STICHTING  
TOEGEPAST ONDERZOEK WATERBEHEER

[stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl) [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)  
TEL 033 460 32 00 FAX 033 460 32 50  
Stationsplein 89  
POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

