



ALTERRA

WAGENINGEN UR

Bodemgerelateerde emissie van broeikasgassen in Drenthe

De huidige situatie

F. de Vries
J.P. Lesschen
J. van den Akker
A.M.R. Petrescu
J. van Huissteden
I. van den Wyngaert



Alterra-report 1859, ISSN 1566-7197

vrije Universiteit amsterdam



Bodemgerelateerde emissie van broeikasgassen in Drenthe

In opdracht van de provincie Drenthe, in het kader van het klimaatbeleid

Projectcode [5234041-1]

Bodemgerelateerde emissie van broeikasgassen in Drenthe

De huidige situatie

F. de Vries¹

J.P. Lesschen¹

J. van den Akker¹

A.M.R. Petrescu²

J. van Huissteden²

I. van den Wyngaert¹

¹ **Alterra**

² **VU Amsterdam**

Alterra-rapport 1859

Alterra, Wageningen, 2009

REFERAAT

Vries, F. de, J.P. Lesschen, J. van den Akker, A.M.R. Petrescu, J. van Huissteden & I. van den Wyngaert, 2009. *Bodemgerelateerde emissie van broeikasgassen in Drenthe; de huidige situatie*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1859. 79 blz.; 26 fig.; 18 tab.; 37 ref.

In dit project is in Drenthe de broeikasgasemissie bepaald die gerelateerd is aan de bodem en het gebruik van de bodem. De totale emissie bedraagt bijna 2350 kton CO₂-eq.. Bij de ontwaterde veenbodems met landbouw komt door de oxidatie van veen vooral CO₂ vrij en voor een deel ook lachgas, doordat stikstof mineraliseert. Bij de natte veengronden met natuur is de emissie van CO₂ beperkt, maar hier komt bij de veengronden in de beekdalen juist een aanzienlijke hoeveelheid methaan vrij. Bij de landbouw is in de afgelopen decennia de emissie met ongeveer 20% afgenomen, maar er komt nog steeds een aanzienlijke hoeveelheid lachgas en methaan vrij. In de bossen van Drenthe wordt bij de groei van de bomen CO₂ vastgelegd.

Trefwoorden: bodem, veengronden, landgebruik, landbouw, natuur, bossen emissie broeikasgassen, opname broeikasgassen.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is digitaal beschikbaar via www.alterra.wur.nl. Een gedrukte versie van dit rapport, evenals van alle andere Alterra-rapporten, kunt u verkrijgen bij Uitgeverij Cereales te Wageningen (0317 466666). Voor informatie over voorwaarden, prijzen en snelste bestelwijze zie www.boomblad.nl/rapportenservice

© 2009 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 480700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

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

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

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
1.1 Aanleiding	13
1.2 Doel	14
1.3 Achtergronden	14
1.4 Afbakening	16
2 Aanpak van het onderzoek	17
2.1 Identificatie van bodemgerelateerde emissiebronnen	17
2.1.1 Veenbodems	17
2.1.2 Landbouw	18
2.1.3 Bos	20
2.1.4 Natuur	21
2.2 Methodes voor berekening van de emissie en opname	23
2.2.1 Veenbodems	23
2.2.1.1 Concept voor emissieberekening	23
2.2.1.2 Berekeningen	27
2.2.2 Landbouw	30
2.2.2.1 Beschrijving INITIATOR2	30
2.2.2.2 N ₂ O berekening	31
2.2.2.3 CH ₄ berekening	32
2.2.3 Bos	33
2.2.4 Natuur	35
2.2.4.1 Algemene werkwijze	35
2.2.4.2 PEATLAND_VU	36
2.2.4.3 Grondwaterstanden	38
2.2.4.4 Metingen van CH ₄ en CO ₂ fluxen	38
2.2.4.5 Benodigde data voor PEATLAND	40
2.3 GIS-bestanden voor gebiedsindeling	43
2.3.1 Bodemgebruik	43
2.3.2 Veenbodems	43
3 Resultaten	45
3.1 Veenbodems	45
3.1.1 CO ₂ emissie veenbodems	45
3.1.2 N ₂ O emissie door de mineralisatie van veenbodems	46
3.2 Landbouw	47
3.2.1 N ₂ O emissie	47
3.2.2 CH ₄ emissie	49
3.3 Bos	51

3.3.1	Koolstofbalans	51
3.3.2	Discussie uitkomsten koolstofbalans bossen	53
3.4	Natuur	54
3.4.1	Simulatie grondwaterstanden	54
3.4.2	Gemeten CO ₂ en CH ₄ fluxen	55
3.4.3	Modelsimulatie van de CO ₂ en CH ₄ fluxen	57
3.5	Totale bodemgerelateerde broeikasgasemissies	63
4	Conclusies	67
	Literatuur	71
Bijlage 1	Terminologie, eenheden en omrekeningsfactoren	75
Bijlage 2	Steekproef naar aanwezigheid van veen	77
Bijlage 3	Conversietabel gebruiksklassen Top10vectorkaart en LGN naar hoofdgebruiksklassen	79

Woord vooraf

Wereldwijd verandert het klimaat. De mens is mede verantwoordelijk voor de veranderingen. Daarover zijn de meeste wetenschappers het inmiddels wel eens. De oorzaak van de klimaatsverandering is een toename in het gebruik van fossiele energiebronnen en de emissie van broeikasgassen. Het gevolg is een stijgende temperatuur en veranderingen in neerslaghoeveelheden en neerslagpatronen.

De provincie Drenthe wil met haar beleid actief inspelen op het probleem van de klimaatsverandering en initieert onderzoek om inzicht te krijgen in emissiebronnen en ontplooit allerlei initiatieven om de uitstoot van broeikasgassen te beperken. Het onderzoek in dit rapport is uitgevoerd in opdracht van de provincie Drenthe en richt zich op de omvang van de emissie van broeikasgassen gerelateerd aan de bodem en aan grondgebonden landgebruik.

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking tussen Alterra en de Vrije Universiteit van Amsterdam, Faculty of Earth and Life Sciences. Aan de uitvoering van het project hebben de volgende personen een bijdrage geleverd:

- Jan van den Akker (Alterra): emissie vanuit veenbodems en rapportage;
- Ko van Huissteden (VU Amsterdam): emissie vanuit natuur en rapportage;
- Ebbing Kiestra (Alterra): aanvullend veldwerk;
- Peter Kuikman, advisering;
- Hans Kros (Alterra): emissie vanuit de landbouw;
- Jan Peter Lesschen (Alterra): emissie vanuit landbouw en rapportage;
- Roxana Petrescu (VU Amsterdam): emissie vanuit natuur en rapportage;
- Gert Stoffelsen (Alterra): aanvullend veldwerk;
- Folkert de Vries (Alterra): coördinatie en rapportage;
- Isabel van den Wyngaert (Alterra): vastlegging in bossen en rapportage

Namens de provincie Drenthe waren de heren Alex Scheper en Enno Bregman bij het project betrokken. Doordat de beschikbare informatie over de aanwezigheid van veen in bepaalde gebieden verouderd was, is gedurende het onderzoek besloten via een steekproef aanvullende informatie te verzamelen over het voorkomen van veen bij de moerige gronden en de gedeformeerde veengronden. Hierdoor heeft het project uiteindelijk een langere doorlooptijd gekregen dan voorzien.

Samenvatting

De provincie Drenthe wil in haar beleid actief inspelen op het probleem van de klimaatsverandering. De provincie wil tot 2020 de CO₂-uitstoot ten opzichte van 1990 met 30% reduceren en door onderzoek wil men meer zicht krijgen in de gevolgen van klimaatveranderingen op het waterbeheer, landbouw, natuurontwikkeling en biodiversiteit. Een bijzonder punt is de bijdrage vanuit de bodem en de bijdrage ten gevolge van het grondgebruik. Binnen de provincie komt van oudsher een aanzienlijk areaal veenbodems voor. Uit onderzoek blijkt dat er voortdurend veen verdwijnt waarbij organische stof oxideert als onbedoeld effect van ontwatering en grondgebruik. De bijdrage aan broeikasgassen vanuit de veenbodems en ten gevolge van het grondgebruik is nog onvoldoende gekwantificeerd. Het doel van dit project is het identificeren van de bronnen van broeikasgassen (CO₂, CH₄ en N₂O) gerelateerd aan de bodem en aan het grondgebruik voor agrarische activiteiten en natuur en het kwantificeren van de actuele omvang van deze bronnen.

Veenbodems

In de afgelopen decennia is het areaal veengronden in de provincie Drenthe met ca. 42% verminderd van 55.000 ha naar ca. 30.000 ha. Door de oxidatie van het veen daalt het maaiveld. In de Nederlandse landbouwkundige praktijk worden slootpeilen aangepast aan de maaiveldddaling, zodat de maaiveldddaling door blijft gaan totdat het veen verdwenen is. De methode voor de bepaling van de CO₂ emissie is gebaseerd op de gemiddelde maaiveldddaling per jaar. Hiervoor is gebruik gemaakt van een onderzoek naar de afname van de veendikte op puntniveau dat in 2007 in Drenthe is uitgevoerd. De emissie uit veengronden zoals berekend wordt voor de nationale rapportage naar het IPCC bedraagt voor Drenthe 915 kton CO₂ per jaar. Dit komt overeen met 22% van de landelijke CO₂ emissie uit veengronden in landbouwkundig gebruik. In de provincie Drenthe zijn de veengronden een zeer dominante bron voor broeikasgassen. De emissie vastgesteld volgens de IPCC-criteria voor veengronden bedraagt bijna 20 % van de totale provinciale emissies. Landelijk is de bijdrage uit veengronden ca. 4 % van de totale emissies. En hierbij moet worden bedacht dat naast de emissies die berekend worden voor het IPCC er ook nog emissie optreden bij de moerige gronden en de gedeformeerde veengronden. Als deze ook worden meegenomen bedraagt de emissie door oxidatie van veen in Drenthe ca. 1400 kton CO₂ per jaar. Per hectare is de emissie in Drenthe duidelijk hoger dan landelijk. Dit komt omdat de drooglegging van veengronden in Drenthe dieper is dan gemiddeld in de rest van Nederland.

Door de oxidatie van veen verdwijnen dunne veenlagen geleidelijk. Uit een steekproef die in het kader van dit onderzoek is uitgevoerd blijkt dat de bij moerige gronden en de gedeformeerde veengronden inmiddels bij 40 tot 60% van de oppervlakte geen veenlagen meer voorkomen. Bij het berekenen van de emissies is hiermee rekening gehouden. Doordat de veenlagen in dikte afnemen én doordat het

areaal met veenlagen geleidelijk kleiner wordt, neemt ook de emissie van CO₂ ten gevolge van oxidatie geleidelijk af.

Landbouw

In Nederland is de landbouw de belangrijkste bron voor lachgas en methaan. Voor lachgas worden drie bronnen onderscheiden in de categorie N₂O emissies uit landbouwbodems:

- Directe emissies door de toediening van kunstmest en dierlijke mest, stikstofbindende gewassen, gewasresten en het gebruik van veenbodems.
- Emissies uit de dierlijke mest en urine tijdens begrazing.
- Indirecte emissies door uitspoeling en oppervlakkige afstroming van stikstof.

Voor methaan emissies zijn fermentatie door herkauwers en emissies tijdens de behandeling en opslag van mest de belangrijkste bronnen. De N₂O en CH₄ emissies uit de landbouw zijn zowel berekend volgens de Nederlandse IPCC methode als met het model INITIATOR2 dat gedetailleerder is en meer processen meeneemt. INITIATOR2 is een integraal stikstofmodel en houdt gelijktijdig rekening met de N-belasting van grond- en oppervlakte water en emissies van ammoniak en lachgas. Kunstmest en dierlijke mest zijn de belangrijkste bronnen van N₂O emissies in Drenthe samen met de mineralisatie van veengronden onder landbouw. Voor methaan is fermentatie door koeien met 80% de belangrijkste bron van CH₄ emissies. De emissies van N₂O en CH₄ in Drenthe zijn in de periode 1990-2006 gedaald met 20% en respectievelijk 25%. Voor lachgas is deze afname te verklaren door een afname van de dierlijke en kunstmestgift en de bijbehorende daling van de indirecte emissies en voor methaan door een afname in de rundveestapel.

Bossen

Voor de categorie landgebruik bos worden voor nationale rapportage naar het IPCC twee typen emissies gerapporteerd, de verandering van koolstofvoorraad in biomassa en de verandering van koolstofvoorraad in dood hout. De berekeningen voor Drenthe gaat volgens deze IPCC-methode. De uitkomsten voor veranderingen in koolstof in biomassa en dood hout zijn gebaseerd op de gegevens uit de landelijke bosinventarisatie Meetnet Functie Vervulling (MFV). Van de 3622 MFV plots in Nederland liggen 326 plots binnen Drenthe. De verandering in koolstofvoorraad in biomassa is de resultante van een toename in koolstof door groei en een afname van koolstof door oogsten en sterfte. De verandering in koolstofvoorraad in dood hout is het verschil tussen de toename van koolstof in dood hout door sterfte van levend materiaal, en de afname door afbraak. In Drenthe is de koolstofvastlegging in bossen iets hoger vergeleken met heel Nederland door de hogere opname van koolstof in de levende biomassa. De laatste jaren neemt de groei van de volgroeide bossen af terwijl de oogst is toegenomen. De totale koolstofvastlegging in bos is daardoor afgenomen in de periode 2000-2007. In 2000 bedroeg de vastlegging 268 kton CO₂-eq en in 2006 en 2007 respectievelijk 250 en 235 kton.

Natuur

De broeikasgasbalans van een natuurgebied is het netto resultaat van emissie en opname van alle broeikasgassen. Deze worden gestuurd door biologische processen, waarvan fotosynthese in planten en microbiologische afbraakprocessen van organische stof de belangrijkste zijn. Voor het berekenen van de emissies uit

veengebieden met natuur is gebruik gemaakt van het rekenmodel 'PEATLAND-VU', wat emissies van CO₂ en CH₄ kan simuleren aan de hand van bodemgegevens, tijdreeksen van temperatuur en neerslag en gegevens omtrent vegetatietype en beheer. Daarnaast is een korte meetcampagne uitgevoerd in karakteristieke natte natuurgebieden in het Drentsche Aa gebied. Het betreft metingen in een mesotroof beekdal (Visvliet) en in een oligotrofe natte heide (Ballooërveld). Met deze meetcampagne is vastgesteld in hoeverre de validatie van PEATLAND-VU geldig is voor Drenthe. De natte beekdalen in Drenthe zijn de belangrijkste bron van broeikasgasemissies in natuurgebieden. Door de hoge grondwaterstanden is er kans op de vorming van methaan (CH₄), vooral bij mesotroof veen. Meer dan 90% CH₄ emissie is afkomstig uit mesotrofe veengronden in de beekdalen. In veenbodems met hoge grondwaterstanden wordt de oxidatie van veen geremd en kan de opname van CO₂ in de vegetatie en door veenvorming optreden.

Tabel. Samenvatting van de broeikasgasemissies in Drenthe gerelateerd aan bodem en bodemgebruik (kton CO₂-eq jaar⁻¹)

Bron	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	Totaal	Areaal (ha)	Gemiddeld per ha
<i>Uit bronnen die ook bij het IPCC worden onderscheiden</i>						
Oxidatie bij veengronden met landbouw	915	110	-	1025	24460	0,042
Landbouw	-	520	480	1000	175375	0,006
Bos	-250	-	-	-250	35900	-0,007
Totaal IPCC-bronnen	665	630	480	1775		
<i>Overige bronnen</i>						
Oxidatie bij moerig gronden met landbouw	90			90	4440	0,020
Oxidatie bij EX_veen en EX_moerig met landbouw	385			385	51900	0,007
Veenbodems met natuur*	40		55	95	13580	0,007
Totaal overige bronnen	515		55	570		
Totaal alle bronnen	1180	630	535	2345		

* Bij broeikasgasemissies uit natuurgebieden is geen rekening gehouden met opname van CO₂ door andere vegetatie dan bos en door veengroei.

Conclusies

De totale bodemgerelateerde broeikasgasemissie voor de provincie Drenthe bedraagt in 2006 ongeveer 2345 kton CO₂ equivalenten (tabel). Het grootse deel van deze emissie ontstaat door de oxidatie van veengronden waarbij vooral CO₂ vrijkomt. De emissie uit veengronden zoals berekend wordt voor de nationale rapportage bedraagt voor Drenthe 915 kton CO₂ per jaar. Hierbij zijn echter de moerige gronden en de gedeformeerde veengronden niet betrokken, als deze wel worden meegenomen bedraagt de emissie door oxidatie van veen in Drenthe ca. 1400 kton CO₂ per jaar. Ook de landbouw levert een grote bijdrage aan de broeikasgasemissies door de emissies van N₂O (520 kton CO₂-eq jaar⁻¹) en CH₄ (480 kton CO₂-eq jaar⁻¹). In de bossen vindt opname van CO₂ plaats, per jaar is dit ca. 250 kton. In veengebieden met natuur bedraagt de totale emissie ca 95 kton CO₂-eq jaar⁻¹. Door hoge grondwaterstanden treedt er in beekdalen vooral emissie op van methaan. In de natuurgebieden wordt een deel van de emissies waarschijnlijk gecompenseerd door opname van CO₂ in de vegetatie en door veenvorming. Uit de berekeningen blijkt dat alleen bij de combinaties van bossen op oligotrofe veenbodems de opname door het bos groter is dan de emissies uit veen door oxidatie en methaangasvorming. Het totale areaal van deze combinaties bedraagt ca. 4 500 ha.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het klimaat in Nederland verandert. De mens is mede verantwoordelijk voor die veranderingen van het klimaat. Daarover zijn de meeste wetenschappers het nu wel eens. De oorzaak van die klimaatsverandering is een toename in het gebruik van fossiele energiebronnen en de emissie van broeikasgassen als kooldioxide (CO₂), methaan (CH₄) en lachgas (N₂O). Het gevolg is een stijgende temperatuur en veranderingen in neerslaghoeveelheden en neerslagpatroon.

Methaan en lachgas hebben een global warming potential van respectievelijk 23 en 298 van dat van CO₂. Global warming potential is het effect wat deze gassen hebben op het opwarmen van de atmosfeer ten opzichte van CO₂ over een bepaalde tijdsperiode (100 jaar); methaan en lachgas hebben dus aanmerkelijk sterker opwarmend effect dan CO₂, hoewel hun concentratie in de atmosfeer veel geringer is.

De provincie Drenthe wil in haar beleid actief inspelen op het probleem van de klimaatsverandering en heeft de wens de energievoorziening duurzamer te maken dan nu het geval is. Het nieuwe Programma Klimaat en Energie van mei 2008 (Provincie Drenthe, 2008) geeft een overzicht van de ambities en schept kaders voor de uitvoering van maatregelen. De provincie wil tot 2020 de CO₂-uitstoot ten opzichte van 1990 met 30% reduceren en ze wil volgens het programma een voortrekkersrol vervullen bij de ontwikkeling van kennis en innovatie rond klimaat en energie. Door onderzoek wil men meer zicht krijgen op de gevolgen van klimaatveranderingen op het waterbeheer, landbouw, natuurontwikkeling en biodiversiteit.

De aanpak van klimaatverandering begint bij het beperken van de emissie van broeikasgassen. De uitstoot van CO₂ kan worden beperkt door besparing op energiegebruik of door energie op te wekken uit zogenaamde duurzame energiebronnen met de bedoeling CO₂ neutraal te opereren. Een bijzonder punt in het landelijk gebied is de bijdrage vanuit de bodem en de bijdrage ten gevolge van het grondgebruik. Binnen de provincie komt van oudsher een aanzienlijk areaal veenbodems voor. Uit onderzoek dat in het afgelopen jaar voor de provincie is uitgevoerd blijkt dat er voortdurend veen verdwijnt (De Vries et al., 2008). Er is sprake van een sluipend proces van afbraak van organische stof door oxidatie, dat voornamelijk een onbedoeld gevolg is van ontwatering en grondgebruik. Bij deze afbraak van veen komen broeikasgassen vrij. De bijdrage aan broeikasgassen vanuit de veenbodems en ten gevolge van het grondgebruik is nog onvoldoende gekwantificeerd. Hierdoor heeft de provincie onvoldoende handvaten om ruimtelijk beleid te ontwikkelen voor het beteugelen van deze emissiebronnen

1.2 Doel

Het doel van dit project is:

- Identificeren van de bronnen van broeikasgassen (CO_2 , CH_4 en N_2O) gerelateerd aan de bodem en aan het grondgebruik voor agrarische activiteiten en natuur;
- Kwantificeren van de actuele omvang van deze bronnen.

Bij het vaststellen van de bronnen en het berekenen van de omvang gaan we zo veel mogelijk uit van de methodiek die ontwikkeld is door het UNFCCC (VROM, 2007) voor de jaarlijkse rapportage van de nationale broeikasgasemissies. Afwijkende en additionele bronnen zullen apart worden vermeld.

Dit project is de eerste fase van een totaal project “Advies over de versterking van de samenhang tussen klimaatbeleid en bodem in de provincie Drenthe” om de problematiek rond de emissie van broeikasgassen uit veenbodems en grondgebonden activiteiten in beeld te brengen. Aansluitend op deze eerste fase is in fase twee een analyse gepland van de toekomstige emissies bij veenbodems. Tot slot zal in de derde fase onderzocht worden welke ontwikkelingsrichtingen er zijn om de emissies vanuit de bodem te beperken. Op basis van de uitkomsten van fase 1 zal er een besluit worden genomen over voorzetting van het onderzoek in fase 2.

1.3 Achtergronden

Dynamiek bij veengronden

In de afgelopen decennia is het areaal veengronden in de provincie Drenthe met ca. 42% verminderd van 55.000 ha naar ca. 30.000 ha. Per jaar verdwijnt er bij de veengronden gemiddeld 1 cm veen. Bij de moerige gronden, dit zijn gronden met oppervlakkige veenlagen van maximaal 40 cm dik, bedraagt de afname gemiddeld een halve cm per jaar. De ontwateringsdiepte en het grondgebruik spelen bij de afbraak een belangrijke rol. Naarmate er in de zomerperiode diepere grondwaterstanden voorkomen verloopt de afbraak sneller. Een grondgebruik dat gepaard gaat met grondbewerking stimuleert de afbraak van veen, dit geldt ook voor diep wortelende gewassen met een sterke vochtonttrekking (De Vries, et al., 2008). Landelijk bedraagt de emissie van broeikasgassen vanuit veenbodems ca. 4% van de totale emissie.

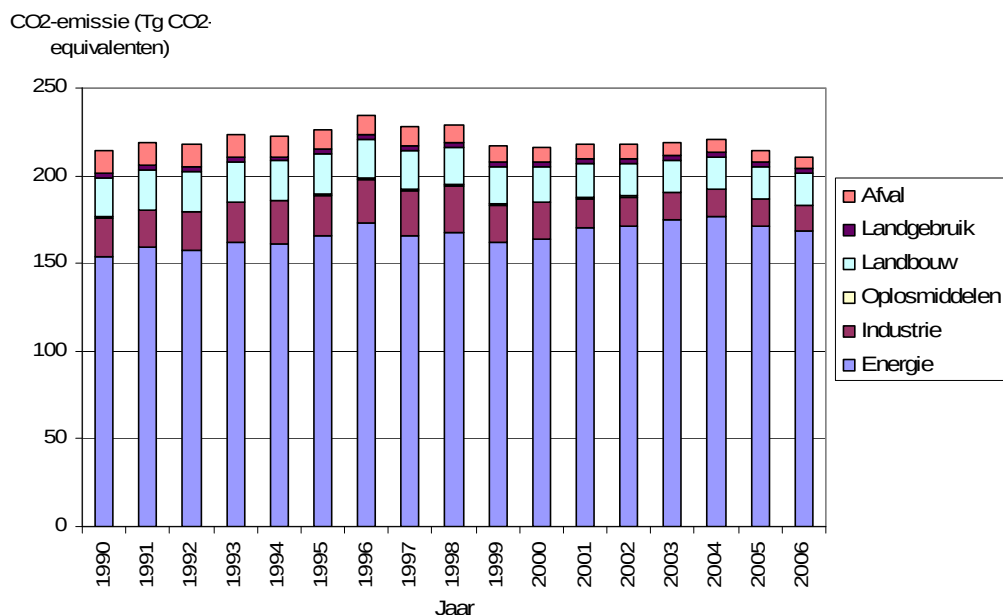
Nationale rapportage broeikasgassen

Nederland heeft in 1992 het Klimaatverdrag van de Verenigde Naties (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) ondertekent. De doelstelling van dit verdrag is het stabiliseren van de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer op een zodanig niveau, dat een gevaarlijke menselijke invloed wordt voorkomen. Nederland is één van de 189 landen die het klimaatverdrag heeft geratificeerd. Halverwege de jaren negentig werd duidelijk dat de uitstoot van broeikasgassen niet genoeg stabiliseert om het doel van het Klimaatverdrag te realiseren. Dat heeft geleid tot het Kyoto-protocol. Hierin verbinden de industrielanden zich om de uitstoot van broeikasgassen in 2008 – 2012 met

gemiddeld 5% te verminderen ten opzichte van 1990. De aangesloten landen dienen jaarlijks te rapporteren volgens een nationaal systeem. Hiervoor heeft het International Panel on Climate Change (IPCC) richtlijnen opgesteld (IPCC, 2003). De jaarlijkse rapportages (NIR, National Inventory Reports) hebben betrekking op emissies als gevolg van menselijk handelen. Er worden verschillende bronnen onderscheiden:

- Energiegebruik en –productie, inclusief het energiegebruik door verkeer;
- Industrie;
- Oplosmiddelen;
- Landbouw;
- Landgebruik en landgebruikverandering;
- Afvalverwerking

Uit het National Inventory Report 2008 over de periode 1990 – 2006 (Maas et al., 2008) blijkt dat de totale landelijk emissie ten opzichte van het basisjaar 1990 enkele procenten is gedaald. De emissie vanuit de landbouw en het landgebruik bedraagt ca. 10% van de totale landelijke emissie. Ten opzichte van 1990 is de emissie binnen de categorie landbouw met ruim 18 % afgenomen. Ook bij andere sectoren is een afname opgetreden (industrie 31%, oplosmiddelen 60% en afvalverwerking 52%). In de energiesector, dit is de sector met de grootste emissie, is er een toename van ruim 9% in 2006 ten opzichte van 1990.



Figuur 1. Ontwikkeling van de totale CO₂-emissie in Nederland sinds 1990 (Maas, et al., 2008)

Provinciaal beleid

De provincie Drenthe streeft naar een integrale aanpak van klimaat- en energiebeleid. Daartoe verkent de provincie alternatieve energiebronnen en innovatieve besparingsmogelijkheden voor energie en vermindering van emissies van broeikasgassen. Het agro-cluster is voor Drenthe een belangrijke economische

drager. Samen met natuur en recreatie is de landbouw verantwoordelijk voor het gebruik en beheer van de bodem in Drenthe. Koppeling van bijvoorbeeld doelstellingen en realisatie van de EHS aan maatregelen in het kader van klimaatbeleid zou kunnen leiden tot een meer robuuste en dus ook duurzame gebiedsontwikkeling. De provincie verwacht dat samenwerking en (kennis)uitwisseling tussen partijen uit het agro-cluster en partijen uit andere sectoren kansen biedt voor innovaties. Ongetwijfeld zijn er ook mogelijkheden in klimaatbeleid inclusief beleid gericht op vermindering van emissies van broeikasgassen.

Bij het terugdringen van de hoeveelheid broeikasgassen kiest de provincie voor de MAP-aanpak: Mitigatie, Adaptatie en Participatie (Provincie Drenthe, 2008):

- Mitigatie; vermindering van de uitstoot van broeikasgassen door een brongerichte aanpak. Bij de aanpak aan de bron richt de provincie zich vooral op het Landelijk gebied, Stedelijk gebied, Mobiliteit, Productieprocessen en Energieopwekking. Een belangrijk onderwerp binnen bij het landelijk gebied betreft de bodem, inclusief de veenproblematiek. In het Programma Klimaat en Energie (Provincie Drenthe, 2008) is dit onderzoek opgenomen naar de emissies vanuit de (veen-)bodems. De resultaten kunnen richtinggevend zijn voor de maatregelen en kunnen duidelijk maken hoe de aanpak van veenoxidatie zich verhoudt tot de verschillende ruimtelijke functies.
- Adaptatie; beter aanpassen aan de veranderingen door een gebiedsgerichte aanpak. Bij de aanpassingen gaat het zowel om het beperken van de risico's als over het benutten van kansen vanwege het veranderende klimaat. Binnen het landelijk gebied is één van de onderwerpen het peilbeheer in relatie tot de bodem en het gebruik van de bodem, "Peil volgt functie" of "Functie volgt peil".
- Participatie; meer gezamenlijke verantwoordelijkheid door actoren deelgenoot te maken om doelen na te streven. Het participatieproces begint al bij het formuleren van de doelen en het zoeken naar kansrijke ontwikkelingen.

1.4 Afbakening

Dit onderzoek omvat fase 1 van een groter onderzoeksvoorstel "Advies over de versterking van de samenhang tussen klimaatbeleid en bodem in de provincie Drenthe". Deze fase heeft betrekking op het identificeren en kwantificeren van de actuele broeikasgasemissies gerelateerd aan de veenbodems en het grondgebonden gebruik. Toekomstige ontwikkelingen en de mogelijkheden om door maatregelen en ingrepen de emissies te verminderen komen in aansluitende fasen aan de orde. Na afloop van deze eerste fase wordt beslist over de voortzetting van de vervolgfases.

2 Aanpak van het onderzoek

2.1 Identificatie van bodemgerelateerde emissiebronnen

De emissie van CO₂ vanuit de bodem is gerelateerd aan de C-voorraad (koolstofvoorraad) in de bodem en in de begroeiing en de veranderingen die er optreden. Bij een toename van de voorraad wordt er CO₂ vastgelegd, zoals bij boomgroei. Bij een afname van de voorraad komt er CO₂ vrij, zoals bij oxidatie van veen. Volgens het Kyoto-protocol (IPPC, 2003) dienen veranderingen in de C-voorraad gerapporteerd te worden. Het gaat daarbij om de volgende onderdelen:

- Verandering van de C-voorraad in de bodem als gevolg van veranderingen in landgebruik of beheer;
- Verandering van de C-voorraad in veengronden als gevolg van ontwatering of herstel van moerasgebieden;
- Verandering van de C-voorraad in hout van bossen of boomgaarden of meer in het algemeen, vegetatie

De grootste voorraad koolstof is vastgelegd in veenbodems. Naast de emissiebron veenbodems, onderscheiden we bronnen gerelateerd aan de grondgebruikscategorieën landbouw, bos en natuur. Deze verschillende bronnen worden hieronder nader omschreven.

2.1.1 Veenbodems

Door de IPCC wordt aan elk land gevraagd om de emissie van broeikasgassen van organische gronden in landbouwkundig gebruik te bepalen. Met organische gronden bedoelt de IPCC de zogenaamde *Histosols* (FAO, 1998). *Histosols* komen niet helemaal overeen met wat in Nederland Veengronden wordt genoemd, omdat de FAO (1998) definitie voor organische grond (organic soil) een wat hogere organische stofgehalte vereist dan in de Nederlandse definitie voor organische grond (moerige grond) (Steur en Heijink, 1991). Omdat het verschil klein is, is de verwachting dat slechts een zeer beperkt deel van de Nederlandse veengronden niet voldoet aan de definitie voor *Histosols*.

Een groot deel (218.000 ha) van de veengronden zoals aangegeven op de Bodemkaart 1 : 50.000 is dieper dan 120 cm. Dit is bijzonder gelukkig, omdat meestal de tijd sinds de kartering te kort is geweest om zoveel organisch materiaal te oxideren dat deze diepe veengronden niet meer als veengronden kunnen worden geclassificeerd. De meeste ondiepe veengronden hebben een zandondergrond. Een groot deel van deze gronden bevinden zich in Drenthe, waarvan bij ca 40% de veenlaag dunner is geworden dan 40 cm, zodat deze niet meer voldoen aan de definitie van veengrond (de Vries et al., 2008). Uit de veenkartering (de Vries, 2003, 2004) volgt dat landelijk ca 30% van de ondiepe veengronden geen veengrond meer zijn. Dit komt overeen met 49.000 ha. Na actualisatie van de bodemkaart aan de

hand van de veenkartering (de Vries, 2004) bleek er nog 288.000 ha veengrond in Nederland te zijn, waarvan 223.000 ha in landbouwkundig gebruik. Niet alle ondiepe veengronden waren bij de veenkartering betrokken. Als aangenomen wordt dat ook bij deze niet-gekarteerde ondiepe veengronden 30% is verdwenen, dan is er sinds de Bodemkartering 1 : 50.000 ongeveer 67.000 ha veengrond verdwenen en is het huidige oppervlak aan Nederlandse veengronden hoogstens ca. 270.000 ha. Dit houdt in dat in de laatste 30 tot 40 jaar ongeveer 20% van de Nederlandse veengronden zijn verdwenen. Omdat de verdwenen veengronden voornamelijk landbouwgronden zijn, kan worden ingeschat dat het areaal veengrond in landbouwkundig gebruik ca 205.000 ha is. Echter, omdat voor de berekeningen voor de IPPC moet worden uitgegaan van daadwerkelijk gekarteerde veengronden, moet voor de berekening van broeikasgassen uit veengronden in landbouwkundig gebruik worden uitgegaan van de eerder genoemde 223.000 ha.

Bij de berekening van de emissie van CO₂ en N₂O worden voor de rapportage aan het IPPC alleen de veengronden beschouwd (Kuikman et al., 2005). Voor een realistische identificatie van bodemgerelateerde emissiebronnen is het echter ook belangrijk om te weten hoe hoog de bijdrage vanuit de moerige gronden en de versleten veengronden is. Dit geldt zeker voor Drenthe, waar van oudsher veel moerige gronden voorkomen en waar veel dunnere veengronden zijn overgegaan in moerige gronden of zandgronden. Het probleem bij deze gronden is echter dat niet precies bekend is in welke mate er nu nog veenlagen voorkomen. Om een juiste inschatting te kunnen maken van de emissies bij deze gronden is ook een kwantificering nodig van de mate waarin er nog veen voorkomt.

2.1.2 Landbouw

In Nederland is de landbouw de belangrijkste bron van lachgas (N₂O) en methaan (CH₄). De bijdrage van de landbouw bedroeg in 2006 48% van de totale methaan emissie en 52% van de totale lachgasemissie (Maas et al., 2008). De Nederlandse nationale rapportage voor broeikasgasemissies onderscheidt drie belangrijke bronnen van broeikasgassen binnen de landbouw:

- CH₄ emissies door fermentatie
- CH₄ en N₂O emissies door mestmanagement
- N₂O emissies uit landbouwbodems

Fermentatie

Methaan emissies door fermentatie worden geproduceerd als bijproduct tijdens de spijsvertering, waarbij koolhydraten worden afgebroken door micro-organismen onder anaerobe omstandigheden. Zowel herkauwers (koeien, geiten, schapen) als niet-herkauwers (varkens, paarden) produceren CH₄, maar herkauwers produceren meer CH₄ per eenheid voer dan niet-herkauwers door verschillen in het verteringsstelsel. Herkauwers hebben vier magen waardoor de microbiële vergisting van hun dieet gestimuleerd wordt. Hierdoor hebben ze de capaciteit om planten met veel cellulose, zoals gras, goed te verteren. Dit leidt echter ook tot een veel hogere methaanproductie. Een volwassen koe produceert gemiddeld 500 liter methaangas

per dag, overeenkomend met 125 kg methaan per koe per jaar. Daarmee gaat circa 10% van de energie die de koe via het voer binnenkrijgt verloren naar de atmosfeer. Bij éénmagigen (niet-herkauwers) verdwijnt minder dan 1% van de energie via methaan emissies.

Mestmanagement

Emissies door mestmanagement omvatten alle emissies uit dierlijke mestopslagsystemen. Zowel CH_4 als N_2O worden geproduceerd tijdens de behandeling en opslag van mest. Deze emissies zijn gerelateerd aan de hoeveelheid en samenstelling van de mest en hangen ook samen met het type mestopslag en de condities tijdens de opslag. Bijvoorbeeld, onder aerobe omstandigheden tijdens de mestopslag neemt de N_2O emissie toe, terwijl de CH_4 emissie daalt. Een langere duur van de mestopslag en hogere temperaturen leiden echter tot een toename van de CH_4 emissie. In de zomer is de methaanvorming dan ook veel groter dan in de winter. Mestopslagen dragen voor ongeveer 27% bij aan de totale methaanemissie uit de landbouw. Sinds het einde van de jaren tachtig is de bijdrage van mestopslagen toegenomen, omdat dierlijke mest in de winterperiode niet meer op het land wordt uitgereden en de gemiddelde duur van de mestopslag daardoor veel groter is geworden. Drie categorieën van dierlijke mestopslagen worden onderscheiden, vloeibare en vaste mestopslagsystemen en mest geproduceerd tijdens het grazen. Verse dunne mest is zuurstofloos en bevat nog een hoeveelheid gemakkelijk afbreekbare organische stof die voor koeien ruwweg overeenkomt met 10% van de oorspronkelijke energiewaarde van het ingenomen voer. Dat betekent dat per koe nog een keer 500 liter methaan per dag uit de mest kan worden geproduceerd. Die hoeveelheid wordt onder optimale omstandigheden, zoals in methaanvergiftigingsinstallaties, ook inderdaad gerealiseerd. Echter in de praktijk wordt in mestopslagen veel minder methaan uit mest geproduceerd.

Landbouwbodems

In Nederland worden drie bronnen van lachgas onderscheiden in de categorie N_2O emissies uit landbouwbodems:

- Directe emissies door de toediening van kunstmest, dierlijke mest en rioolslib, stikstofbindende gewassen, gewasresten en het gebruik van veenbodems.
- Dierlijke productie, emissies uit de dierlijke mest en urine tijdens begrazing.
- Indirecte emissies door uitspoeling en oppervlakkige afstroming van stikstof en door stikstof depositie.

Lachgas wordt in de bodem geproduceerd door de microbiologische processen nitrificatie en denitrificatie. Nitrificatie is de omzetting van ammoniumstikstof ($\text{NH}_4\text{-N}$) via een serie tussenproducten in nitriet (NO_2) en nitraat (NO_3). Lachgas ontstaat bij het nitrificatieproces als een bijproduct. Denitrificatie is de microbiologische omzetting van nitriet en nitraat via een serie tussenproducten in stikstofgas (N_2). Lachgas is bij het denitrificatieproces een tussenproduct. Kunstmest en dierlijke mest zijn de belangrijkste stikstofbronnen in de landbouw en derhalve ook de belangrijkste bronnen van lachgas. De emissie per ha landbouwgrond is zeer hoog in Nederland, in vergelijking tot omringende landen. Die hoge emissie hangt vooral samen met de

hoge input van stikstof per ha en ook met de aanwezigheid van relatief natte gronden.

Het bemestingsadvies voor grasland is gebaseerd op het stikstofleverend vermogen van de bodem, dat varieert van 50 kg ha⁻¹ jaar⁻¹, voor de zeer humusarme gronden tot 3000 kg ha⁻¹ jaar⁻¹ voor goed ontwaterde veen- of klei-op-veen gronden. De bijbehorende stikstofjaargiften variëren van 395 tot 230 kg ha⁻¹. In de praktijk is de stikstofbemesting vaak hoger dan het bemestingsadvies. Het bemestingsadvies voor akkerland is afhankelijk van het gewas, de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem in het voorjaar en het bodemtype, en is afgeleid voor een maximale financiële opbrengst. De stikstofadviezen variëren tussen 0 en 200 kg N ha⁻¹. Ook in de akkerbouw is de werkelijke stikstofgift vaak hoger dan de geadviseerde stikstofgiften (Velthof et al. 2000).

Niet meegenomen emissies uit de landbouw

De emissie van CO₂ in de landbouw door de verbranding van fossiele brandstoffen wordt in de nationale rapportage meegerekend onder de energiesector. Een groot deel van de CO₂ wordt geproduceerd voor de verwarming van kassen voor de glastuinbouw. Daarnaast is er de emissie van CO₂ uit veenbodems die voor landbouw gebruikt worden, zie sectie 2.1.1, en de emissie van CO₂ door bekalking. Naast deze emissies biedt de landbouw ook mogelijkheden voor mitigatie van broeikasgassen door veranderingen in management. Bijvoorbeeld door het gebruik van groenbemesters of het laten liggen van gewasresten kan extra koolstof worden vast gelegd in de bodem.

De kunstmestindustrie is daarnaast een belangrijke industriële bron van N₂O en CO₂. De kunstmestindustrie in Nederland heeft een emissie van 8,7 Mton CO₂ equivalenten in 2006 (Maas et al., 2008). Deze emissie wordt echter volgens de IPCC systematiek niet meegerekend onder landbouw maar onder industrie. Methaan emissies uit landbouwbodems worden beschouwd als natuurlijke (niet-antropogene) emissies en worden daarom niet meegerekend in de Nederlandse rapportage van broeikasgassen.

2.1.3 Bos

De Nederlandse nationale rapportage onderscheidt drie subcategorieën binnen het Landgebruik Bos (hier gebruikt als klasse van landgebruik volgens IPCC, 2003):

- bos volgens de nationale definitie ¹;
- bomen die buiten het bos groeien (i.e. groepen bomen die niet aan de nationale definitie van bos voldoen);
- en heide en andere natuurterreinen (i.e. gebieden die zonder beheer veranderen in bos).

¹ Bos is gedefinieerd als een gebied van minimaal 0,5 ha met een minimale breedte van 30 m, met een huidige of potentiële kroonbedekking van 20% of meer en een huidige of potentiële hoogte van de bomen van 5m of meer. Wegen in het bos van minder dan 6 m breed vallen binnen de definitie.

Voor de klasse heide en natuurterreinen worden geen emissies gerapporteerd omdat er van wordt uitgegaan dat bij dit soort terreinen geen substantiële emissies optreden. In dit onderzoek voor Drenthe wordt deze klasse daarom ook niet beschouwd. Voor bos volgens de nationale definitie en voor bomen buiten bos worden de emissiefactoren (kton C ha^{-1}) berekend zoals deze berekend zijn voor de nationale UNFCCC rapportage in 2008. Voor bos volgens de nationale definitie dat niet verandert van landgebruik is op basis van de aan/afwezigheid van plots een schatting van het totale areaal gemaakt, met bijbehorende totalen van C emissie voor Drenthe.

2.1.4 Natuur

De broeikasgasbalans van een natuurgebied of ecosysteem is het netto resultaat van emissie en opname van alle broeikasgassen. Opname en emissie worden gestuurd door biologische processen, waarvan fotosynthese in planten en microbiologische afbraakprocessen van organische stof de meest belangrijke zijn.

CO_2

Opname van CO_2 vindt plaats door fotosynthese. De opgenomen CO_2 wordt omgezet in plantenmateriaal. Bij toename van de hoeveelheid plantenmateriaal in een ecosysteem wordt dus CO_2 vastgelegd. Bij afsterven van planten wordt dit grotendeels weer afgebroken in de bodem, en weer omgezet in CO_2 . Als de opname door fotosynthese in een ecosysteem groter is dan de afbraak, vindt er netto opname van CO_2 plaats. Het overschot wordt dan vastgelegd in een toename van de biomassa, en/of een toename van de hoeveelheid organische stof in de bodem: humus of veen. Netto opname van CO_2 vindt typisch plaats in jonge ecosystemen: opgroeiend bos bijvoorbeeld. Als het ecosysteem ouder wordt, ontwikkelt zich geleidelijk een evenwicht tussen opname en emissie. De afbraaksnelheid van organische stof hangt sterk af van de grondwaterstand en van de temperatuur. Bij hoge grondwaterstand kan er onvoldoende zuurstof in de bodem doordringen (anaerobe condities) en is de afbraak traag doordat slechts een beperkte groep bodembacteriën het materiaal kan omzetten. In dat geval kan er veen ontstaan: een laag halfverteerde, vaak nog herkenbare plantenresten. In veen-ecosystemen kan de netto opname veel groter zijn en veel langer (duizenden jaren) doorgaan dan in drogere ecosystemen (voor bos typisch enkele tientallen jaren). Bij landbouwkundig gebruik van de bodem wordt bijna altijd de afbraak van organische stof in de bodem versneld, omdat door bodembewerking (ploegen) en eventueel drainage de toetreding van zuurstof in de bodem toeneemt. Vooral bij veenbodems kan dan het verlies van organische stof groot zijn.

CH_4

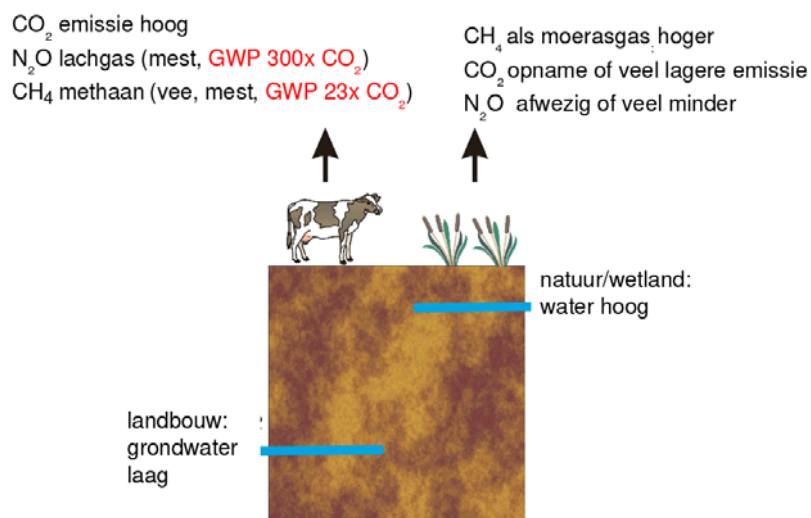
Bij anaerobe afbraak van organische stof wordt methaan gevormd ('moerasgas'). Dit treedt vooral op bij bodems die langdurig een hoge grondwaterstand hebben. Methaanvormende (methanogene) bacteriën kunnen alleen onder strikt zuurstofloze omstandigheden leven. Deze bacteriën gebruiken vooral verse organische stof, vooral uitscheidingsproducten van plantenwortels en dood plantenmateriaal. Het methaan bereikt vervolgens de atmosfeer door diffusie via de poriën van de bodem, via

gasbelletjes en via transport door planten. Planten die op natte bodems groeien hebben vaak luchtkanalen om zuurstof naar de wortels te transporteren en andere gassen zoals methaan weer af te voeren. Er kan ook opname van methaan plaatsvinden. Er zijn groepen bacteriën die methaan kunnen gebruiken voor hun metabolisme (methanotrofe bacteriën); de meeste van die bacteriën hebben zuurstof nodig. In drogere bodems met een grondwaterstand die ruim beneden het oppervlak ligt vindt dit proces plaats. Ook is recent aangetoond dat veenmos (de belangrijkste veenvormende plant in voedselarme venen van Drenthe) in symbiose leeft met methanotrofe bacteriën (Raghoebarsing et al., 2005). Methaanemissie is over het algemeen hoog bij voedselrijke (eutrofe) veenbodems, en laag in voedselarme (oligotrofe) veenecosystemen. Omdat methaan een sterk broeikasgas is (global warming potentiaal 23 x CO₂ over een tijdschaal van 100 jaar) kan hoge methaan emissie het gunstige effect van opname van CO₂ door veengebieden sterk verminderen of zelfs teniet doen (Hendriks et al., 2007).

N₂O

Lachgas wordt gevormd door onvolledige oxidatie van stikstofverbindingen in de bodem. Het proces treedt vooral op in bodems waarin veel stikstof aanwezig is door bemesting, en onder condities van tijdelijke verzadiging met water. Het is een bijproduct van bacteriële omzettingen van stikstof. N₂O emissies zijn moeilijk te meten, omdat het kortdurende emissiepieken betreft, doorgaans na bemesting en regen. In natuurgebieden zonder bemesting is de N₂O emissie over het algemeen beneden de detectiegrens.

Vooral voor veengebieden is het verschil in emissie van broeikasgassen tussen landbouw en natuur groot. Het verschil is samengevat in figuur 2. Bij landbouw gebruik van veenbodems treedt hoge emissie van CO₂ op als gevolg van oxidatie van veen; het veen verdwijnt daardoor op den duur. Deze emissie treedt op naast de gebruikelijke CH₄ en N₂O emissie. Bij natte natuurgebieden is deze CO₂ emissie sterk verminderd of kan dit worden omgezet in opname van CO₂. Deze opname wordt overigens weer geheel of gedeeltelijk teniet gedaan door de emissie van het veel sterkere broeikasgas CH₄. Echter, zelfs dan blijft de emissie van natuurgebieden gunstiger dan die van landbouw (Van den Bos, 2003; Hendriks et al., 2007).



Figuur 2. Globale vergelijking van broeikasgasemissies van landbouw en natuur op veengronden.

2.2 Methodes voor berekening van de emissie en opname

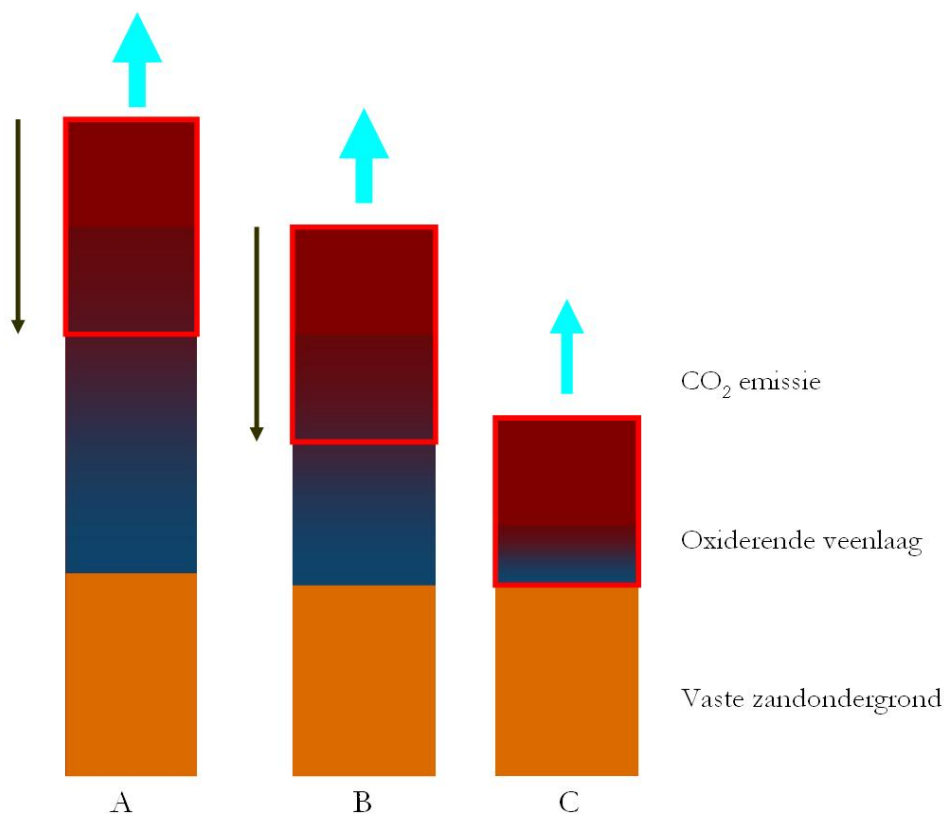
2.2.1 Veenbodems

2.2.1.1 Concept voor emissieberekening

Het kenmerkende verschil tussen minerale bodems en veenbodems is de grote hoeveelheid oude organische stof die in de veenbodems is opgeslagen. Als veengronden worden gedraineerd treedt zuurstof in de grond en begint de soms duizenden jaren geleden vastgelegde organische stof af te breken (oxideren). De gemineraliseerde koolstof wordt omgezet in CO_2 en een deel van de gemineraliseerde stikstof wordt omgezet in N_2O . Bij de CO_2 emissie gerelateerd aan veengronden gaat het dus specifiek om de CO_2 die door de afbraak van het veen wordt gevormd. De CO_2 emissie door de afbraak van verse organische stof uit onder andere wortelresten, gewasresten en organische mest, die ook bij de minerale gronden plaatsvindt, wordt buiten beschouwing gelaten.

Het is bekend dat vertering (oxidatie) van veen leidt tot maaiveld dalingen en uiteindelijk zelfs tot verdwijnen van veenlagen. Door Kuikman et al. (2005) is een methode beschreven om uit de maaiveld daling de emissie van CO_2 en N_2O te berekenen. De maaiveld daling geeft in wezen direct aan hoeveel organisch materiaal er verdwenen is door omzetting in CO_2 . Naast oxidatie spelen ook krimp en consolidatie (klink) een rol in de maaiveld daling. Op de lange termijn blijkt echter oxidatie het overgrote deel van de maaiveld daling te veroorzaken. Uit de maaiveld daling volgt niet alleen hoeveel veen er is verteerd en omgezet in CO_2 maar ook hoeveel N er mineraliseert. Dit volgt uit de C/N ratio van het veen. Dit vormt de basis van een inschatting van de N_2O emissie uit veengronden.

Doordat in de Nederlandse landbouwkundige praktijk de ontwatering wordt aangepast aan de maaiveld daling, blijft de maaiveld daling doorgaan totdat het veen is verdwenen. De drooglegging (maaiveld hoogte minus slootpeil) blijft daardoor ongeveer constant en hetzelfde geldt voor de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld en de dikte van de laag meer of minder veraard veen. Door de ontwatering bevindt een deel van het veen zich boven de grondwaterspiegel. Door toetreding van lucht treedt er in de bovenste laag oxidatie van organische stof op. Met de vertering en daardoor het verminderen van de veendikte zakt de onderkant van de geaëreerde zone geleidelijk naar beneden. Plastisch voorgesteld “vreet” de beluchte laag zich een weg naar beneden waarbij het pas ontsloten verse veen ook onderdeel wordt van de voorraad veen die blootstaat aan vertering. Zolang de onderkant van het zakkende verteringsfront niet wordt belemmerd door de grondwaterstand gaat de afbraak met de zelfde snelheid door tot uiteindelijke de zandondergrond wordt bereikt en de voorraad organische stof geleidelijk opgesoupeerd raakt. Figuur 3 geeft dit proces schematisch weer. De afname van de veendikte wordt gelijk gesteld aan de maaiveld daling die door de jaren optreedt. Hieruit kan de hoeveelheid vrijgekomen C en CO_2 worden berekend.



Figuur 3 Schematische voorstelling van bodemprofiel met de zone waarin oxidatie plaatsvindt met als gevolg maaiveld daling en CO₂-emissie. Bij de profielen A en B is nog niet ontsloten veen aanwezig (blauw aangegeven). Elk jaar daalt het maaiveld en het rood omrande blok met x centimeter en wordt x centimeter van het blauw aangegeven niet ontsloten veen in het rood omrande blok opgenomen. Er vanuit gaande dat de hoeveelheid organische stof in het rood omrande blok in evenwicht is, komt de hoeveelheid opgenomen C uit de ondergrond overeen met de hoeveelheid C in de CO₂ emissie.

Op basis van het bovenstaande kan de jaarlijkse CO₂ emissie worden berekend uit de maaiveldsdaling. Voor dikke veengronden, waarbij een laag nog niet ontsloten (onaangetast) veen aanwezig is, zoals bij de profielen A en B in Figuur 3 wordt de emissie als volgt berekend:

$$CO_{2,em} = S_{mv} \cdot \rho_{so} \cdot fr_{OS} \cdot fr_C \cdot \frac{44}{12} \cdot 10^4 \quad (1)$$

met:

- $CO_{2,em}$ = CO₂ emissie (kg CO₂ ha⁻¹ jr⁻¹)
- S_{mv} = snelheid jaarlijkse daling van het maaiveld (m jr⁻¹)
- ρ_{so} = bulkdichtheid van onaangetast veen (kg m⁻³)
- fr_{OS} = organische stof fractie in veen (-)
- fr_C = koolstof fractie in organische stof (-)

Vermenigvuldiging met de factor 10⁴ is nodig om de koolstofemissie C om te rekenen van kg C m² jr⁻¹ in kg C ha⁻¹ jr⁻¹. De atoomgewichten van koolstof C en zuurstof O zijn respectievelijk 12 en 16. Vermenigvuldiging met een factor (12 + 2 *

16)/12 = 44/12 levert de emissie in kg CO₂ ha⁻¹ jr⁻¹. In de formule hebben de termen ρ_{so} ; fr_{os} en fr_C allemaal betrekking op het onaangetaste veen in de ondergrond. Het koolstofgehalte van de organische stof kan geschat worden op $fr_C = 0.55$ (Hendriks, 1993). In Kuikman et al. (2005) zijn voor de berekening van de CO₂ emissie uit landbouwgronden een organisch stofgehalte $fr_{os} = 0.8$ en een bulkdichtheid $\rho_{so} = 140$ kg m⁻³ gebruikt. Met deze waarden komt voor dikke veenlagen een maaiveldddaling van 1 mm per jaar overeen met een emissie van 2259 kg CO₂ ha⁻¹ jr⁻¹.

In Drenthe hebben we veelal te maken met dunne veenlagen, zoals in profiel C in Figuur 3. Door Kuikman et al. (2005) wordt bij dunne veenlagen dezelfde redenering gevolgd als bij dikke veenlagen. Anders dan bij een dik veenpakket “vreet” het veenpakket zichzelf van onderen op. Ook nu is de aanname dat het veen bovenin het profiel volledig veraard is en met toenemende diepte steeds minder veraard is, maar op een bepaalde diepte ongeveer in balans is en de mate van veraarding ongeveer constant is. Dit komt er op neer dat gesteld wordt de millimeters maaiveldddaling volledig ten koste gaan van de onderste millimeters van de veenlaag. Een hoeveelheid organische stof overeenkomend met de hoeveelheid in deze laag is als CO₂ verdwenen. Omdat in dit laagje ter dikte van de jaarlijkse maaiveldddaling al veraarding is opgetreden heeft het een hogere dichtheid en daardoor een hoger CO₂ emissie per mm maaiveldddaling in vergelijking tot veengronden met dikke veenlagen. Doordat de veenlaag steeds dunner wordt en steeds meer bestaat uit moeilijk verteerbare organische stof en minerale delen, zal de maaiveldddaling echter geleidelijk afnemen en asymptotisch tot nul naderen. Daarmee wordt de bijdrage van de veenlaag aan de CO₂ emissie ook steeds minder en gaat ook naar nul. In formule (1) moet nu een dichtheid van het onaangetaste veen worden vervangen door de dichtheid van het veraarde veen onderin de veenlaag:

$$CO_{2,em} = S_{mv} \cdot \rho_{sg} \cdot fr_{os} \cdot fr_C \cdot \frac{44}{12} \cdot 10^4 \quad (2)$$

met:

ρ_{sg} = bulkdichtheid van (half) veraard veen (kg m⁻³)

Behalve dat nu de bulkdichtheid van (half) veraard veen wordt ingevoerd in plaats van de bulkdichtheid van onaangetast veen, lijkt er in formule (2) weinig veranderd te zijn ten opzichte van vergelijking (1). Echter, terwijl in formule (1) de waarden voor de jaarlijkse maaiveldddaling S_{mv} ; de bulkdichtheid ρ_{so} en de organische stof fractie fr_{os} in de tijd constant konden worden gesteld, neemt in formule (2) in de tijd de maaiveldddaling S_{mv} af; neemt de bulkdichtheid ρ_{sg} toe en neemt de organische stof fractie fr_{os} af. Hierdoor wordt de bepaling van de CO₂ emissie dus moeilijker, vooral omdat er veel meer bekend is over de maaiveldddaling van dikke veenpakketten dan van dunne veenpakketten. De gronden met dunne veenlagen zullen uiteindelijk veranderen in gronden waarbij de veenlaag ontbreekt, worden dan minerale gronden. Dit geldt nu gedeeltelijk al voor de moerige gronden op de bodemkaart en bij de gedeformeerde veengronden. Bij deze gronden komt bij een deel van de oppervlakte geen veen meer voor.

Bepaling maaiveldddaling van veen- en moerige gronden in Drenthe

Voor de beschreven methode voor de bepaling van de CO₂ emissie is de maaiveldddaling per jaar noodzakelijk als invoerparameter. Voor de vaststelling van de maaiveldddaling van veen- en moerige gronden in Drenthe is gebruik gemaakt van een onderzoek naar de afname van de veendikte op puntniveau dat in 2007 is uitgevoerd (de Vries et al., 2008). Op 109 locaties is de veendikte bepaald op punten waar in de periode 1955 – 1989 ook al eens de veendikte was bepaald. In de periode 1955 – 1989 zijn ook de organische stofgehalten op een diepte 20 – 40 cm beneden maaiveld en de grondwatertrap bepaald. In 2007 is behalve de veendikte ook de GLG vastgesteld. Van alle locaties is het grondgebruik vastgesteld: grasland, akkerbouw, natuur en wisselend akkerbouw en grasland. Lang niet elke locatie leverde een geschikt resultaat op. Dit kan komen doordat er bijvoorbeeld was gebouwd, afgegraven, opgehoogd of omgezet of omdat de grond onder water stond. Uiteindelijk bleven 64 profielen over die bruikbaar waren om verder te analyseren. Daarvan waren er 38 een veengrond en 26 een moerige grond. De verkregen data is vervolgens statistisch geanalyseerd om de beste relatie voor de maaiveldddaling te verkrijgen. Een aantal modellen zijn gebruikt, maar uiteindelijk bleek het volgende model nog de beste resultaten te geven voor de maaiveldddaling S_m :

$$S_m = 0,0181 X + 0,23 \text{ (in cm)} \quad (3)$$

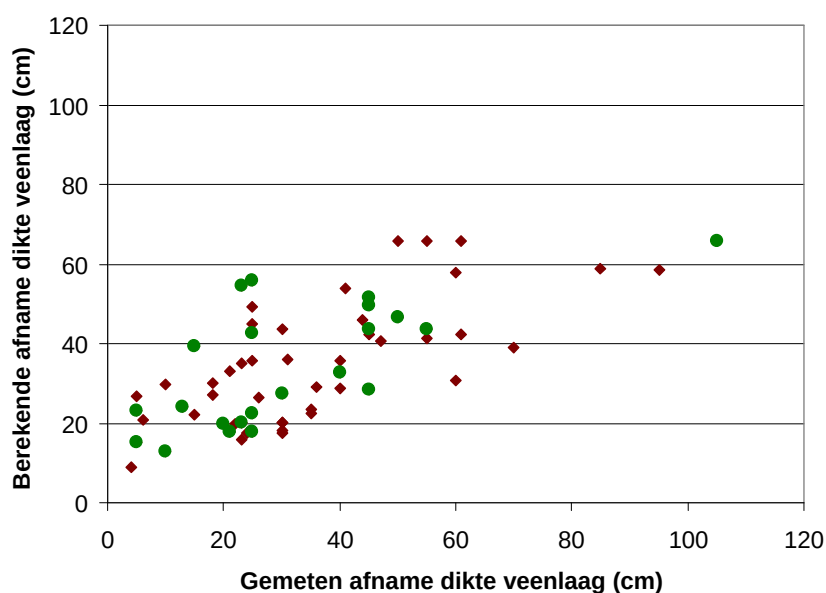
Waarin X de minimum waarde is van:

- GLG_{z} = de gemiddelde zomergrondwaterstand (cm)
- de veendikte (cm)
- de maximale oxidatiediepte = 80 cm

De gemiddelde zomergrondwaterstand GLG_{z} wordt hierbij berekend uit de GLG:

$$GLG_{\text{z}} = 0,0056 GLG^2 + 0,104 GLG + 18,6 \quad (4)$$

De relatie tussen de gemiddelde zomergrondwaterstand GLG_{z} en de GLG is bepaald uit een achtjarige meetserie van grondwaterstanden en slootpeilen in veenweidegebieden die in het kader van een monitoring van maaiveldddalingen is uitgevoerd (van den Akker et al., 2007). De fysische achtergrond van het model beschreven in vergelijking (3) is dat de oxidatie van het veen wordt beperkt door het minimum van de veendikte, de dikte van de laag boven de zomergrondwaterstand of een op ervaring gebaseerde waarde van 80 cm van de diepte tot waar zuurstof in de veenbodem dringt. Aanvullende grootheden aan de vergelijking toevoegen (zoals organische stofgehalte of grondgebruik) leverde geen significant betere fit van gemeten en berekende maaiveldddalingen. Een vergelijking tussen gemeten en berekende waarden voor de afname van de veendikte in de periode 1955/1989 tot 2007 is gegeven in Figuur 4. Daarin zijn de punten met graslandgebruik aangegeven met groen. Deze blijken geen afwijkend beeld te vertonen ten opzichte van de andere punten. Indien de afname van de veendikte groot wordt, dan lijken de afwijkingen tussen berekend en gemeten groot te worden.



Figuur 4. Vergelijking gemeten en berekende afname van de veendikte in 18 tot 52 jaar in de periode 1955/1989 tot 2007. De locaties met graslandgebruik zijn met groen aangegeven en die met akkerbouwgebruik met bruin.

2.2.1.2 Berekeningen

De emissieberekeningen worden uitgevoerd voor veengronden en moerige gronden met een landbouwkundig gebruik. Voor de selectie van de gebieden met landbouwgronden is uitgegaan van de categorie LB_landbouw uit GIS-bestand “Gebiedsindeling”. Voor een beschrijving van het bestand zie hoofdstuk 2.3.

Op basis van veendikte en veensoort worden er 8 hoofdtypen veen- en moerige gronden onderscheiden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van het bestand “Veenbodems”. Voor een beschrijving van het bestand zie hoofdstuk 2.3. Tabel 1 geeft per hoofdtype kenmerken weer die nodig zijn voor de berekeningen.

Voor de veendiktes die nodig zijn voor het berekenen van de CO₂ emissies (vergelijking 3) zijn we uitgegaan van een gewijzigde versie van de veendiktekaart uit 2006 (De Vries en Brouwer, 2006). De veendiktekaart is in 2006 vervaardigd met de toen beschikbare informatie in het Bodemkundig Informatie Systeem. Uit het vervolgonderzoek in 2007 (De Vries et al, 2008) blijkt dat de veendiktes bij de moerige gronden op de bodemkaart 1 : 50 000 nu veel dunner zijn dan op de veendiktekaart van 2006 (gemiddeld 13 cm in plaats van 25 cm). Dit geldt voor de hoofdtypen Ex_moerig mesotroof en Ex_moerig oligotroof uit het GIS-bestand *Veenbodems*. Voor deze gronden is de veendikte aangepast, zodat de gemiddelde dikte nu uitkomt op 13 cm. Uit aanvullend onderzoek dat tijdens de uitvoering van dit project is geïnitieerd, blijkt dat binnen gebieden met Ex_moerige gronden en Ex_veengronden op veel plaatsen de oppervlakkige veenlaag nu zelfs geheel ontbreekt (bijlage 2). Binnen de kaartvlakken met deze eenheden komt nu een

substantiële oppervlakte zandgronden voor. Bij de Ex-moerige gronden bedraagt de oppervlakte zandgronden inmiddels 55% van het totale areaal en bij de Ex-veengronden geldt dit voor 45% van de oppervlakte. Wanneer het veen ontbreekt, treedt er ook geen emissie op door oxidatie.

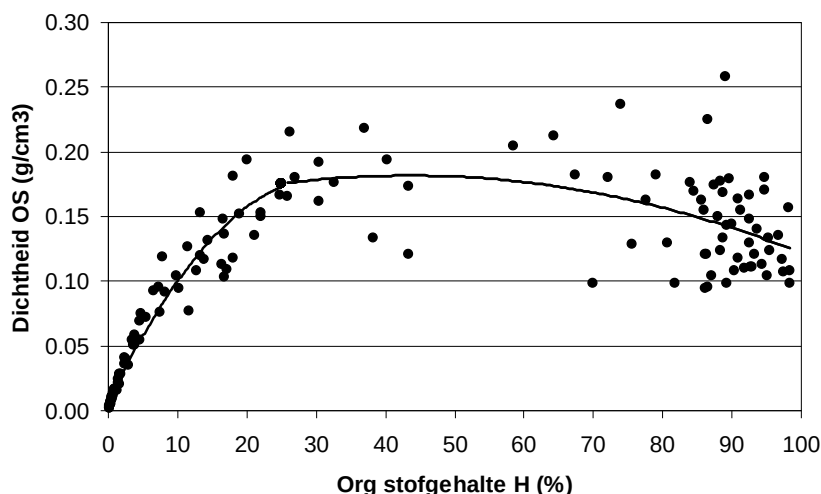
Van elke hoofdtype veen- en moerige gronden is de veendikte bekend. Bovendien is per cm dikte oplopend tot meer dan 2 meter het aantal hectaren veen of moerige grond met die dikte bekend. Met behulp van vergelijking (3) wordt de jaarlijkse afnamen in de dikte berekend. Daarbij zijn de organische stofgehalten en dichtheden uit Tabel 1 gebruikt, waarmee de dichtheid van organische stof is berekend. Binnen Drenthe komt bij een kleine oppervlakte (minder dan 100 ha) eutroof veen voor. Omdat de kenmerken van dit veen in Drenthe weinig afwijken van de kenmerken van mesotroof veen zijn de eutrofe en mesotrofe venen samengevoegd en in het vervolg van dit rapport verder aangegeven met als mesotroof.

Tabel 1. Hoofdtypen veen- en moerige gronden met bijhorende organische stofgehalten en dichtheden en jaartal waarop de veenlaagdikte is vastgesteld.

Hoofdtype	Trofiegraad	Org. stof 20 -40 cm (%)	Dichtheid (g cm ⁻³)	Org. stof 40 - 80 cm (%)	Dichtheid (g cm ⁻³)
EX_moerig	Mesotroof	65	0.25		
	Oligotroof	85	0.17		
EX_veen	Mesotroof	65	0.25		
	Oligotroof	85	0.17		
Moerig	Mesotroof	65	0.25		
	Oligotroof	85	0.17		
Veen	Mesotroof	75	0.22	80	0.19
	Oligotroof	90	0.15	95	0.12

In het model is een vereenvoudiging ingevoerd van de schematische voorstelling in het proces van afbraak en maaiveldvaling zoals weergegeven in Figuur 3, door er van uit te gaan dat bij veengronden de bovenlaag van 40 cm zich een weg ‘vreet’ naar beneden, waarbij de minerale delen in het veen steeds worden toegevoegd aan de bovenlaag van 40 cm. Daarbij blijft de dichtheid van de organische stof in de bovenlaag hetzelfde. Doordat de fractie minerale delen toeneemt, loopt het organisch stofgehalte in de bovenlaag geleidelijk terug. Dat dit zonder problemen kan blijkt uit Figuur 5. Bij veen blijkt het organisch stofgehalte door toename van minerale delen sterk te kunnen afnemen, terwijl de dichtheid van de organische stof min of meer gelijk blijft of zelfs iets kan toenemen. Pas bij een organisch stofgehalte van 20 – 25 % is verdere toename van de minerale delen niet mogelijk zonder dat het organisch stofgehalte daalt. Indien veengronden dunner worden dan 40 cm, dan gaan zij over in moerige gronden en wordt in het verdere proces uitgegaan van de dichtheid van de organische stof in de laag 20 – 40 cm. Bij moerige gronden wordt uiteraard direct begonnen met de laag 20 – 40 cm. Tijdens de berekeningen wordt bijgehouden wanneer de veendikte kleiner wordt dan 5 cm of wanneer het organisch stofgehalte kleiner wordt dan 20%. Op die momenten gaat een moerige grond per definitie over in een minerale grond. Binnen de kaartvlakken met EX-moerige gronden en EX-veengronden komt nu een substantiële oppervlakte zandgronden voor. Voor de

CO₂-emissie wordt bij deze gronden daarom niet de gehele oppervlakte meegerekend, maar een gedeelte van de oppervlakte. Bij de EX-moerige gronden rekenen we met een oppervlakte van 45% en bij de EX-veengronden met een oppervlakte van 55%. De totale jaarlijkse emissie bij deze gronden wordt dan berekend uit: de gemiddelde emissie per ha * ha * 0,45 voor de EX-moerige gronden en bij de EX-veengronden uit de gemiddelde emissie per ha * ha * 0,55.



Figuur 5. De dichtheid van de organische stof (OS) bij verschillende organische stofgehalten (H) zoals volgt uit een analyse van veengronden en zangronden met een hoog organisch stofgehalte in BIS (Bodemkundig Informatie Systeem).



Figuur 6. Bonte percelen door een sterke afwisseling in het voorkomen van veenlagen in gebieden met versleten veen- en moerige gronden (EX_moerige gronden en EX_veengronden). In dit soort gebieden komt slechts bij 40 tot 60% van de oppervlakte nog veen voor.

2.2.2 Landbouw

Voor het berekenen van de N₂O en CH₄ emissies uit de landbouw zijn twee verschillende methodes gebruikt. De eerste is de Nederlandse IPCC methode aangepast voor de IPCC richtlijn van 2006. Deze methode staat beschreven in Maas et al. (2008) en vormt de basis voor de jaarlijkse nationale emissierapportering (zie ook <http://www.broeikasgassen.nl>). Daarnaast zijn de N₂O en CH₄ emissies ook berekend met het model INITIATOR2 dat gedetailleerder is en gedifferentieerde emissiefactoren berekent afhankelijk van de bodem en grondwaterstand. Voor beide methodes zijn de N₂O en CH₄ emissies voor Drenthe berekend voor de jaren 1990, 2000 en 2006. Het INITIATOR2 model is ook gebruikt in een eerdere studie waarin verkenningen zijn uitgevoerd naar de mogelijke effecten van maatregelen in de landbouw op de emissie van stikstof uit de landbouw naar de atmosfeer, grondwater, en oppervlaktewater in Drenthe (Kros et al., 2007). In deze studie heeft Kros niet gekeken naar de emissie van broeikasgassen.

2.2.2.1 Beschrijving INITIATOR2

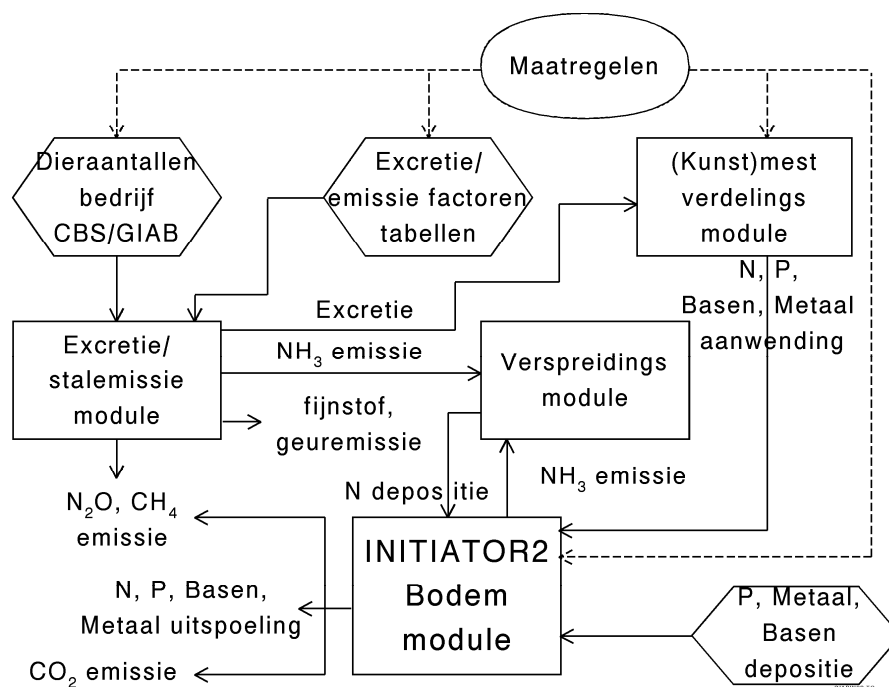
INITIATOR2 (Integrated Manure Impact Assessment Tool On a Regional scale) is een integraal stikstofmodel en houdt gelijktijdig rekening met de N-belasting van grond- en oppervlakte water en emissies van ammoniak (NH₃) en lachgas (N₂O). INITIATOR2 omvat alle relevante aspecten van de mestproblematiek, te weten: (i) emissies van ammoniak, NH₃, de broeikasgassen N₂O, CH₄ en CO₂, fijn stof en stank naar de atmosfeer en (ii) de accumulatie en uit- en afspoeling van koolstof, stikstof (NH₄, NO₃ en organisch N), fosfaat en zware metalen (denk aan koper en zink toevoer via de mest) naar grond- en oppervlaktewater. Met INITIATOR2 kunnen (beleids) maatregelen worden getoetst op hun effectiviteit en *best management practices* worden afgeleid.

INITIATOR2 berekent de volgende processen (zie Figuur 7):

- stikstofaanvoer via depositie, biologische N-binding, dierlijke mest en kunstmest;
- ammoniakemissie, onderscheiden naar stal- en opslagemissie, beweiding en aanwendingsemisssie (het laatste weer onderscheiden in dierlijke mest en kunstmest);
- opname, onderscheiden in netto afvoer via gewas, zuivel en vlees en recycling via mest;
- immobilisatie in de bodem;
- nitrificatie en denitrificatie in bodem, grondwater en sloten en de hierbij plaatsvindende lachgasemissie;
- uitspoeling en afspoeling naar respectievelijk grond- en oppervlaktewater;
- denitrificatie en immobilisatie (gezamenlijk beschreven als retentie) in oppervlaktewater.

Bij de berekening is een regionale differentiatie aangebracht, door rekening te houden met verschillen in bodemgebruik, grondsoort en grondwaterstand, die bepalend zijn voor de optredende processen. Invoer bestaat uit bodemdata, landgebruik, hydrologie (neerslag en verdamping per bodem-gewas combinatie), dieraantallen (per

bedrijf of gemeente) en toelaatbare mestgiften per bodem-gewas combinatie. De uitvoer bestaat uit de aanvoer van N, P, zware metalen en basen via depositie, biologische N-binding, dierlijke mest en kunstmest, emissie vanuit de landbouw naar de atmosfeer van ammoniak, lachgas, koolzuurgas, methaan en fijn stof en uitspoeling en afspoeling naar respectievelijk grond- en oppervlaktewater van N, P, zware metalen en basen.



Figuur 7. Schematische weergave van de rol van INITIATOR2 bij het evalueren van maatregelen

2.2.2.2 N₂O berekening

De N₂O-emissie wordt in INITIATOR2 berekend als de som van de N₂O-emissies:

- uit stallen en mestopslagen
- vanuit de bodem door nitrificatie
- vanuit de bodem door denitrificatie
- door uitspoeling en afspoeling van N naar grondwater en oppervlaktewater

De N₂O-emissie uit stallen en mestopslagen is vergelijkbaar met die in de IPCC methode. N₂O-emissies zijn in INITIATOR2 het gevolg van nitrificatie, gevolgd door denitrificatie van N-toevoer door dierlijke mest, kunstmest, beweiding, biologische N-binding, atmosferische N-depositie en netto N-mineralisatie vanuit veengronden, gecorrigeerd voor N-emissies en N-opname. De hoeveelheid NH₄-N die door nitrificatie worden omgezet en de hoeveelheid NO₃-N die door denitrificatie wordt omgezet zijn afhankelijk van de totale hoeveelheid N die in omloop is. Deze worden in INITIATOR2 berekend als een fractie van de netto N-toevoer, ofwel de toevoer via toediening van drijfmest en beweiding, kunstmest, depositie en fixatie minus de emissie van ammoniak naar de atmosfeer en de N-opname.

Het belangrijkste verschil tussen de IPCC-methoden, zoals beschreven door Kroeze (1994) en Mosier et al (1998) en INITIATOR2 is dat in het laatstgenoemde model de N₂O-emissie uit de bodem gerelateerd is aan de N die na N-opname in de bodem achterblijft. Verder is de fractie N₂O-emissiefraction afhankelijk van bodem en grondwaterstand, die allen de nitrificatie en denitrificatiefractionen beïnvloeden en ook de N₂O-emissie fractionen gerelateerd aan deze processen.

Bij de berekening van N₂O-emissies wordt niet alleen de directe emissie berekend uit landbouwgronden en stallen, maar ook de N₂O-emissie die plaats vindt als de stikstof die uit landbouwgronden naar grond- en oppervlaktewater is gespoeld ergens wordt gedenitrificeerd. Dit hoeft niet in landbouwsystemen plaats te vinden, maar kan ook in oppervlaktewater en natuurgebieden optreden. In de IPCC-methoden wordt de N₂O-emissie vanuit grondwater en oppervlaktewater berekend als een fractie van een vaste of zeer eenvoudig berekende uitspoeling en afspoeling naar deze compartimenten. In INITIATOR2, echter, wordt die uitspoeling expliciet berekend (zie De Vries, W *et al.*, 2008).

2.2.2.3 CH₄ berekening

De methaanemissie wordt in INITIATOR2 berekend als de som van de methaanemissies:

- door fermentatie
- vanuit mestopslagen
- vanuit de bodem (zowel emissie als vastlegging)

De CH₄-emissie door fermentatie is in INITIATOR2, conform de *tier-1*-methode, berekend door vermenigvuldiging van een emissiefactor voor CH₄ per diersoort met het aantal dieren per onderscheiden bedrijf (ongeacht of ze op stal of in de weide staan). Emissiefactoren zijn bepaald op basis van mestproductie, CH₄-productie-potentieel, CH₄-conversiefactor en bedrijfssystemen. In de berekeningen van de CH₄-emissie door fermentatie wordt gebruik gemaakt van de emissiefactoren die door RIVM (Spakman et al., 2003) worden gebruikt voor de rapportage van CH₄-emissie uit het vee in Nederland.

In INITIATOR2 wordt, met uitzondering voor natuurlijke veengronden, gerekend met een vaste methaanvastlegging door de bodem:

- veengronden gebruikt voor landbouw: 0,2 kg CH₄ ha⁻¹ jr⁻¹.
- minerale gronden gebruikt voor landbouw: 0,5 kg CH₄ ha⁻¹ jr⁻¹.
- minerale gronden voor natuur (inclusief bossen): 1,0 kg CH₄ ha⁻¹ jr⁻¹.

Er bestaan echter grote onzekerheden in deze schattingen, aangezien er weinig resultaten uit Nederland zijn en er een grote spreiding bestaat in de studies uit buitenland.

2.2.3 Bos

Voor de categorie Landgebruik Bos worden drie typen emissies onderscheiden:

- verandering van koolstofvoorraad in biomassa;
- verandering van koolstofvoorraad in dood hout;
- en verandering van koolstofvoorraad in (bos)bodems.

Op dit moment worden alleen de eerste twee typen emissies aan het IPCC gerapporteerd, de methode voor verandering van koolstofvoorraad in (bos)bodems is op dit moment nog in ontwikkeling.

Basisgegevens

De berekeningen voor veranderingen in koolstof in biomassa en dood hout zijn gebaseerd op de gegevens uit de landelijke bosinventarisatie Meetnet Functie Vervulling (MFV) die uitgevoerd werd tussen 2001 en 2005. Dit meetnet is een landelijk en provinciaal meetnet dat voortbouwt op de Vierde Bosstatistiek en heeft als doel een goed beeld te geven van de toestand van het Nederlandse bos. Het MFV schat met een ruimtelijke steekproef oppervlakten land met zekere eigenschappen. Het meetnet is opgezet als een stratified random steekproef, waarbij Nederland opgedeeld is in 1 km x 1 km gridcellen, de strata. Uit elk stratum is vervolgens random 1 plot locatie getrokken (Dirkse, et al., 2007). Als deze locatie in bos lag, werd daar een veldopname gerealiseerd. Indien de locatie in bos lag maar niet bereikbaar was, werd wel een opname toegekend, maar de variabelen kregen de waarde “missend” (Nabuurs et al., 2005). Het MFV omvat 3622 steekproefpunten met gegevens over het Nederlandse bos.

Voor dit rapport zijn de MFV plots geselecteerd die geografisch in Drenthe liggen. Tabel 2 geeft aan welke variabelen beschikbaar waren en gebruikt zijn. De locaties van de MFV bemonstering voldoen aan de nationale definitie van bos, en als zodanig zijn ze gebruikt als basis voor de subcategorie bos volgens de nationale definitie. De subcategorie bomen buiten het bos is afgeleid van de waarden die gevonden zijn voor bos volgens de nationale definitie en als dusdanig ook van de MFV plots.

Tabel 2. Beschikbare MFV-variabelen op plotniveau. De informatie van de vet aangegeven variabelen is gebruikt bij de berekening.

Beschikbare variabelen op plotniveau
X_coördinaat
Coördinaat
Plotnummer MFV
Opnamejaar
Kroonbedekking
Bodemtype
Beheer
Regeneratiejaar
Hoofdboomsoort
Dominante hoogte
Plot oppervlakte
Dichtheid levende bomen
Dichtheid dode bomen – staand
Dichtheid dode bomen – liggend
Staand volume - levend
Staand volume - dood
Liggend volume – dood
Netto bijgroei
Diameter middenboom
Gemiddelde diameter
Representatieve oppervlak

Verandering in koolstofvoorraad in de biomassa

De verandering in koolstofvoorraad in biomassa is de resultante van een toename in koolstof door groei en een afname van koolstof door oogsten en sterfte. Op dit moment zijn oogstdata enkel op nationaal niveau beschikbaar. Voor de nationale rapportage wordt het geoogst volume dat niet door ontbossing ontstaat, verdeeld over de plots die voor oogst in aanmerking komen (leeftijd > 110 jaar of volume > 300 m³). Voor de berekeningen in dit rapport is er voor gekozen om deze verdeling van de oogst over de plots te gebruiken als basis voor de schatting van de oogst in Drenthe.

Op basis van de huidige hoogte en leeftijd wordt de verwachte hoogtegroeï berekend. Deze wordt gebruikt om de volumegroeï (increment) op te delen in een hoogte- en diktegroeï van een constant aantal bomen. Op basis van allometrische relaties (COST21) en de huidige en verwachte gemiddelde diameter wordt de huidige en verwachte biomassa geschat, zowel boven- als ondergronds. Hieruit wordt de verandering in koolstofvoorraad berekend, uitgaande van een koolstofgehalte van 50% in biomassa (Nabuurs et al., 2005). De gemiddelde voorraad koolstof per ha wordt gebruikt als emissiefactor bij ontbossing, waarbij er impliciet van uitgegaan wordt dat alle soorten bossen dezelfde kans hebben om te verdwijnen door een verandering van landgebruik.

Tabel 3. Gebruikte dichtheden van levend hout. Voor dood hout werd een dichtheid half die van levend hout aangenomen (IPCC, 2003)

Soort	Houtdichtheid (kg DM/vers volume)
Acer spp	560
Alnus spp	510
Betula spp	670
Fagus sylvatica	700
Fraxinus excelsior	680
Larix spp	500
Picea spp	440
Pinus other	550
Pinus sylvestris	500
Populus spp	440
Pseudotsuga menziesii	540
Quercus spp	700
Coniferous other	450
Broadleaved other	600

Verandering in koolstofvoorraad in dood hout

De verandering in koolstofvoorraad in dood hout is het verschil tussen de toename van koolstof in dood hout door sterfte van levend materiaal, en de afname door afbraak. Omdat de Nederlandse bosbouwsector pas vrij recent het belang van dood hout in het bos onderkent, is het realistisch te veronderstellen dat op dit moment een opbouw van dood hout in de Nederlandse en dus ook Drentse bossen plaatsvindt. In de totale MFV dataset is het volume staand en liggend dood hout ongeveer 6,6% van de levende staande voorraad. De toename door sterfte is een vaste fractie van de staande voorraad levend hout (0,4% per jaar). De afname door afbraak is afhankelijk van de tijd nodig voor volledige afbraak en gebaseerd op van Hees en Clerckx (1999). De houtdichtheid neemt gedurende de afbraakperiode sterk af, en de voorraad koolstof in dood hout is berekend uit het volume met een soortspecifieke dichtheid half die van levend hout (Tabel 3).

2.2.4 Natuur

2.2.4.1 Algemene werkwijze

Het onderzoek maakt gebruik van het rekenmodel 'PEATLAND-VU' (Van Huissteden et al., 2006), dat emissies van CO₂ en CH₄ kan simuleren aan de hand van bodemgegevens, tijdreeksen van weer/klimaat (temperatuur, neerslag) en gegevens over vegetatietype en beheer. Het model kan zowel de totale emissie van CO₂ als de emissie door oxidatie van veen berekenen. Aan de hand van beschikbare gegevens uit de bodemkaart en landgebruikskaart is een aantal combinaties van standaard bodemprofielen en landgebruikstypen opgesteld. Vervolgens zijn modelruns uitgevoerd voor iedere combinatie. Met behulp van GIS is daarna de emissie voor alle combinaties landgebruik/bodem getotaliseerd.

De modelberekeningen van PEATLAND-VU zijn eerder gevalideerd op een aantal meetsites in West-Nederland (Van Huissteden et al., 2006). Tevens is een uitgebreide gevoeligheidsanalyse van het model uitgevoerd (Van Huissteden, 2008), met name voor de parameters die de methaanemissie beïnvloeden (Van Huissteden et al., 2008; in voorbereiding). Hieruit is gebleken dat het model niet zeer kritisch is ten opzichte van de exacte formulering van het bodemprofiel en de belangrijkste vegetatieparameter, netto primaire productie. Dit maakt het model geschikt voor opschaling van gemodelleerde fluxen aan de hand van gegevens uit de bodemkaart.

Daarnaast is een korte meetcampagne uitgevoerd in karakteristieke natte natuurgebieden in het Drentsche Aa gebied. Het betreft metingen in een eutroof-mesotroof beekdal en in een oligotrofe natte heide. Met deze meetcampagne is vastgesteld in hoeverre de validatie van PEATLAND-VU, gebaseerd op gebieden buiten de provincie, geldig is voor Drenthe. Dit is inderdaad het geval, de metingen laten geen onverwachte resultaten zien en wijken niet af van de metingen die voor de validatie zijn gebruikt.

2.2.4.2 PEATLAND_VU

PEATLAND_VU is een procesmodel voor het berekenen van CO₂- en CH₄-emissies uit veenbodem onder verschillend beheer en klimatologische omstandigheden. Het model simuleert fluxen op de schaal van een bodemprofiel. Het model bestaat uit vier submodellen:

- Bodemfysica, voor het berekenen van temperatuur, waterverzadiging en ijsgehalte van de bodem;
- productie van organische stof door vegetatie en eventuele bemesting en verdeling daarvan over verschillende organische stof reservoirs in de bodem;
- CO₂ submodel voor het berekenen van de CO₂ die vrijkomt bij de afbraak van organische stof;
- CH₄ submodel voor het berekenen van de methaan-emissie.

Het CO₂ submodel berekent afbraak van zes organische stof reservoirs in de bodem: veen, mest, dood plantenmateriaal, wortellexudaten, dode microbiële biomassa en humus. Voor elk reservoir kan een specifieke afbraakconstante gespecificeerd worden. Deze afbraakconstanten worden beïnvloed door milieufactoren: bodemtemperatuur, bodemvochtigheid en zuurgraad. Afgebroken organisch materiaal wordt gepartitioneerd over CO₂, microbiële biomassa en stabiele organische stof (humus). Het model kan de hoeveelheid CO₂ voor ieder organische stof reservoir afzonderlijk berekenen. Zo berekent het model ook de hoeveelheid CO₂ afkomstig uit oxidatie van veen.

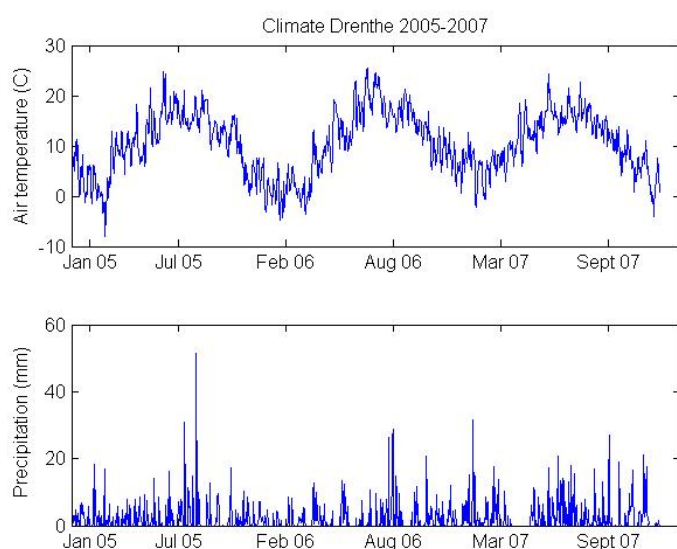
Het CH₄ submodel is gebaseerd op het CH₄ emissie model van Walter (2000). Dit model berekent de productie van CH₄ uit labiele organische stof reservoirs (wortellexudaten, plantenmateriaal), en de oxidatie van CH₄ in de niet-waterverzadigde bovenlaag van de bodem en tijdens het transport door planten. Het model simuleert drie transportmechanismen voor methaan: diffusie, transport via

bellen (ebullitie) en transport via planten. Transport via planten is over het algemeen het belangrijkste transportmechanisme. Via de primaire productie parameter en de parameters van oxidatie tijdens plantentransport kan het model afgeregeld worden op verschillende vegetatiekarakteristieken.

Het model vereist als invoer een beschrijving van het bodemprofiel, met organische stof gehalte, dichtheid en waterretentiekarakteristieken voor iedere horizont, en daarnaast tijdreeksen van bodem- of luchttemperatuur, grondwaterstand en sneeuwdikte voor iedere model tijdstap (1 dag in deze studie). De hier gebruikte uitvoer van het model is de CH₄ flux aan het bodemoppervlak, de totale CO₂ flux en de CO₂ flux afkomstig van veen oxidatie.

Deze invoergegevens kunnen verkregen worden uit generieke data, voor de invoergegevens uit deze studie zijn waterretentiekarakteristieken gebruikt uit Wösten et al. (1994) cf. Van den Bos et al., 2003. Afbraakconstanten voor de verschillende organische stof reservoirs zijn overgenomen uit literatuur (cf. Van Huissteden et al., 2006). Voor het CH₄ model zijn enkele parameters verkregen door calibratie, zoals de methaan productie factor R_0 en het percentage methaanoxidatie tijdens plantentransport (Van Huissteden et al., 2006; Petrescu et al., 2007).

Voor sommige beginvoorwaarden van het model (initiële organische stof gehalte van de verschillende reservoirs en initieel temperatuur profiel) zijn geen exacte gegevens beschikbaar. Hiervoor wordt een spin-up jaar aan de te simuleren tijdsperiode toegevoegd. Simulaties zijn uitgevoerd voor de jaren 2005-2007, met 2004 als spin-up jaar. Vervolgens zijn de berekende fluxen over die drie jaren gemiddeld. Data sets van dagelijkse temperatuur en neerslag van het weerstation op Groningen Airport verkregen van KNMI zijn gebruikt als invoer voor de klimaatgegevens van het model. (Figuur 8).



Figuur 8. Drie jaar metingen van temperatuur en neerslag van het weerstation Eelde (Groningen Airport), gebruikt als basis voor de modelsimulaties.

2.2.4.3 Grondwaterstanden

De exacte grondwaterstand is over het algemeen niet, of slechts puntsgewijs bekend voor de gesimuleerde gebieden. Hiervoor is eveneens een simulatiemodel gebruikt, gebaseerd op het Mixed Mire Water and Heat (MMWH) model van Granberg et al (1999). Dit model simuleert waterstandsgegevens in wetlands aan de hand van neerslag- en temperatuursgegevens. De hydrologie in dit model bestaat uit een eenvoudige 'bucket' benadering, die de verandering in watergehalte per oppervlakte-eenheid van een bodemlaag beschrijft. Het MMWH is oorspronkelijk ontwikkeld om de grondwaterstand in boreale venen te simuleren, en is gebaseerd op waterretentiekarakteristieken van de onverzadigde zone benaderd door de Van Genuchten (1980) functies. Deze zijn vereenvoudigd en geparametriseerd voor verschillende veentypen door Weiss et al. (1998). Een versie ontwikkeld door Yurova et al. (2007) is hier gebruikt.

De berekende potentiële evapotranspiratie in het MMWH model wordt gereduceerd wanneer de grondwaterstand beneden het bodemoppervlak ligt, deze reductie is exponentieel gerelateerd aan waterstand. De diepte van het permanent verzadigde niveau en fysische eigenschappen van de bodem zijn site-specifiek (Petrescu et al., 2008). De basisgegevens voor MMWH zijn gebaseerd op de grondwatertrappenkaart.

2.2.4.4 Metingen van CH₄ en CO₂ fluxen

In de periode van 16 mei tot en met 19 juli zijn gedurende drie dagen CH₄ en CO₂ fluxen gemeten in twee natuurterreinen (Visvliet en Ballooërveld) in het Drentsche Aa gebied op in totaal negen verschillende meetlocaties. De flux metingen zijn uitgevoerd met gesloten kamers, gekoppeld aan een INNOVA 1312 foto-akoestische multi-gas monitor. De vierkante kamers bestaan uit grijs PVC met een volume van 0.06-0.09 m³, en een oppervlak van 0.2 m². Meettijd was 8 minuten per meting, met concentratiemetingen van de atmosfeer in de kamers iedere twee minuten.



Figuur 9. Visvliet met locaties van de meetsites voor de flux metingen van CH₄, CO₂ en N₂O (Bron: Google Earth).

Visvliet ligt ca 6 km ten oosten van Assen (53° 1' 20" N, 6°37'56"E en in RD-coördinaten X: 238590 en Y: 560190), dicht bij het dorp Loon (Figuur 9). Het terrein wordt beheerd door Staatsbosbeheer en is een beekdal met veenbodem en ruimtelijk sterk wisselende grondwaterstand. In delen van het terrein treedt kwel op. De eerste drie meetlocaties in dit gebied zijn gelegen aan de oostzijde en nabij de beek op de beekdalhelling en dichtbij de oeverwallen, en zijn dientengevolge relatief droog. De vegetatie wordt gedomineerd door *Holcus mollis* (Witbol), *Mentha aquatica* (Watermunt), *Juncus sp.* (Rus) en *Caltha palustris* (Dotter). De aanwezigheid van Dotter wijst op periodiek natte condities. De andere vier locaties liggen aan de westzijde en hebben een hogere grondwaterstand, tijdens de meetperiode gedeeltelijk boven het oppervlak. IJzerrijk water ter plekke duidt op kwel. De vegetatie bestaat uit Riet, *Caltha* (Dotter), zeggesoorten, en mossen. Metingen op deze locaties zijn verricht op 16 mei, 3 en 19 juni 2008.

Tabel 4. Bodem- en vegetatiekarakteristieken van meetsites in het Visvliet terrein. Waterstand (WT) is het gemiddelde van de metingen

Site	Klassificatie	Vegetatie	WT (cm – mv.)	Bodem
1	Droog	<i>Holcus, Mentha</i>	>25	25cm veen op zand
2	Matig nat	<i>Juncus, Caltha, Mentha</i>	0	Veen
3	Droog	<i>Holcus</i>	>25	Zandig veen (oeverwal beek)
4	Matig nat	<i>Caltha, Carex</i>	17	Veen, vrij slap
5	Nat	<i>Caltha, Phragmites,</i>	0	Veen, slap, kwel
6	Nat	<i>Phragmites,</i>	4 + mv.	Veen, zeer slap, kwel
7	Nat	<i>Phragmites, Carex, Filipendula</i>	2	Veen, slap

Het Ballooërveld ligt 7 km ten oosten van Assen, 1 km ten oosten van de Visvliet site (Figuur 10, Tabel 5, 53° 1' 31" N, 6°38'49"E en in RD-coördinaten X: 239530 en Y: 560550). Het is een oligotrofe site met moerige bodems. De vegetatie bestaat uit *Molinia caerulea* (Pijpestrootje), *Erica tetralix* (Dopheide), *Calluna vulgaris* (Struikheide), *Eriophorum sp.* (Veenpluis), en slenken met *Sphagnum sp.* (Veenmos). Metingen zijn verricht op twee locaties, in een laagte met *Molinia* en in een poel met *Sphagnum*.

Tabel 5. Bodem- en vegetatiekarakteristieken van meetsites in het Ballooërveld terrein. Waterstand (WT) is het gemiddelde van de metingen.

Site	Klassificatie	Vegetatie	WT (cm – mv.)	Bodem
1	Nat	<i>Molinia</i> horsten, <i>Erica,</i> <i>Eriophorum, Calluna</i>	7 + mv.	Moerig op zand, stevig
2	Nat	Water met ondergedoken <i>Sphagnum</i>	0	Moerig op zand, stevig, poel



Figuur 10. Ballooërveld met locaties van de meetsites voor de fluxmetingen van CH_4 , CO_2 en N_2O (Bron: Google Earth).

2.2.4.5 Benodigde data voor PEATLAND

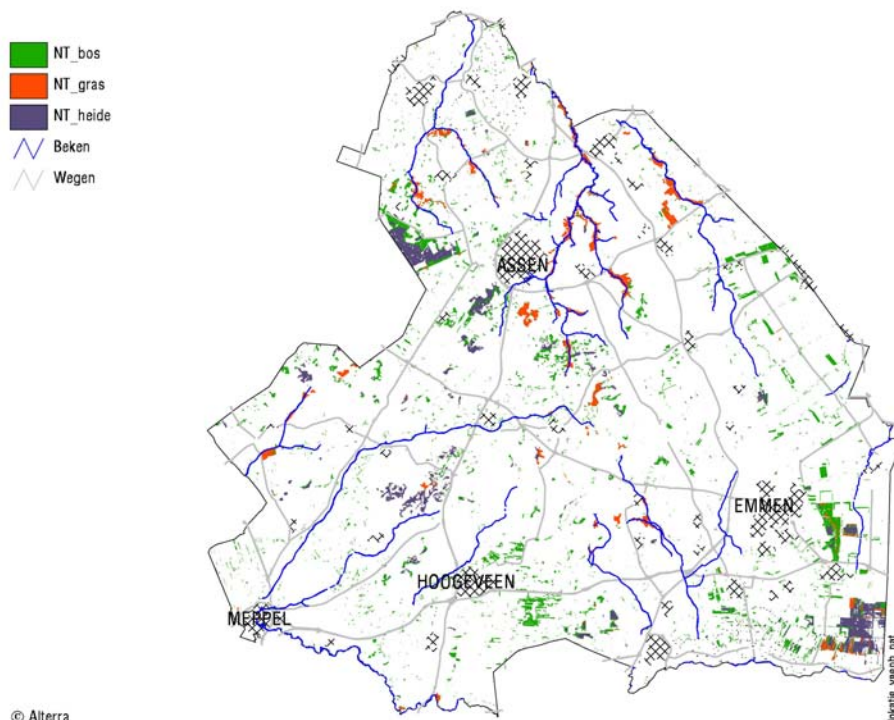
Voor de opschaling van het PEATLAND model zijn GIS-gegevens nodig over de ligging van:

- Natuurtypen; Hiervoor is gebruik gemaakt van de gegevens uit het GIS-bestand “*Bodemgebruik*”, dat gebaseerd is op gegevens van de top10 vector kaart en LGN5 (zie 2.3.1)
- Veenbodems; Hiervoor is gebruik gemaakt van het bestand “*Veenbodems*”, afgeleid van de bodemkaart (zie 2.3.2). De legenda van de bodemkaart is wat veendikte betreft geclassificeerd in een aantal categorieën. De onderscheiden veentypen zijn oligotroof (Sphagnum) veen, mesotroof veen en eutroof (broekbos) veen. In deze studie zijn de klassen mesotroof en eutroof veen bij elkaar gevoegd, omdat deze met betrekking tot relevante modelparameters (C/N ratio, dichtheid, organische stof gehalte) niet sterk verschillen en het areaal met eutroof veen zeer beperkt is. Deze gecombineerde groep wordt verder in dit rapport aangegeven met mesotroof. Voor de veendikte zijn twee klassen onderscheiden: moerige bodems met 10-40 cm veendikte en veenbodems met een veendikte >40 cm. Bodems die door oxidatie van veen recent veranderd zijn geclassificeerd als respectievelijk 'Ex-veen' en 'Ex-moerige' bodems. De laatste klasse bestaat nu voor ca. de helft van de oppervlakte uit minerale bodems (Tabel 6)

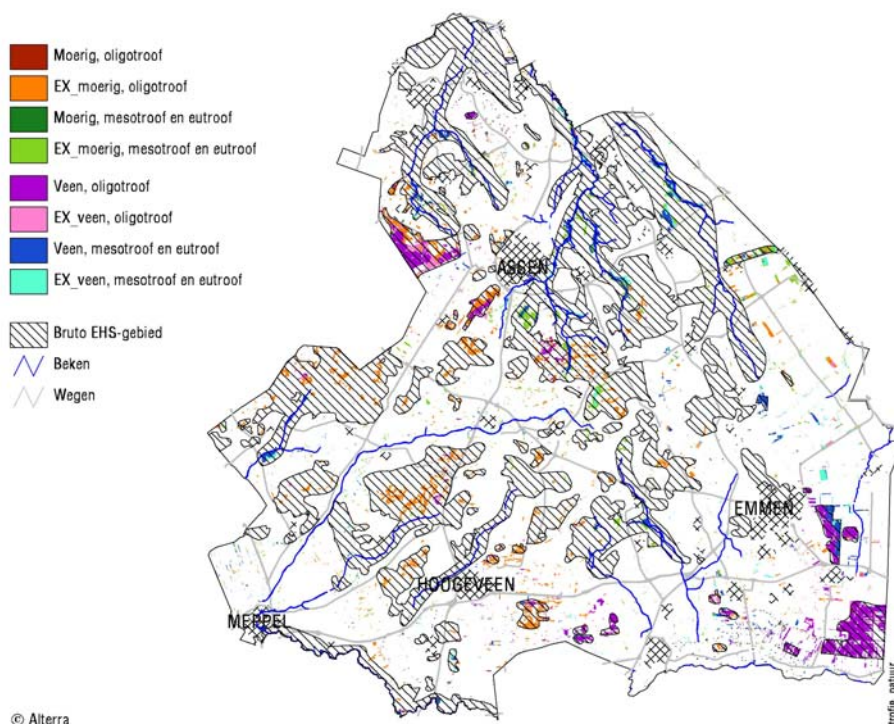
Figuur 11 toont de verschillende natuurtypen die bij de veengronden en moerige gronden voorkomen. Met name in de noordelijke beekdalen komen extensief beheerde graslanden voor. Figuur 12 toont de ligging van de verschillende bodemklassen voor de gebieden met natuur op veenbodems.

Tabel 6. Bodemkarakteristieken van de verschillende bodemklassen, zoals gebruikt voor de modelsimulaties.

Hoofdtype	Trofiegraad	Veendikte (cm)	Oppervlakte Natuur	pH veen	C/N veen
Ex_moerig	Mesotroof	Deels 0 en deels 0 - 40	1581	4.8 (4.5 – 5.2)	23
Ex_moerig	Oligotroof	Deels 0 en deels 0 - 40	4309	3.6 (3.2 – 4.2)	35
Ex_veen	Mesotroof	10 – 40	916	4.8 (4.5 – 5.2)	23
Ex_veen	Oligotroof	10 – 40	727	3.6 (3.2 – 4.2)	35
Moerig	Mesotroof	10 – 40	22	4.8 (4.5 – 5.2)	23
Moerig	Oligotroof	10 – 40	72	3.6 (3.2 – 4.2)	35
Veen	Mesotroof	> 40	2445	5 (4.5 – 5.2)	20
Veen	Oligotroof	> 40	3504	3.5 (3.2 – 4.2)	35
Mineraal	nvt	0 cm, Zandgronden			



Figuur 11. Kaart met verschillende natuurtypen in gebieden met veengronden en moerige gronden



Figuur 12. Onderverdeling van de veengronden en moerige gronden binnen de natuurgebieden.

De grondwatertrappenkaart geeft informatie over de positie van de grondwaterspiegel. In de grondwatertrappen (Gt) is informatie samengevoegd over de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). Uit het onderzoek van Van den Akker (2005) en De Vries et al. (2008) blijkt dat de zomergrondwaterstand een sterke invloed heeft op de oxidatie van veen. Hoe dieper het grondwater, hoe meer oxidatie. De GLG is een goede indicator voor de zomergrondwaterstand. Uit de grondwatertrappenkaart zijn de basisgegevens voor de simulatie van de grondwaterstanden met het MMWH model afgeleid, door de gemiddelde grondwaterstand voor ieder bodemtype te berekenen voor alle bruto-EHS gebieden. Een meer exacte benadering is voor deze studie ongewenst geacht, omdat dit een zeer groot aantal modelsimulaties met verschillende combinaties van bodem, landgebruik en grondwatertrap zou opleveren, met relatief geringe onderlinge verschillen in grondwaterstanden. Bovendien is de grondwatertrappen informatie gedateerd (gebaseerd op de bodemkaarten van voor 1990), en hoeft door beheersmaatregelen niet meer overeen te komen met de huidige situatie. Dit betreft doorgaans veranderingen in langbouwgebieden en grondwatertrappen met dieper waterstanden. De effecten van deze onzekerheid op de modelresultaten worden gering geacht, de ervaringen uit eerdere metingen en modelberekeningen met PEATLAND leert dat waterstandsveranderingen beneden 20 cm beneden maaiveld geen grote effecten hebben op de resultaten (Van den Bos et al., 2003).

Voor het natuurbeleid in de provincie Drenthe is de Ecologische Hoofd Structuur (EHS) richtinggevend. De begrenzing van de EHS kaart geeft zowel bestaande

gebieden aan als zoekgebieden voor toekomstige natuurontwikkeling. Kaartgegevens van de ligging van de EHS-gebieden zijn eveneens gebruikt.

2.3 GIS-bestanden voor gebiedsindeling

2.3.1 Bodemgebruik

Voor de nationale berekeningen van de CO₂ emissies uit veenbodems met landbouw wordt uitgegaan van het grondgebruik op de topografische kaart ((Kuikman, et al., 2005). Daarom is voor de berekeningen in Drenthe gebruik gemaakt van de gegevens uit het GIS-bestand van de top10 vector kaart. De landgebruiksklassen van deze kaart zijn samengevoegd tot relevante klassen (zie bijlage 3). Tabel 7 geeft een overzicht van de bodemgebruiksklassen. Omdat op de top10vector kaart grasland niet verder is onderverdeeld naar grasland voor landbouwkundig gebruik, recreatief gebruik of grasland met een zeer extensief gebruik in natuurgebieden, is deze klasse met behulp van gegevens uit het landgebruiksbestand LGN5 opgesplitst. Hierbij is nagegaan of binnen top10vector landbouwpercelen LGN natuurklassen voorkomen die met natuur of stedelijk gebied te maken hebben. Indien de oppervlakte van deze LGN-klassen meer dan 50% van de oppervlakte beslaat is het top10vector perceel ingedeeld bij de klassen NT_gras of Overig (stedelijk gebied).

Tabel 7. Overzicht van de bodemgebruiksklassen.

Code	Omschrijving	Bron	Oppervlakte (ha)
LB_landbouw	Landbouwgronden	Top10vector	175.375
NT_bos	Bos	Top10vector	35.900
NT_heide	Heide	Top10vector	9.850
NT_gras	Gras met natuurfunctie (veelal voormalige landbouwgronden)	LGN5	5.250
Overig	Overig gebruik, zoals stedelijk gebied, erf, enz.	Top10vector en LGN5	24.130
Water	Water	Top10vector	5.300
Infra	Infrastructuur, wegen, dijken, spoor, enz.	Top10vector	12.250
Totaal			268.100

2.3.2 Veenbodems

De gebiedsdekkende informatie over de bodemopbouw van Drenthe, schaal 1 : 50 000, dateert van voor 1990. In 2006 is deze bodemkaart voor een aantal gebieden met een totale oppervlakte van ca 40 000 ha aangevuld met gedetailleerde patrooninformatie schaal 1 : 10 000 en 1 : 25 000. In de periode 2003 – 2004 is bij gebieden met veengronden nagegaan of er nog veengronden voorkomen. (De Vries et al., 2008). Door oxidatie van organisch materiaal zijn op veel plaatsen de moerige horizonten en veenlagen dunner geworden. Hierdoor zijn bodems die in 1990 nog als veenbodem geclassificeerd werden nu veranderd in moerige bodems, of als de organische horizonten geheel verdwenen zijn, in minerale zandbodems. Bij ca. 42% van de oorspronkelijke oppervlakte veengronden zijn dit soort veranderingen opgetreden. Tijdens de veenkartering 2003 - 2004 is alleen nagegaan of er nog veen

aanwezig was; veranderde bodems zijn niet opnieuw geclassificeerd. Het verlies van veendikte bij ontwaterde veengronden bedraagt gemiddeld ca 1 cm per jaar. (De Vries et al., 2008). In een aanvullend onderzoek dat in het kader van dit project is uitgevoerd blijkt dat bij de moerige gronden bij een oppervlakte van 50 tot 60% nu zandgronden voorkomen en bij de gedeformeerde veengronden is dit bedraagt dit percentage 40 – 53% (Bijlage 2 geeft meer informatie over dit aanvullende onderzoek).

De legenda van de bodemkaart is wat veendikte betreft geclassificeerd in een aantal categorieën. De onderscheiden veentypen zijn oligotroof (Sphagnum) veen, mesotroof veen en eutroof (broekbos) veen. In deze studie zijn de klassen mesotroof en eutroof veen bij elkaar gevoegd, omdat deze met betrekking tot relevante modelparameters (C/N ratio, dichtheid, organische stof gehalte) niet sterk verschillen. Voor de veendikte zijn twee klassen onderscheiden: moerige bodems met 10-40 cm veendikte en veenbodems met een veendikte >40 cm. Bodems die door oxidatie van veen recent veranderd zijn geclassificeerd als respectievelijk 'Ex-veen' en 'Ex-moerige' bodems. De laatste klasse bestaat nu voor ca. de helft van de oppervlakte uit minerale bodems. Bij de Ex_veengronden wordt geschat dat ca. 25% van de oppervlakte nu mineraal is. Tabel 8 geeft een overzicht van de onderscheiden hoofdtypen met veenbodems. Omdat de eutrofe gronden slechts een kleine oppervlakte beslaan zijn deze in de emissieberekeningen samengevoegd met de mesotrofe gronden.

Tabel 8. Overzicht van verschillende bodemklassen binnen de veenbodems

Hoofdtype	Trofiegraad	Veendikte (cm)	% van de oppervlakte waar nog veenlagen voorkomen (zie bijlage 2)	Oppervlakte (ha)
Ex_moerig	Mesotroof	Deels 0 en deels 0 - 40	45	19379
Ex_moerig	Oligotroof	Deels 0 en deels 0 - 40	45	29384
Ex_veen	Mesotroof	Deels 0 en deels 10 – 40	55	12418
Ex_veen	Oligotroof	Deels 0 en deels 10 – 40	55	6577
Moerig	Mesotroof	10 - 40	100	1602
Moerig	Oligotroof	10 – 40	100	3139
Veen	Mesotroof	> 40	100	23652
Veen	Oligotroof	> 40	100	9100
Mineraal	nvt	0 cm, Zandgronden	0	

3 Resultaten

3.1 Veenbodems

3.1.1 CO₂ emissie veenbodems

Zoals aangegeven in paragraaf 2.2.1 is de CO₂ emissie van de veen- en moerige gronden berekend met behulp van de veendiktekaart van Drenthe (de Vries en Brouwer, 2006). De gebruikte basisinformatie voor deze kaart is afkomstig uit verschillende bronnen en is daardoor ook van verschillende ouderdom. In het toegepaste model wordt naast de CO₂-emissie ook een jaarlijkse afname van de veendikte berekend. De gegevens over de veendikte zijn ingedeeld in twee ouderdomsklassen: informatie opgenomen in of voor 1985 en recente informatie van rond 2000. Bij de recente gegevens gaat het om de veendiktes in gebieden met detailkaarten. Omdat de CO₂ emissie mede afhangt van de veendikte zijn eerst de afnamen van de veendiktes berekend in de reeks van jaren vanaf respectievelijk 1985 en 2000. Vervolgens zijn gecorrigeerde veendiktes gebruikt om de CO₂ emissies te berekenen. Moerige gronden waarbij blijkt dat de resterende veendikte al voor 2008 dunner word dan 5 cm of waarbij het organisch stofgehalte beneden de 20% zakt, zijn verder aangemerkt als minerale grond en zijn bij de berekening buiten beschouwing gelaten. In het model is de emissie bij dikke veengronden door de jaren heen constant, totdat op een zeker moment de dikte van de veenlaag zodanig is afgenomen dat er minder veen wordt blootgesteld aan zuurstof en de maaiveldddaling en de CO₂-emissie begint af te nemen. Het blijkt dat veengronden die in 1985 dunner waren dan 102 cm of die in 2000 dunner waren dan 77 cm, in 2008 zo dun zijn dat de CO₂ emissie begint af te nemen. De veengronden in landbouwkundig gebruik in Drenthe zijn bijna allemaal zo goed ontwaterd dat de grondwaterstand geen belemmerende factor vormt voor de afbraak van veen en daarmee de emissie. De resultaten van de berekeningen staan in Tabel 9.

Tabel 9. Berekende jaarlijkse CO₂ emissie van de Drentse veen- en moerige gronden met een landbouwkundig gebruik.

Hoofdtype	Trofiegraad	Opper -vlakte (ha)	Oppervlakte - fractie met veenlagen	Gem. veendikte (cm)	Gem. emissie (ton CO ₂ ha ⁻¹ jaar ⁻¹)	Emissie moerige gronden (kton CO ₂ jaar ⁻¹)	Emissie veen- gronden (kton CO ₂ jaar ⁻¹)	Totale emissie (kton CO ₂ jaar ⁻¹)
EX_moerig	Mesotroof	16.075	0.45	19	13,2	96		96
EX_moerig	Oligotroof	21.480	0.45	20	12,6	122		122
EX_veen	Mesotroof	9.759	0.55	31	22.6	121		121
EX_veen	Oligotroof	4.591	0.55	30	18.5	47		47
Moerig	Mesotroof	1.533	1	31	22.6	35		35
Moerig	Oligotroof	2.911	1	31	18.7	54		54
Veen	Mesotroof	19.704	1	83	39.4		775	775
Veen	Oligotroof	4.759	1	83	29.4		140	140
Totaal		80.812				475	915	1390

Bij dikke eutrofe en mesotrofe veengronden is de CO₂ emissie berekend op 39.4 ton CO₂ per hectare per jaar en bij de dikke oligotrofe veengronden is dit 29.4 ton CO₂ per hectare per jaar. Bij de EX_moerige en EX_veengronden gronden komt, zo blijkt uit aanvullend onderzoek, slechts bij een deel van de oppervlakte nog een oppervlakkige veenlaag voor (zie bijlage 2). Bij de EX_moerige gronden geldt dit voor 45% van de oppervlakte en bij de EX_veengronden bij 55%. Voor het berekenen van de totale emissie is de hoeveelheid CO₂ met dit percentage gecorrigeerd. Dat wil zeggen dat bij de EX_moerige gronden de emissie van 45% van de oppervlakte meetelt. Bij een vergelijking van emissie van de moerig gronden en de EX_moerige gronden is de invloed van de veendikte te zien. Bij een veendikte van 30 cm bedraagt de emissie ca. 18 ton en bij een veendikte van 19 cm is deze ca. 13 ton CO₂.

Wanneer de dikte van de veenlaag bij moerige gronden zodanig afneemt dat deze dunner wordt dan 5 cm, stopt de berekening, omdat het dan volgens de bodemclassificatie geen moerige gronden meer zijn, maar minerale gronden. Dit is nogal een kunstmatige reden, maar daarnaast moet worden bedacht dat in de akkerbouw tot minstens 20 cm diepte wordt geploegd en op zandgronden zelfs tot 30 - 35 cm diepte. Ook grasland wordt geregeld vernieuwd, waarbij de grond wordt bewerkt en een groot deel van het grasland wordt geregeld gebruikt voor de teelt van snijmaïs. Op deze wijze worden de wat dunnere moerige gronden versneld omgezet in een minerale grond. Als in het model wordt aangegeven dat een laag van 10 - 15 cm als mineraal moet worden beschouwd omdat deze is omgezet, dan verdwijnt vrijwel de hele bijdrage aan CO₂ emissie van de categorie Ex-moerig uit Tabel 9. Wel moet worden bedacht dat het veen dat in de bouwvoor terecht komt doorgaat met verteren en CO₂ produceren.

Voor het IPCC wordt de emissie van veengronden gerapporteerd en de emissie van moerige gronden niet. De totale CO₂ emissie van de 223.000 ha veengronden in Nederland met landbouwkundig gebruik is berekend door Kuikman et al. (2005) en bedraagt 4.246 kton CO₂ per jaar. Per hectare veengrond is dit gemiddeld 19,0 ton CO₂ per jaar. Uit Tabel 9 blijkt dat de bijdrage van Drenthe afgerond 915 kton CO₂ per jaar is, wat overeenkomt met 22% van de landelijke CO₂ emissie uit veengronden in landbouwkundig gebruik. Per hectare is de emissie in Drenthe duidelijk hoger dan landelijk. Dit komt omdat de drooglegging van veengronden in Drenthe veel dieper is dan gemiddeld in de rest van Nederland.

3.1.2 N₂O emissie door de mineralisatie van veenbodems

Bij de berekening van N₂O emissie wordt de aanpak gevolgd van Kuikman et al. (2005). Daarbij wordt met de C/N ratio de hoeveelheden gemineraliseerde N berekend uit de hoeveelheden gemineraliseerde C. Door Kuikman et al. (2005) wordt een emissiefactor van 2% (Kroeze, 1994) gebruikt om de hoeveelheid N te berekenen die bij veengronden wordt omgezet in N₂O. De C/N is voor eutroof veen 16, voor mesotroof veen 20 en voor oligotroof veen 35. Omdat het oppervlakte eutroof veen zeer veel kleiner is dan het oppervlakte mesotroof veen, worden

eutroof en mesotroof veen bij elkaar genomen. Uit de berekeningen volgt dan de N₂O emissies door de afbraak van veen in Drenthe (zie Tabel 10).

Tabel 10. Berekende N₂O emissie van Drenthe in 2008 bij veengronden. Van de gemineraliseerde N wordt 2% omgezet in N₂O (Kroeze, 1994). In de laatste kolom zijn de N₂O emissies omgezet in CO₂ emissies

Trofgraad	Oppervlakte (ha)	C/N	C (kton/jr)	CO ₂ (kton/jr)	N (ton/jr)	N ₂ O-N (ton/jr)	N ₂ O (ton/jr)	CO ₂ -eq (kton/jr)
Mesotroof	19.704	20	212	776	10.576	212	332	99
Oligotroof	4.759	35	38	139	1.089	22	34	10
Totaal	25.141		250	915	11.665	233	366	109

3.2 Landbouw

3.2.1 N₂O emissie

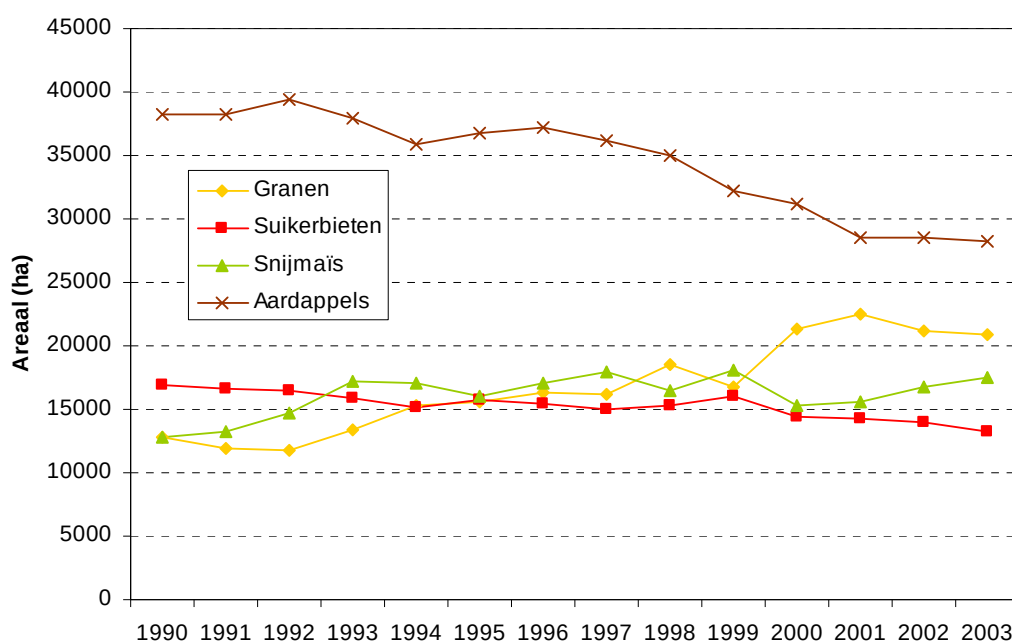
De emissie van N₂O uit de landbouw is in de periode sinds 1990 sterk afgenomen in Drenthe en in Nederland (Tabel 11). Voor Drenthe is deze afname 17,4%-23,1% en voor Nederland 21,6%-29,0%, afhankelijk van de berekeningsmethode. Deze afname is voornamelijk bereikt door een afname in de dierlijke mestgift, begrazing en kunstmest en door een afname van de indirecte emissies door uit- en afspoeling van stikstof. De emissies zoals berekend met INITIATOR2 zijn over het algemeen hoger dan volgens de IPCC-NL methode. Deze verschillen zijn deels te verklaren door de verschillende input data, INITIATOR2 gebruikt bedrijfsgegevens terwijl IPCC-NL gebruikt maakt van geaggregeerde statistieken en standaard emissiefactoren gebruikt. Vooral de N₂O emissies uit kunstmest en door mineralisatie van veengronden zijn hoger volgens de INITIATOR2 methode.

Tabel 11. N₂O emissies (kton N₂O-N per jaar) in Drenthe en Nederland voor 1990 en 2006

Bron	Drenthe				Nederland			
	IPCC-NL		INITIATOR2		IPCC-NL		INITIATOR2	
	1990	2006	1990	2006	1990	2006	1990	2006
Mestopslag	0,09	0,11	0,07	0,08	1,8	1,6	1,7	1,7
Dierlijke mestgift	0,23	0,19	0,36	0,25	3,9	3,0	6,6	4,1
Begrazing	0,12	0,08	0,18	0,10	2,0	1,2	2,5	1,3
Kunstmest	0,32	0,26	0,53	0,37	4,2	3,4	7,1	4,8
Fixatie	0,01	0,01	0,02	0,02	0,2	0,2	0,3	0,3
Depositie	0,07	0,06	0,09	0,08	1,4	1,1	1,3	1,0
Gewasresten	0,05	0,05	-	-	0,5	0,5	-	-
Mineralisatie veengronden	0,15	0,15	0,41	0,39	1,5	1,5	2,7	2,6
Uit- en afspoeling	0,32	0,23	0,29	0,21	3,2	2,1	3,4	2,3
<i>Totaal</i>	<i>1,38</i>	<i>1,14</i>	<i>1,95</i>	<i>1,50</i>	<i>18,5</i>	<i>14,5</i>	<i>25,5</i>	<i>18,1</i>

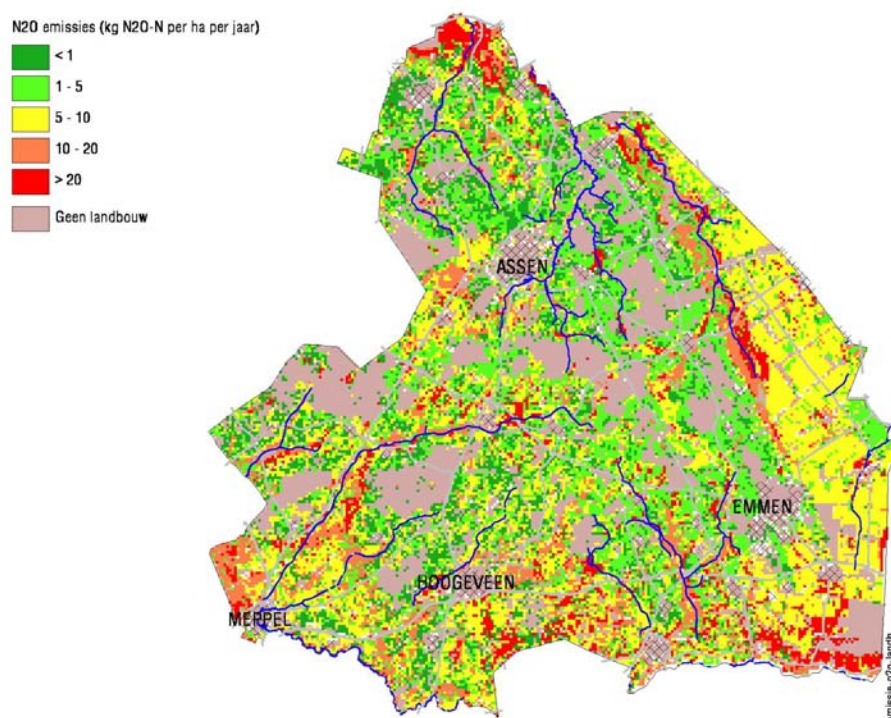
De emissies van N₂O uit de landbouw zijn in Drenthe relatief hoog. Het oppervlak van de provincie Drenthe is 6,5% van Nederland maar de N₂O emissie uit de landbouw bedraagt 7,9% tot 8,3% van de totale N₂O emissies in Nederland, afhankelijk van de berekeningsmethode. Een van de oorzaken voor de relatief hoge N₂O emissie is het areaal veengronden in de landbouw. De emissie door mineralisatie van deze veengronden bedraagt volgens de INITIATOR2 methode zelfs 26% van de

totale N₂O emissie in 2006. Een andere oorzaak is het grotere areaal akkerbouw (8,4%) met de bijbehorende bemesting. In Drenthe worden vooral veel aardappels (18,1%), suikerbieten (12,7%) en granen (9,5%) verbouwd. Het areaal aardappels is echter sterk afgenomen de afgelopen jaren, terwijl het areaal granen is toegenomen (Figuur 13). Dit heeft ook geleid tot lagere N₂O emissies, aangezien de stikstofgift voor aardappels veel hoger is dan voor granen. Het bemestingsadvies voor aardappels is 250 kg N ha⁻¹ met een gemiddeld N-overschot van 109 kg N ha⁻¹, terwijl voor granen het gemiddelde advies is 130 kg N ha⁻¹ met een gemiddeld N-overschot van 34 kg N ha⁻¹ (Velthof et al., 2000). Het gebruik van kunstmest is drastisch gedaald in Nederland van 412 miljoen kg in 1990 tot 279 miljoen kg in 2005 (CBS Statline). Er zijn echter geen kunstmestgegevens per provincie beschikbaar.



Figuur 13. Ontwikkeling van gewasarealen in de provincie Drenthe

Figuur 14 laat de ruimtelijke verdeling van de N₂O emissie door de landbouw zien. De hoogste emissies zijn gerelateerd aan de ligging van veengronden. Daarnaast ontstaat er lachgas bij de mestopslag en de mineralisatie van (kunst-)mest en gewas en wortelresten. Door mineralisatie van veen zoals in het uiterste noorden rond het Peizerdiep zijn de emissies hoog met waarden van meer dan 20 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹. In de Veenkoloniën is de N₂O emissie tussen de 5 en 10 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹. Op het Drents plateau, waar het organische stofgehalte in de bouwvoor lager is dan in de veenkoloniale gronden, is de emissie minder dan 5 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹.



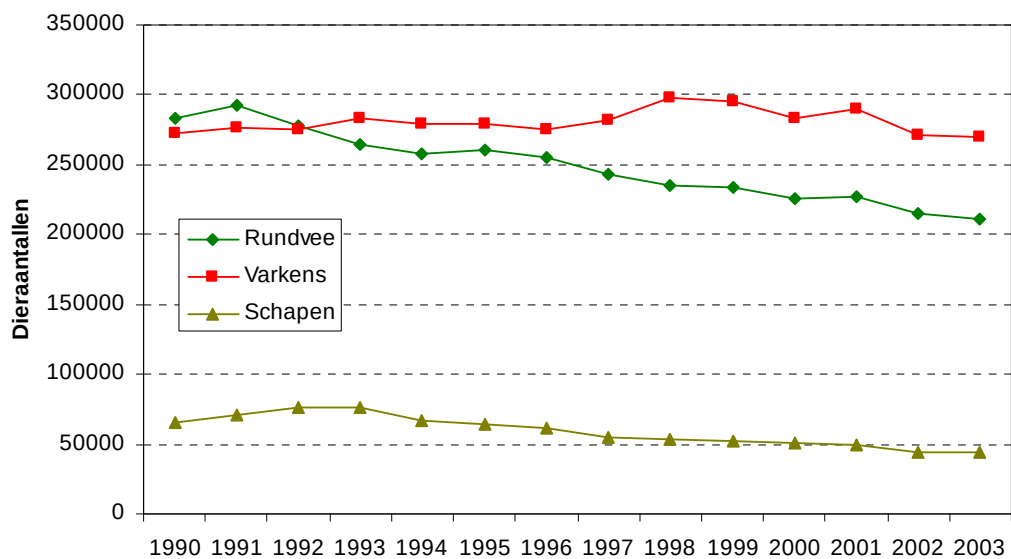
Figuur 14. N₂O emissie vanuit de landbouw voor Drenthe in 2006, uitgedrukt in kg N₂O-N per ha per jaar op basis van de bronnen fermentatie, mestopslag en bodem, inclusief mineralisatie veen.

3.2.2 CH₄ emissie

De emissie van CH₄ uit de landbouw in Drenthe is de afgelopen jaren flink gedaald, van 28,2 kton CH₄ in 1990 tot 21,0 kton CH₄ in 2006 (Tabel 12). Deze afname van 25% werd grotendeels bereikt door een afname van de rundveestapel. In de periode 1990 tot 2003 nam het aantal koeien af met 25% (Figuur 15). Aangezien voornamelijk koeien verantwoordelijk zijn voor de emissie van CH₄ is deze afname daardoor goed te verklaren. De totale CH₄ emissie uit de landbouw voor Drenthe bedraagt 5,8% van de totale Nederlandse emissie uit de landbouw. Dit percentage komt overeen met het areaal grasland (6,0%), het aantal rundvee (6,3%) en het aantal schapen en geiten (4,4%).

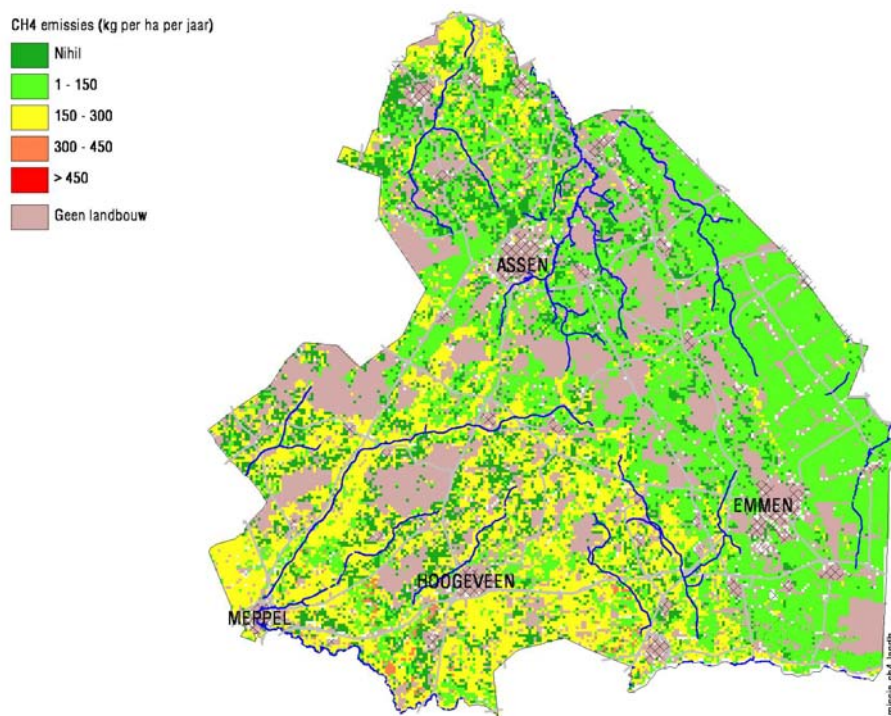
Tabel 12. CH₄ emissies (in kton CH₄ per jaar) in Drenthe en Nederland voor 1990, 2000 en 2006

Bron	Drenthe			Nederland		
	1990	2000	2006	1990	2000	2006
Fermentatie	22	18,3	16,9	358,5	297,5	274,8
Mestopslag	6,3	5,6	4,2	131,8	116,6	89,0
Bodem	-0,1	-0,1	-0,1	-1,4	-1,4	-1,4
Totaal	28,2	23,7	21,0	488,9	412,6	362,3



Figuur 15. Ontwikkeling van de veestapel in Drenthe

Het meeste methaan uit de landbouw wordt geproduceerd in het zuidwesten van de provincie en in de kop van Drenthe, waar voornamelijk rundveehouderijen voorkomen (Figuur 16). In het oosten van Drenthe is de emissie van CH₄ juist erg laag, aangezien daar voornamelijk akkerbouwbedrijven zitten.

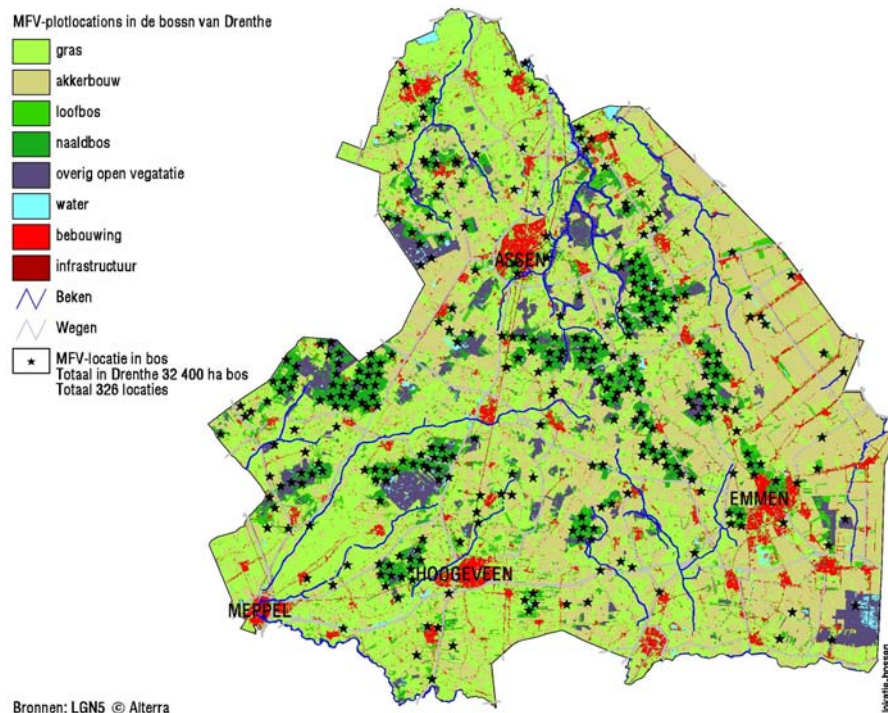


Figuur 16. CH₄ emissie vanuit de landbouw voor Drenthe in 2006 (bronnen: fermentatie, mestopslag, en bodem)

3.3 Bos

3.3.1 Koolstofbalans

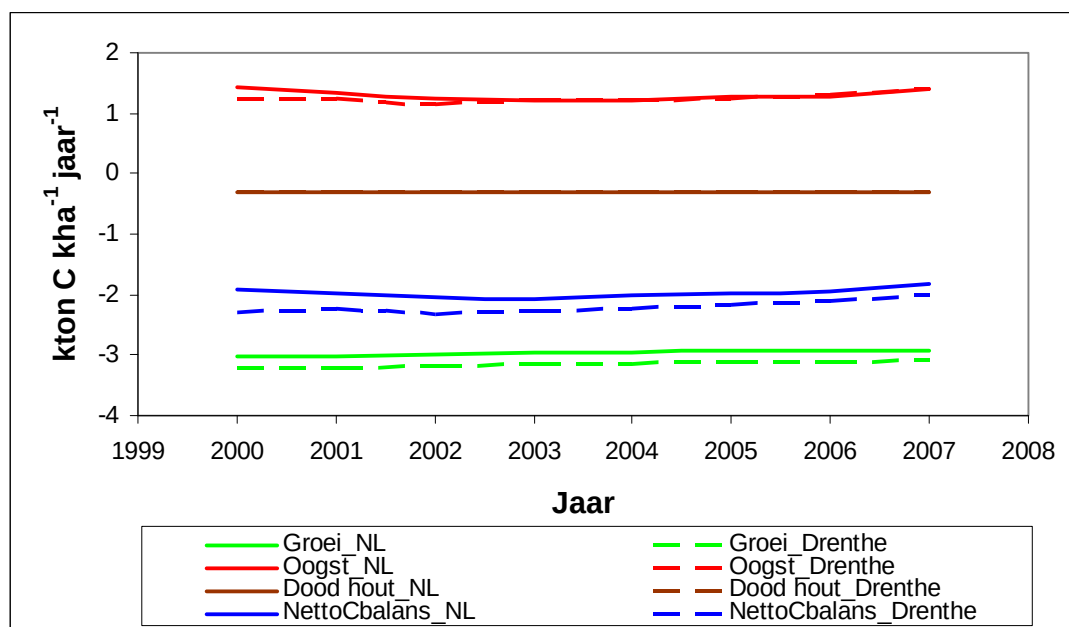
Van de 3622 MFV plots in Nederland liggen 326 plots (i.e. 9%) binnen Drenthe (Figuur 17), bepaald op basis van de bijbehorende coördinaten. Van deze 326 plots zijn er 27 plots die geen data hebben wat betreft boomsoort (en andere variabelen) en een plot dat boomsoort “geen” heeft. Verder zijn er een aantal plots voor welke wel een boomsoort gegeven is, maar geen gegevens over volume of groei. Daarnaast zijn er plots waarvan wel gegevens over volume of groei gegeven zijn, maar die een zodanige ongelijke structuur hebben (aangegeven door een groot verschil tussen gemiddelde en middendiameter), dat het gebruik van de alomterische vergelijkingen niet gerechtvaardigd is (deze plots maken gebruik van de gemiddelde biomassa expansie factoren berekend uit de andere plots). In totaal voldoen 69 plots niet aan de criteria voor de gedetailleerde berekening van de koolstofbalans. Met 21% is dit iets lager dan het landelijk percentage plots dat niet rechtstreeks berekend kan worden (26%).



Figuur 17. Ligging van de MFV-plots in de provincie Drenthe

Gebaseerd op de plots waarvoor voldoende goede data beschikbaar zijn, blijkt de gemiddelde bijgroei per hectare in Drenthe iets hoger te liggen dan in heel Nederland, wat resulteert in een hogere opname van koolstof in levende biomassa per hectare (Figuur 18). De verdeling van de oogst over de verschillende plots in Nederland leidt tot een iets lagere gemiddelde oogst in Drenthe dan in het hele land. Voor de oogst wordt niet uitgegaan van de werkelijk geoogste hoeveelheid hout,

maar van een schatting op basis van ouderdom (leeftijd > 110 jaar) en volume hout (300 m³). Deze verdeling is echter bijzonder onzeker, wat de schatting van de totale en gemiddelde oogst voor Drenthe ook heel onzeker maakt. De hoeveelheid koolstof die per hectare vastgelegd wordt in dood hout is ongeveer gelijk voor Drenthe en heel Nederland (verschil is < 2%).



Figuur 18. Gemiddelde waarden (per 1000 ha) van de componenten van de koolstofbalans gebaseerd op de plots met beschikbare data in Nederland en in Drenthe. Positieve waarden vertegenwoordigen een uitstoot van koolstof en negatieve waarden geven vastlegging van koolstof aan.

Voor de nationale emissie wordt gecorrigeerd voor de plots met ontbrekende data. Als dezelfde methode toegepast wordt voor Drenthe, leidt dit tot de totalen zoals gegeven in Tabel 13.

Tabel 13. Koolstofbalans voor landgebruik Bos voor Nederland en Drenthe

	Groei (kton C)		Oogst (kton C)		Dood hout (kton C)		C balans (kton C)		C balans (kton CO ₂ -eq)	
	NL	Drenthe	NL	Drenthe	NL	Drenthe	NL	Drenthe	NL	Drenthe
2000	-1006	-103	470	39	-98	-9	-634	-73	-2327	-268
2001	-998	-102	443	40	-98	-9	-654	-71	-2400	-261
2002	-992	-101	411	36	-98	-9	-679	-74	-2492	-272
2003	-986	-100	400	38	-98	-9	-684	-72	-2510	-264
2004	-981	-100	407	39	-98	-10	-673	-71	-2470	-261
2005	-977	-99	418	40	-99	-10	-657	-69	-2411	-253
2006	-973	-99	423	41	-99	-10	-649	-68	-2382	-250
2007	-970	-99	465	45	-99	-10	-604	-64	-2217	-235

Er is geen landgebruikmatrix beschikbaar voor Drenthe, en het is dus niet mogelijk om de koolstofbalans voor veranderingen in landgebruik van en naar bos te berekenen. De emissiefactor voor ontbossing, gebaseerd op de werkelijke MFV opnamen (dus niet op vooruit berekende data), is 71,2 kton C kha⁻¹, wat

overeenkomt met de gemiddelde $72,0 \text{ kton C kha}^{-1}$ voor heel Nederland (dit komt niet overeen met de waarde in de nationale rapportage omdat dit laatste constant is gehouden vanaf 1990 en is gebaseerd op een andere, oudere dataset HOSP). De emissiefactor voor (her)bebossing is gesteld op de helft van de vastlegging van koolstof door groei van het totale bosbestand (Nabuurs et al., 2005; Van den Wyngaert et al., 2008) en is $-1,61 \text{ kton C kha}^{-1}$ voor Drenthe en $-1,51 \text{ kton C kha}^{-1}$ voor Nederland (waarde in CRF is wederom gebaseerd op gegevens van de HOSP dataset uit 1990-1992).

3.3.2 Discussie uitkomsten koolstofbalans bossen

In Drenthe ligt ongeveer 6,5% van het Nederlandse landoppervlak en ongeveer 9% van de plots van het Meetnet Functie Vervulling (Dirkse et al., 2007). In Dirkse et al (2007) komt dit overeen met 32.145 ha. Volgens onze gegevens, waarbij aan alle plots hetzelfde oppervlak van 99,4 ha is toegekend, komen de Drentse plots overeen met ruim 32.404 ha. De bijgroei in de Drentse MFV plots is hoger dan de gemiddelde bijgroei voor Nederland, wat leidt tot een gemiddeld hogere vastlegging van koolstof. De bossen in Drenthe vertegenwoordigen ruim 10% van de nationaal gerapporteerde koolstofvastlegging in Bos dat Bos blijft. De cijfers die hier gepresenteerd worden zijn gebaseerd op methoden zoals die gebruikt zijn voor de submitatie van 2008. Naar aanleiding van een review in 2007 worden deze op dit moment aangepast, wat invloed zal hebben op de cijfers voor de submitatie 2009. De verwachte aanpassingen hebben echter geen invloed op de bijgroei schattingen. Het is waarschijnlijk dat de absolute getallen hierdoor veranderen, zonder dat het relatieve aandeel van Drenthe in de Nederlandse emissies verandert wat betreft de koolstofbalans van de bomen (dood en levend) in het bos.

Deze koolstofbalans van de bomen (dood en levend) in het bos is op dit moment de enige emissie die berekend wordt voor bos dat bos blijft, dus opslag in of verlies uit de bodem wordt niet meegeteld. Dit zal in de nabije toekomst veranderen, en het is nog onduidelijk in hoeverre dat consequenties zal hebben voor het aandeel van de Drentse bossen in de totale Nederlandse rapportage.

Een onzekerheidsanalyse uitgevoerd voor heel Nederland toonde aan dat de uitkomsten het meest gevoelig zijn voor parameters die constant zijn voor de volledige dataset (i.e. fractie sterfte, koolstofgehalte van biomassa, totaal volume geoogst) of voor een soort als geheel. Onnauwkeurigheden of onzekerheden in plotdata hadden relatief weinig invloed op de nationale koolstofbalans voor bos blijft bos, de effecten waren 20 tot 100 keer zo klein (Van den Wyngaert et al., 2007). Aangezien voor Drenthe slechts met 9% van de (landelijke) plots wordt gerekend, zal het aandeel van de plotdata in de totale onzekerheid groter zijn. Echter, door de grote verschillen in onzekerheid is het zeer onwaarschijnlijk dat de plotdata meer invloed op de totale onzekerheid krijgen dan de modelparameters.

Voor de meeste modelparameters ligt het in de lijn der verwachting dat de bijdrage aan de totale onzekerheid (door modelparameters) niet erg afwijkt van de nationale

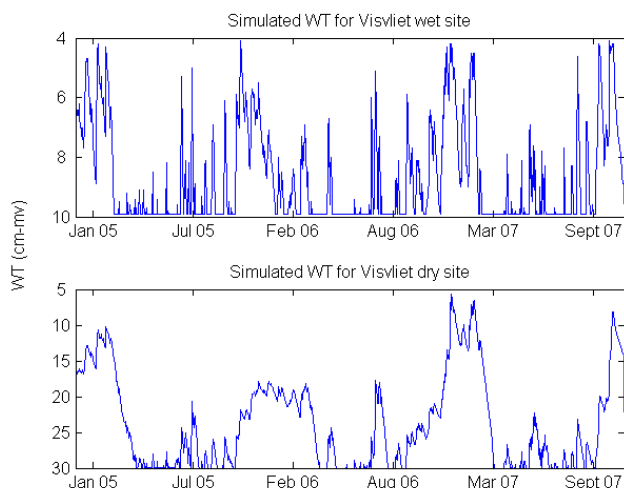
berekeningen. Een uitzondering hierop vormt de verdeling van oogst over de plots. Voor de nationale berekeningen wordt de oogst aan plots toegewezen om volume om te zetten in koolstof met behulp van plotspecifieke variabelen. Deze neerschaling wordt in dit rapport ook gebruikt om het aandeel van Drenthe in de nationale oogststatistiek te schatten. Een iets andere verdeling zal hierbij weinig effect hebben op nationaal niveau (het totaal blijft hetzelfde) maar een grote invloed op regionaal niveau. Dit is in overeenstemming met de grote gevoeligheid voor het totaal geoogst volume op nationaal niveau.

De emissie door landgebruiksveranderingen van en naar bos zijn in dit rapport niet meegenomen. Op nationaal niveau is een landgebruiksmatrix beschikbaar gebaseerd op de topografische kaarten (Nabuurs et al., 2005; Van den Wyngaert et al., 2008). De huidige landgebruiksmatrix is afgeleid uit een overlay tussen 1990 en 2000, maar heeft een grote onzekerheid. Een nieuw matrix wordt ontwikkeld (overlay 1990 – 2004, gebaseerd op topografische kaarten volgens de zelfde methode als HGN en Basiskaart Natuur, aangepast aan definities voor bos) en zal in de nabije toekomst klaar zijn. Om een goede schatting te maken van de veranderingen van en naar bos, moet een aparte overlay gemaakt worden voor Drenthe. Gezien de grote problemen met de vorige kaarten en het niet beschikbaar zijn van de nieuwe, is deze separate overlay niet gemaakt. De emissiefactor voor ontbossing is gelijk aan de nationale emissiefactor, de emissiefactor voor (her)bebossing is iets hoger (volgens de methoden van 2008), dus de balans zal daarom alleen al iets gunstiger zijn dan nationaal.

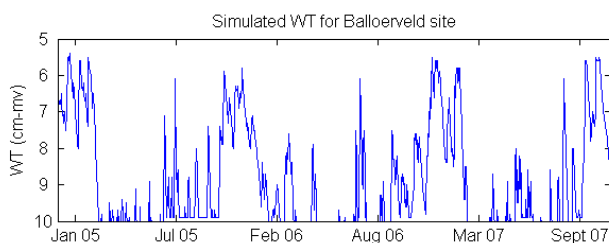
3.4 Natuur

3.4.1 Simulatie grondwaterstanden

Figuur 19 en 20 tonen de simulaties van de grondwaterspiegel welke als invoer zijn gebruikt voor het PEATLAND model. Als voorbeeld is de situatie op de meetsites genomen. Het MMWH model simuleert in het algemeen hoge waterstanden in de winter, en in de zomer geeft het model hogere waterstanden bij neerslagperiodes. Ook voor de drogere locaties in het Visvliet terrein komt de grondwaterspiegel in delen van het jaar dichtbij de oppervlakte. De gesimuleerde waterstanden zijn gebruikt als invoer voor het PEATLAND model.



Figuur 19. Simulatie van de grondwaterspiegel voor mesotrofe en eutrofe sites met hoge grondwaterstand (Visvliet nat) en lage grondwaterstand (Visvliet droog).



Figuur 20. Simulatie van de grondwaterspiegel voor oligotroof moerige sites met hoge grondwaterstanden (Ballooërveld)

3.4.2 Gemeten CO₂ en CH₄ fluxen

Tabel 14 toont gemeten waarden van CH₄ en CO₂ fluxen voor Visvliet en Ballooërveld. Sites met lage grondwaterstand hebben zeer lage CH₄ fluxen of zwak negatieve fluxen (opname uit de atmosfeer door methanotrofe bacteriën). De metingen zijn gedaan in een relatief droge periode. Daardoor waren in zowel Visvliet als Ballooërveld de grondwaterstanden relatief laag. Opvallend is dat in Visvliet de grondwaterstand zeer variabel is door het lokaal optreden van kwelplekken. Deze kwelplekken kunnen zeer hoge CH₄ fluxen geven (vgl. Horstermeer polder, Hendriks et al., 2007), maar deze fluxen zijn door de slappe ondergrond ook zeer moeilijk te meten. Door betreding en aanbrengen/verplaatsen van meetapparatuur kunnen gemakkelijk piekmissies van methaan optreden door ebullitie. Hetzelfde geldt voor de ondergedoken *Sphagnum* site op het Ballooërveld; mogelijk zijn ook hier de gemeten waarden aan de hoge kant door verstoring. Overigens kunnen de meetresultaten al tijdens de meting gecheckt worden op verstoring, deze resulteert namelijk in abnormaal hoge beginwaarden. In dergelijke gevallen is de meting overgedaan.

Tabel 14. Gemeten CH₄ en CO₂ fluxen (mg/m² hr⁻¹) en grondwaterstanden voor Visvliet en Ballooërveld

Site nr	1			2			3	4			5			6	7		
Datum	16 mei	3 juni	19 juni	16 mei	3 juni	19 juni	16 mei	16 mei	3 juni	19 juni	16 mei	3 juni	19 juni	16 mei	3 juni	mean	stdev
CH ₄																	
Visvliet nat				12.54	23.88	3.60	0.32				7.34	0.61	11.67	20.49	12.98	10.38	8.29
Visvliet droog	0.08	0.42	0.53					3.62	0.49	0.03						0.38	1.61
Ballooërveld		0.43	0.06		3.36	4.90										2.16	2.37
CO ₂																	
Visvliet nat																	
Visvliet droog		1406	1214						417	1104							
Waterstand (cm-mv.)																	
Visvliet nat				0	0	5					0	0	0	0	2		
Visvliet droog	>25	>25	>25				>25	30	17	>25							
Ballooërveld		7	3		0	0											

De fluxen in het Ballooërveld zijn relatief laag, ondanks grondwaterstand die vergelijkbaar zijn met die van Visvliet. Ballooërveld is een oligotrofe locatie; daarom is de netto primaire productie waarschijnlijk laag vergeleken bij het meso/eutrofe Visvliet, Derhalve is op oligotrofe locaties ook de aanmaak van verse organische stof, het substraat voor de methanogene bacteriën, lager. Bovendien kan in Sphagnum vegetaties extra methaan oxidatie optreden door symbiose van Sphagnum soorten met methanotrofe bacteriën (Raghoebarsing et al., 2004). Een ander verschil tussen Ballooërveld en Visvliet is dat in het Ballooërveld de CH₄ fluxen snel lijken af te nemen bij diepere grondwaterstand.

In het Visvliet terrein kunnen bij lagere grondwaterstanden nog steeds positieve fluxen optreden (

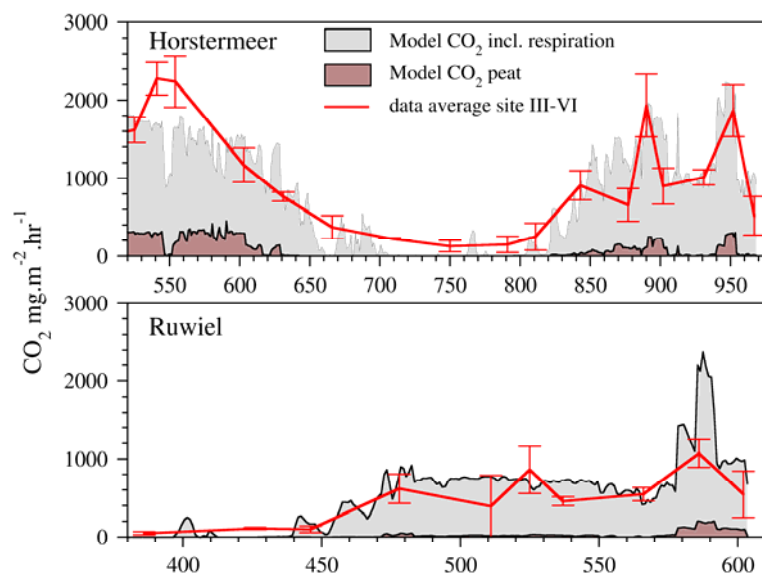
Tabel 14, site 4). Dit is karakteristiek voor meso/eutrofe venen (Hendriks et al., 2007; Wagner et al., 1996). Door hogere dichtheid en lage permeabiliteit treden boven de grondwaterstand in eutrofe venen anaerobe microsites op in de bodem, waarin de methaanproductie kan doorgaan.

De grootte en relatie met de grondwaterstand van de CH₄ fluxen van de meso/eutrofe site Visvliet zijn vergelijkbaar met de fluxen gemeten op de Horstermeer en Ruwiel locaties, waarop het PEATLAND model gevalideerd is (Figuur 21). Beide gebieden zijn natuurgebieden met kleiige eutrofe veenbodems, de Horstermeer een natuurontwikkelingsgebied (voormalige weidegrond, 15 jaar onder natuurbeheer) en Ruwiel een blauwgrasland. Dit geeft voldoende vertrouwen in de modelsimulaties, hoewel gezien de geringe hoeveelheid gegevens en de relatief droge periode waarin gemeten is geen echte validatie op de Drentse gegevens mogelijk is.

Voor een paar droge sites zijn ook CO₂ fluxen gemeten. Met de gebruikte meetmethode is het niet mogelijk om de CO₂ emissie door oxidatie van veen direct te meten, omdat de (onbekende) bijdrage van plantenrespiratie en oxidatie van verse organische stof meegemeten wordt. De metingen voor locatie Visvliet 4 geven echter een treffende illustratie van de processen die de emissies beïnvloeden. Bij de meting op 3 juni bedroeg de CO₂ flux 417 mg/m²/uur, bij een grondwaterstand van -17 cm. Op 19 juni was de grondwaterstand gedaald tot > 25 cm-mv, en de CO₂ flux

toegenomen tot 1104 mg/m²/uur, wat grotendeels toegeschreven moet worden aan toenemende oxidatie van veen.

N₂O fluxen zijn wel gemeten, maar op geen enkele meetlocatie is een detecteerbare flux gemeten. Dit is gebruikelijk in onbemeste terreinen.



Figuur 21. Validatie gemodelleerde CH₄ fluxen PEATLAND-VU op meetgegevens uit de Horstermeerpolder (natuurontwikkelingsgebied, kleiig eutroof veen met kwel) en Ruwiel (blauwgrasland op kleiig eutroof veen) (naar Van Huissteden et al., 2006).

3.4.3 Modelsimulatie van de CO₂ en CH₄ fluxen

In de PEATLAND-VU modelsimulaties zijn de dagelijks gemiddelde fluxen voor CO₂ en CH₄ gemodelleerd over de jaren 2005 - 2007. Tabel 15 toont de gebruikte bodemfysische en bodemchemische parameters van het model voor ieder bodemtype en horizont, naar Wösten et al. (1994) en Van den Bos et al. (2003).

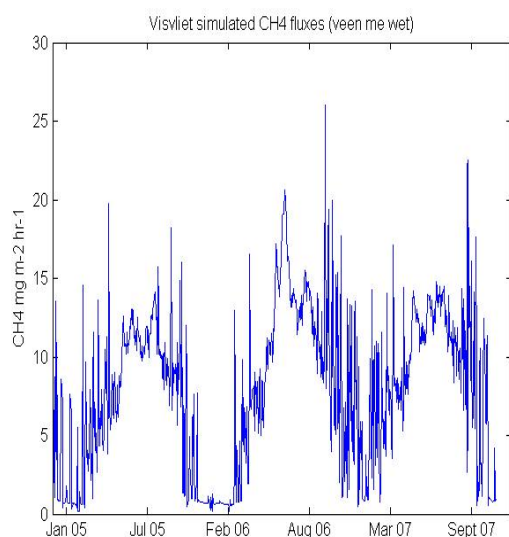
Tabel 16 geeft de parameters die gebruikt zijn voor de simulatie van de grondwaterspiegel. Deze zijn afgeleid van de grondwatertrappenkaart voor de EHS gebieden (par. 2.5). Figuur 22 toont de gesimuleerde dagelijkse CH₄ fluxen voor een natte meso/eutrofe veenbodem.

Tabel 15. Gebruikte bodemfysische en bodemchemische parameters in PEATLAND per bodemeenheid en horizont.

Bodem parameters per horizont	Veen mesotroof	Veen oligotroof	Moerig mesotroof	Moerig oligotroof	Ex_veen mesotroof	Ex_veen oligotroof	Ex_moerig mesotroof	Ex_moerig oligotroof
Aantal horizonten	2	2	2	2	2	2	2	2
Horizont basis t.o.v. maaiveld (m)	0.8 / 1.5	0.8 / 1.5	0.4 / 1.5	0.4 / 1.5	0.4 / 1.5	0.4 / 1.5	0.1 / 1.5	0.1 / 1.5
C/N ratio per horizont	12 / 20	35 / 35	18 / 23	35 / 35	23 / 23	35 / 35	18 / 23	35 / 35
Droge bulk dichtheid (kg m ⁻³)	479 / 238	479 / 157	1000 / 1400	1000 / 1400	1000 / 1400	1000 / 1400	1000 / 1400	1000 / 1400
Percentage organische stof	42 / 70	42 / 90	30 / 0	30 / 0	30 / 0	30 / 0	30 / 0	30 / 0
pH	4.8 / 4.8	3.5 / 3.5	5.0 / 5.0	3.6 / 3.6	4.8 / 4.8	3.6 / 3.6	4.8 / 4.8	3.6 / 3.6

Tabel 16. Parameters voor de simulatie van de grondwaterspiegel met het MMWH model.

Bodem	Variatiediepte grondwaterspiegel (catohelm bij veengronden) in cm
Veen mesotroof nat	10
Veen mesotroof droog	30
Veen oligotroof	80
Moerig mesotroof	40
Moerig oligotroof	10
Ex-veen mesotroof	80
Ex-veen oligotroof	100
Ex-moerig mesotroof	80
Ex-moerig oligotroof	120

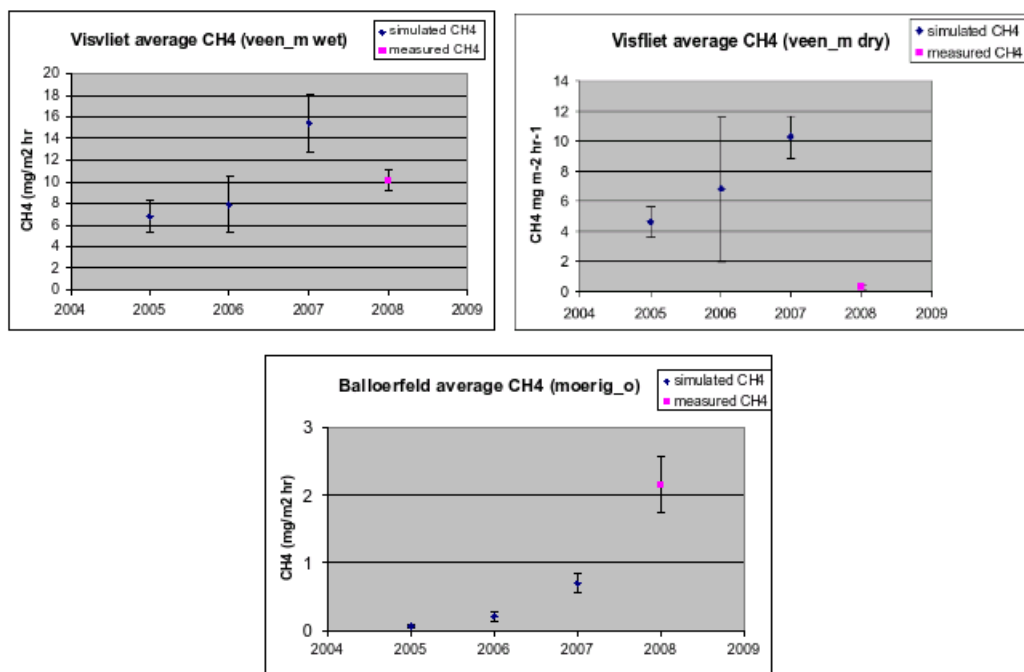


Figuur 22. Met PEATLAND-VU berekende dagelijkse CH_4 fluxen over 2005 – 2007, voor een mesotrofe veenlocatie met hoge grondwaterstand.

Voor de opschaling is uit de gesimuleerde dagelijkse flux de totale jaarlijkse flux en de gemiddelde flux over de drie jaren berekend, en vermenigvuldigd met de totale oppervlakte van iedere combinatie bodem-landgebruik. De CO_2 flux is opgesplitst in de totale CO_2 flux en de CO_2 flux door oxidatie van veen. Alleen de CO_2 flux uit veen is verder in beschouwing genomen omdat deze het meest relevant is en het meest betrouwbaar gesimuleerd wordt door het model.

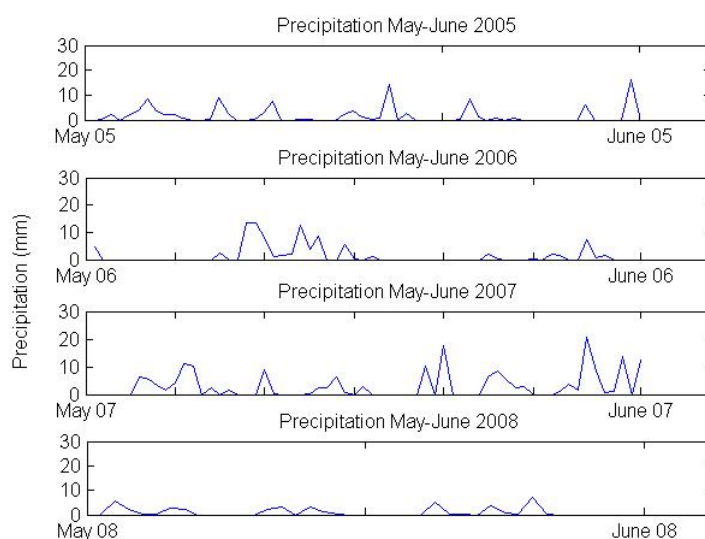
Figuur 23 toont de gemiddelde jaarlijkse gesimuleerde waarden, en voor 2008 de combinatie van gesimuleerde waarden met de gemeten waarden voor de Visvliet en Ballooërveld locaties. Een validatie van het model is hiermee niet mogelijk; daarvoor zou over een veel langere periode met permanent geplaatste apparatuur gemeten moeten worden. Wel geeft dit een globale indruk van afwijkingen in de simulaties. Voor het mesotrofe veen komen de gesimuleerde waarden goed overeen met de gemeten waarden. De gemeten waarden voor het Ballooërveld zijn hoger dan die van

de gesimuleerde waarden. Verstoring van de meting kan hier echter niet uitgesloten worden. Het model benadert de gemeten waarden echter goed. De waarden voor 2005-2007 zijn gemiddelden over het gehele jaar, met langere droge perioden, en vallen daardoor lager uit.



Figuur 23. Linksboven: Gesimuleerde jaarlijkse CH₄ fluxen voor veen, mesotroof, hoge grondwaterstand, en gemeten waarden in Visvliet (locaties met hoge grondwaterstand). Rechtsboven: Gesimuleerde jaarlijkse CH₄ fluxen voor veen, mesotroof, lage grondwaterstand, en gemeten waarden in Visvliet (locaties met lage grondwaterstand). Onder: Gesimuleerde jaarlijkse CH₄ fluxen voor moerige bodems, oligotroof, hoge grondwaterstand, vergelijkbaar met Ballooërveld, en gemeten waarden in Ballooërveld. De gesimuleerde waarde voor 2008 betreft in alle gevallen alleen de meetperiode in 2008, ter vergelijking met de gemeten waarden; de overige jaren zijn jaargemiddelden.

Opvallend is dat ook de fluxen voor de drogere meso/eutrofe veenbodems hoog zijn. De metingen in het Visvliet geven over het algemeen zeer lage emissies bij lage (> 25 cm) grondwaterstanden. Uit de gesimuleerde grondwaterstanden (Figuur 19, onderste grafiek) blijkt echter dat de waterstand voor grote delen van het jaar dichtbij het maaiveld kan staan, waardoor eveneens hoge methaanfluxen gegenereerd zouden worden in natte perioden. Een dergelijk verschijnsel wordt ook waargenomen in de Horstermeerpolder bij Amsterdam. Hier treden ook methaanemissies op bij meetsites waarvan de grondwaterstand 20-30 cm beneden maaiveld kan liggen. Dit wordt veroorzaakt door een hoge primaire productie die de beschikbaarheid van substraat voor methaanvorming stimuleert, en het eerder genoemde effect van anaerobie boven de grondwaterspiegel in eutrofe/mesotrofe veenbodems. Waarschijnlijk zijn de meetwaarden voor de droge meetlocaties in Visvliet laag door een abnormaal lage grondwaterstand tengevolge van het droge voorjaar van 2008 (Figuur 24).



Figuur 24. Neerslagwaarnemingen Groningen Airport voor een periode in de maanden mei-juni 2005 tot en met 2008. Mei-juni 2008 is naar verhouding droog.

In Tabel 17 zijn de CH_4 - en de CO_2 -fluxen uit veen weergegeven voor de bodem-landgebruikscombinaties. Bij de mesotrofe veengronden is er een berekening gedaan voor een natte variant en een droge variant. Voor het berekenen van de totale emissie bij deze gronden is uitgegaan van het gemiddelde van het natte en droge type. De gesimuleerde methaan fluxen zijn het hoogst voor mesotrofe veenbodems onder bos of grasland. Dit zijn grotendeels veenbodems in de beekdalen met graslandbeheer of broekbos, waarvoor in het model een hoge primaire productie en een lage oxidatie van CH_4 zijn aangenomen. Voor de drogere mesotrofe veengronden worden even hoge CH_4 emissies gemodelleerd. Dit is in overeenstemming met de waarnemingen op dit type veenbodems (zie boven; Hendriks et al., 2007). 'Droog' betekent in dit geval sterk wisselende grondwaterstanden (zie resultaten Visvliet site) met af en toe hoge grondwaterstand, terwijl bij lage waterstand de slecht doorlatende veenbodem vaak voldoende anaeroob kan blijven voor doorgaande CH_4 productie.

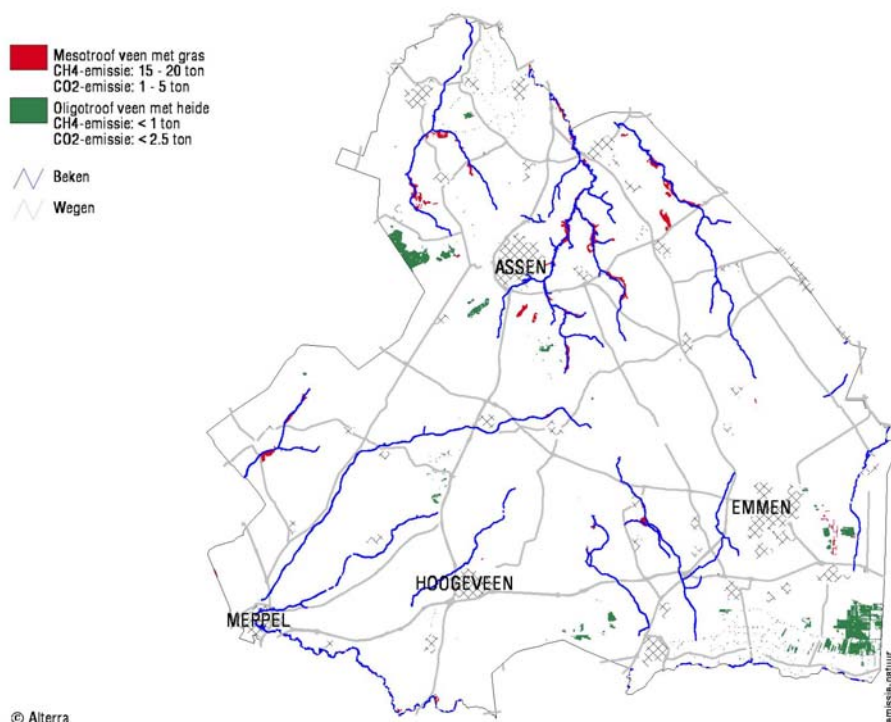
De simulaties voor oligotrofe veengebieden geven lage fluxwaarden voor methaan, in overeenstemming met de waarnemingen. Oligotrofe combinaties zijn gesimuleerd door de primaire productie van de vegetatie op lagere waarden te zetten in het model, en de oxidatie van methaan in planten op hogere waarden.

De CO_2 emissies door veenoxidatie zijn het hoogst voor mesotroof droog veen en de droge mesotrofe ex-veen en moerige bodems. Mesotroof veen is door de hogere voedselrijkdom gevoeliger voor oxidatie dan oligotroof veen. In het model is de voedselrijkdom geparametriseerd door de C/N ratio, die ook de aerobe en anaerobe afbraakconstanten beïnvloedt. In totaal bedraagt de CH_4 emissie uit natte natuurgebieden uit ca. 2.3 kton CH_4 per jaar (= ca. 54 kton in CO_2 -eq) en de CO_2 emissie ca. 37 kton CO_2 per jaar. Verreweg de grootste bijdrage van de CH_4 emissie, meer dan 90%, is afkomstig uit mesotrofe veengebieden in de beekdalen. Figuur 25 geeft een voorbeeld van een bodem- en landgebruikcombinatie met hoge fluxen

(mesotroof veen met gras) en een combinatie met lage fluxen (oligotroof veen met heide).

Tabel 17. Gemodelleerde jaarlijkse fluxen van CH₄ en CO₂ uit veenoxidatie voor alle combinaties bodem-landgebruik binnen de EHS gebieden. Fluxen in tonnen per ha per jaar

		CH ₄ (ton/ha/jaar)				Totaal		CO ₂ (ton/ha/jaar)				Totaal	
		Jaar				(kton per jaar)						(kton per jaar)	
	Oppervlakte (ha)	2005	2006	2007	gemiddeld per jaar			CH ₄	CH ₄ in CO ₂ -eq	2005	2006		
Natuur Bos													
veen mesotroof nat	971	0.610	0.720	0.760	0.697	0.681	15.67	0.168	0.231	0.171	0.190	1.8	17.5
veen mesotroof droog		0.673	0.716	0.732	0.707			3.204	4.254	3.186	3.548		
veen oligotroof	1148	0.003	0.003	0.007	0.004	0.005	0.11	0.907	1.461	0.851	1.073	1.2	1.3
moerig mesotroof	11	0.015	0.016	0.019	0.017	0.000	0.00	8.507	11.731	43.319	21.185	0.2	0.2
moerig oligotroof	55	0.018	0.160	0.180	0.119	0.007	0.15	0.256	0.359	0.142	0.252	0.0	0.2
Ex_veen mesotroof	568	0.008	0.240	0.435	0.228	0.129	2.97	11.786	19.642	5.829	12.419	7.0	10.0
Ex_veen oligotroof	435	0.005	0.197	0.278	0.160	0.070	1.60	1.878	3.074	0.928	1.960	0.9	2.5
Ex_moerig mesotroof	806	0.006	0.583	0.725	0.438	0.353	8.12	6.525	8.665	4.190	6.460	5.2	13.3
Ex_moerig oligotroof	2922	0.001	0.016	0.004	0.007	0.020	0.47	0.878	1.219	0.775	0.957	2.8	3.3
Natuur Heide													
veen mesotroof nat	74	0.611	0.721	0.761	0.698	0.052	1.20	0.168	0.232	0.171	0.190	0.0	1.3
veen mesotroof droog	0	0.674	0.717	0.733	0.708			3.209	4.260	3.191	3.553		
veen oligotroof	2116	0.003	0.003	0.007	0.004	0.009	0.21	0.907	1.461	0.851	1.073	2.3	2.5
moerig mesotroof	0												
moerig oligotroof	9	0.018	0.032	0.037	0.029	0.000	0.01	0.256	0.359	0.142	0.252	0.0	0.0
Ex_veen mesotroof	19	0.151	0.005	0.009	0.055	0.001	0.02	11.786	19.642	5.829	12.419	0.2	0.3
Ex_veen oligotroof	254	0.005	0.005	0.007	0.006	0.001	0.03	1.878	3.074	0.928	1.960	0.5	0.5
Ex_moerig mesotroof	79	0.006	0.008	0.10	0.008	0.001	0.01	6.525	8.665	4.190	6.460	0.5	0.5
Ex_moerig oligotroof	1157	0.001	0.016	0.004	0.007	0.008	0.19	0.899	1.248	0.794	0.980	1.1	1.3
Natuur Gras													
veen mesotroof nat	1401	0.611	0.721	0.761	0.698	0.985	22.65	0.168	0.232	0.171	0.190	2.6	25.3
veen mesotroof droog	0	0.674	0.717	0.733	0.708			3.209	4.260	3.191	3.553		
veen oligotroof	241	0.003	0.003	0.007	0.004	0.001	0.02	0.907	1.461	0.851	1.073	0.3	0.3
moerig mesotroof	11	0.017	0.018	0.022	0.019	0.000	0.00	9.818	13.538	9.614	10.990	0.1	0.1
moerig oligotroof	8	0.018	0.024	0.028	0.023	0.000	0.00	0.256	0.359	0.262	0.292	0.0	0.0
Ex_veen mesotroof	329	0.008	0.005	0.009	0.007	0.002	0.05	11.786	19.642	10.055	13.828	4.6	4.6
Ex_veen oligotroof	38	0.005	0.005	0.007	0.006	0.000	0.00	1.878	3.074	1.689	2.214	0.1	0.1
Ex_moerig mesotroof	696	0.006	0.008	0.010	0.008	0.006	0.13	6.525	8.665	6.326	7.172	5.0	5.1
Ex_moerig oligotroof	230	0.001	0.016	0.004	0.007	0.002	0.04	0.899	1.248	0.925	1.024	0.2	0.3
		2.3					53.7					36.9	90.5



Figuur 25. Voorbeeld van de ruimtelijke verdeling van twee bodem-landgebruikscombinaties in natuurgebieden met de gemiddelde jaarlijkse emissie van CH₄ en CO₂ (in CO₂-eq).

Binnen de natuurgebieden zijn de mesotrofe veengronden in de natte beekdalen in Drenthe dus 'hotspots' wat betreft broeikasgasemissies. Daar staat tegenover dat in dit soort bodems met hoge grondwaterstanden ook opname van CO₂ door de vegetatie kan optreden. De Horstermeerpolder bij Amsterdam is wat bodem, hydrologie en vegetatie betreft vergelijkbaar met de Visvliet locatie. Delen van deze polder zijn ca 15 jaar geleden uit productie genomen waarna een natuurlijke successie naar rietland plaatsvindt. Er wordt geen maaibeheer of begrazing uitgevoerd. Uit de metingen van Hendriks et al. (2007) is gebleken dat de opname van CO₂ in de vegetatie van de Horstermeerpolder zo hoog is dat de methaanemissie gecompenseerd wordt, ook wanneer rekening wordt gehouden met het verschil in global warming potential. Het gebied is -over twee jaar gemeten - een sink voor broeikasgassen van 0.86 ton per hectare in CO₂-equivalenten per jaar (Hendriks et al., 2007).

Uit de modelresultaten komt wel duidelijk naar voren dat de CO₂ emissie bij lagere waterstanden in de beekdalen ook zeer hoog is, terwijl de CH₄ emissie niet onmiddellijk afneemt bij lagere waterstanden. Hieruit blijkt dat handhaving van hoge waterstanden in beekdalen het gunstigst is om emissies van broeikasgassen uit deze veenbodems te voorkomen. De CH₄ emissie is bij natte bodems weliswaar zeer hoog, maar ook de opname van CO₂ door de vegetatie is hoog en de afbraak van veen door oxidatie gering.

De bijdrage van CH₄ emissie uit oligotrofe veengebieden en natte oligotrofe moerige bodems is gering, door oxidatie van CH₄ in Sphagnum-rijke vegetaties en geringere productie. Hoe groot de opname van CO₂ door veenvorming hier is, is onbekend. Ook hier is handhaving van hoge waterstanden de beste optie om broeikasgasemissies en verlies van veenbodems te reduceren. Uit de resultaten van het onderzoek van Hendriks et al. (2007) in West-Nederland blijkt dat natuurbeleid ingezet kan worden om vermindering van CO₂ emissie uit de bodem te realiseren, en dat dit niet leidt tot een sterke toename van de netto totale broeikasgasemissies door CH₄ emissie. Of er werkelijk een permanente sink voor broeikasgassen door veenvorming kan ontstaan door uit productie nemen van landbouwgrond en omzetting naar natte natuur, is onzeker. De opname van CO₂ zit in de Horstermeerpolder waarschijnlijk vooral in toename van de levende en dode biomassa door vegetatiesuccessie naar rietland en wilgenbroekbos nadat het gebied uit productie is genomen. Of in natte natuurgebieden in Drentse beekdalen recent nog veenvorming optreedt, is evenmin bekend. Om de haalbaarheid van de combinatie natuurontwikkeling - vastlegging van CO₂ door veengroei vast te stellen is meer onderzoek hiernaar nodig.

Verdroging van natuurgebieden met veenbodems levert een hoge CO₂ emissie op. Ook hier zijn weer de emissies van mesotrofe veenbodems en moerige bodems het hoogst. Uit de mesotrofe bodems is 76% van de CO₂ emissie afkomstig. Door de hogere snelheid van aerobe afbraak bij drainage van voedselrijker veen, is de CO₂ flux hoger dan die van droge oligotrofe veenbodems.

Het effect van waterberging in beekdalen op CH₄ emissies is niet in de modelstudie meegenomen. Echter, verwacht mag worden dat tijdelijke inundaties tot hoge emissies kunnen leiden, als deze in de groeiperiode van de vegetatie plaatsvinden. Dit is bij experimenten in Duitsland gebleken (Minke et al., 2008; pers. comm.).

3.5 Totale bodemgerelateerde broeikasgasemissies

In Tabel 18 zijn de bodemgerelateerde emissies van broeikasgassen die jaarlijks in Drenthe optreden samengevat. De emissies zijn allen uitgedrukt in CO₂ equivalenten. Voor de omrekening van N₂O en CH₄ naar CO₂ equivalenten is gebruik gemaakt van de global warming potentials die voor N₂O 298 en voor CH₄ 23 keer zo sterk zijn als die van CO₂. Voor landbouw is uitgegaan van de data die berekend zijn met INITIATOR2. De N₂O emissie door mineralisatie van veenbodems in de landbouw is niet meegenomen in de totalen voor de categorie landbouw, om dubbeltelling met de emissies uit veenbodems te voorkomen.

Tabel 18 Totaal van bodemgerelateerde broeikasgasemissies in Drenthe per jaar (afgerond in kton CO₂-eq.)

Bron	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	Totaal	Areaal (ha)	Gemiddeld per ha
<i>Uit bronnen die ook bij het IPCC worden onderscheiden</i>						
Oxidatie bij veengronden met landbouw	915	110	-	1025	24460	0,042
Landbouw	-	520	480	1000	175375	0,006
Bos	-250	-	-	-250	35900	-0,007
Totaal IPCC-bronnen	665	630	480	1775		
<i>Overige bronnen</i>						
Oxidatie bij moerig gronden met landbouw	90			90	4440	0,020
Oxidatie bij EX_veen en EX_moerig met landbouw	385			385	51900	0,007
Veenbodems met natuur*	40		55	95	13580	0,007
Totaal overige bronnen	515		55	570		
Totaal alle bronnen	1180	630	535	2345		

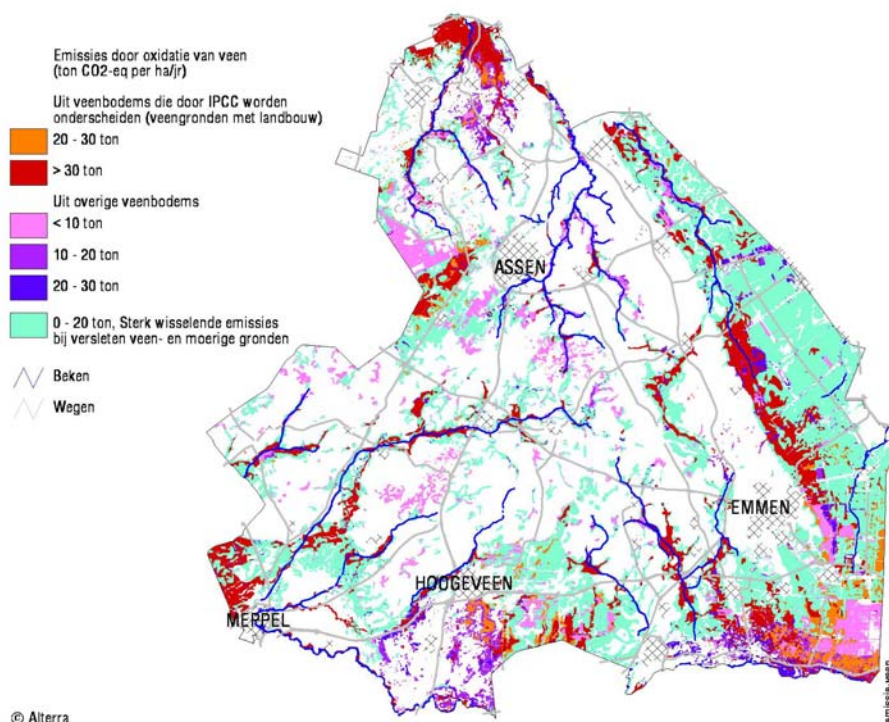
* Bij broeikasgasemissies uit natuurgebieden is geen rekening gehouden met opname van CO₂ door andere vegetatie dan bos en door veengroei.

In de tabel is onderscheid gemaakt in bronnen die bij de nationale rapportage voor het IPCC gehanteerd worden en in de overige bronnen gerelateerd aan de bodem en het bodemgebruik. Uit de tabel blijkt dat de emissies uit veenbodems groot is. Naast de 915 kton CO₂ uit de “IPCC”-veengronden komt er bij de gronden met dunne veenlagen en de bij de veengronden met natuur ook nog eens 515 kton CO₂ vrij. In totaal emitteert er door oxidatie van veen meer dan 1400 kton CO₂. De emissie van broeikasgassen uit natuurlijke venen is relatief klein (95 kton CO₂-eq jaar⁻¹). Door de hoge grondwaterstanden treedt er slechts een beperkte afbraak van organische stof op, maar is er juist wel weer kans op vorming van moerasgas (CH₄). Moerasgas ontstaat vooral in eutroof en mesotroof veen. In de natuur vindt waarschijnlijk enige compensatie plaats door de opname van CO₂ in de vegetatie en veenvorming, afhankelijk van het beheer van de natuurgebieden. Bij begrazing of maaien vindt deze compensatie niet of in geringe mate plaats.

Ook de landbouw levert een substantiële bijdrage aan de broeikasgasemissies, maar dan door de emissies van N₂O en CH₄. N₂O ontstaat bij denitrificatie van (door bemesting toegevoegde) stikstof in de bodem. De vorming van CH₄ treedt vooral op bij de veehouderij, door fermentatie van voeding in de magen van de runderen en bij de opslag van mest.

Bos is het enige landgebruik waarbij in belangrijke mate koolstof wordt vastgelegd. In Drenthe bedraagt de opname van koolstof door bossen jaarlijks ca. 250 kton CO₂-eq. De hoeveelheid die jaarlijks wordt vastgelegd is wel dalende, doordat de bossen door volledige wasdom nu minder snel groeien.

Figuur 26 geeft een overzicht van de gebieden met CO₂-emissie door oxidatie van veen. In de gebieden met versleten veen- of moerige gronden is er een grote variatie in emissies, doordat bij ongeveer de helft van de oppervlakte geen veen meer voorkomt en daardoor ook geen emissie optreedt.



Figuur 26 Gebieden met CO₂-emissies door oxidatie van veen in Drenthe, met onderscheid van de bronnen die voor de IPCC-rapportage van belang zijn.

4 Conclusies

Uit dit onderzoek blijkt dat in Drenthe een viertal aan de bodem gerelateerde emissiebronnen kunnen worden onderscheiden:

- Veenbodems met landbouw
- Veenbodems met natuur
- Landbouwkundig gebruik
- Bossen

De totale bodemgerelateerde broeikasgasemissie voor de provincie Drenthe bedraagt jaarlijks bijna 2350 kton CO₂ equivalenten. Het grootste deel, bijna 60%, van deze emissie ontstaat door de oxidatie van veen, waarbij vooral CO₂ vrijkomt. Ook de landbouw heeft een grote bijdrage door de emissies van N₂O en CH₄. In bossen wordt CO₂ vastgelegd. Maar de hoeveelheid die wordt vastgelegd compenseert slechts 10% van de emissie uit de overige bodemgerelateerde bronnen.

De emissie uit veengronden zoals berekend wordt voor de nationale rapportage bedraagt voor Drenthe 915 kton CO₂ per jaar. Dit komt overeen met 22% van de landelijke CO₂ emissie uit veengronden in landbouwkundig gebruik. Hierbij zijn echter de moerige gronden niet meegenomen, als deze wel worden meegenomen neemt deze met 50% toe tot bijna 1400 kton CO₂ per jaar. Per hectare is de emissie in Drenthe duidelijk hoger dan landelijk. Dit komt omdat de drooglegging van veengronden in Drenthe veel dieper is dan gemiddeld in de rest van Nederland. Door het geleidelijke proces van oxideren worden de veenlagen steeds dunner, tot de veenlaag uiteindelijk volledig is verdwenen en de emissie stopt. De oorspronkelijke veengronden of moerige gronden zijn dan minerale gronden geworden. Doordat het areaal veengronden en moerige gronden geleidelijk kleiner wordt zal in de toekomst de emissie van CO₂ door oxidatie van veen ook geleidelijk verminderen.

In Drenthe zijn de veenbodems een belangrijke bron voor broeikasgassen. Wanneer we uitgaan van de cijfers voor de nationale rapportage, bedraagt in Drenthe de emissie uit veen bijna 20% van de totale provinciale emissie. Landelijk is de bijdrage uit veengronden ca. 4% ten opzichte van de totale emissies.

De bodemkaart is voor een groot deel van Drenthe al voor 1980 vervaardigd. Uit een steekproef die in het kader van dit onderzoek is uitgevoerd bij voormalige veengronden en moerige gronden blijkt dat 40 tot 60 % van het areaal van deze gronden de veenlaag nu al is verdwenen. Op plaatsen waar het veen verdwenen is komen nu zandgronden voor.

Binnen de landbouw zijn de emissies van N₂O en CH₄ in Drenthe in de periode 1990-2006 gedaald met 20% en respectievelijk 25%. Voor lachgas (N₂O) is deze afname te verklaren door een afname van de dierlijke en kunstmestgift en de bijbehorende daling van de indirecte emissies. De mineralisatie van veengronden is

samen met kunstmest de belangrijkste bron van N_2O emissies in Drenthe. Voor methaan is de afname vooral veroorzaakt door een afname in de rundveestapel. Deze nam in Drenthe af van ongeveer 280.000 koeien in 1990 tot ongeveer 210.000 koeien in 2003. Fermentatie is met 80% de belangrijkste bron van CH_4 emissies.

In de bossen wordt koolstof vastgelegd. De opname van koolstof in de levende biomassa is in Drenthe iets hoger vergeleken met heel Nederland. De oogst en de koolstofvastlegging in dood hout is ongeveer gelijk voor Drenthe en heel Nederland, waardoor er in Drenthe netto meer koolstof in bos wordt vastgelegd. De laatste jaren neemt de groei van bos af terwijl de oogst is toegenomen. De totale koolstofvastlegging in bos is daardoor afgenomen in de periode 2000-2007. In 2000 bedroeg de netto opname 268 kton $\text{CO}_2\text{-eq.}$ en in 2006 en 2007 respectievelijk 250 en 235 kton. Per ha bedraagt de opname van CO_2 gemiddeld ca. 7,5 ton $\text{CO}_2\text{-eq.}$ Van de doorgerkende combinatie bos op veenbodems is de emissie door oxidatie van veen en door methaangasvorming bij de oligotrofe veengronden kleiner dan 7,5 ton en bij de mestrofe veenbodems groter dan 7,5 ton. Bij de oligotrofe veenbodems met bos vindt dus een netto opname van CO_2 plaats. De oppervlakte van deze combinaties bedraagt ca. 4 500 ha. Het betreft hier bijvoorbeeld de bossen rond het Fochteloër veen en Veenhuizen.

De natte beekdalen met veen in Drenthe zijn de belangrijkste bron van broeikasgasemissies in natuurgebieden. Door de hoge grondwaterstanden wordt de afbraak van organische stof geremd, maar door de anaerobe omstandigheden kan er CH_4 ontstaan. In totaal bedraagt de CH_4 emissie uit natte natuurgebieden uit ca. 55 kton $\text{CO}_2\text{-eq}$ per jaar en de CO_2 emissie ca. 40 kiloton CO_2eq per jaar. Verreweg de grootste bijdrage van de CH_4 emissie, meer dan 90%, is afkomstig uit mesotrofe veengebieden in de beekdalen. Voor deze gronden kan de CH_4 -emissie jaarlijks per ha wel 15 ton $\text{CO}_2\text{-eq}$ bedragen, terwijl dit bij oligotrofe venen vaak minder dan 1 ton per ha is.

Uit de modelresultaten voor natuurgebieden komt wel duidelijk naar voren dat de CO_2 emissie bij lagere waterstanden in de beekdalen ook hoog is, terwijl de CH_4 emissie niet onmiddellijk afneemt bij lagere waterstanden. Hieruit blijkt dat handhaving van hoge waterstanden in beekdalen het gunstigst is om emissies van broeikasgassen uit deze veenbodems te voorkomen. De CH_4 emissie is bij natte bodems weliswaar hoog, maar de afbraak van veen door oxidatie gering en er kan opname van CO_2 plaatsvinden in de vegetatie waardoor veenvorming kan optreden. De bijdrage van CH_4 emissie uit oligotrofe veengebieden en natte oligotrofe moerige bodems is gering. Ook hier is handhaving van hoge waterstanden de beste optie om broeikasgasemissies en verlies van veenbodems te reduceren. Hoe groot de opname van CO_2 door veenvorming is, is onbekend.

Uit de berekeningen blijkt dat de emissies uit veen sterk afhankelijk zijn van de veensoort (eutroof of oligotroof veen), de veendikte en de zomergrondwaterstanden. Bij zomergrondwaterstanden ondieper dan 20 cm-mv. is de afbraak van veen door oxidatie en de daarmee gepaard gaande emissie van CO_2 nihil. Bij diepere grondwaterstanden gaat het veen oxideren. Bij zomergrondwaterstanden dieper dan

80 cm neemt de oxidatie niet meer noemenswaardig toe. De berekeningen geven aan dat bij de dikke veengronden de afbraak van organische stof vrij constant is, totdat op een zeker moment de dikte van de veenlaag zodanig is afgenomen dat er minder veen wordt blootgesteld aan de zuurstof en de maaiveldddaling en de CO₂-emissie begint af te nemen. In Drenthe zijn de veengronden met een landbouwkundig gebruik bijna allemaal zo goed ontwaterd dat de grondwaterstand geen belemmerende factor vormt bij de afbraak van veen en daarmee de emissie. Bij de landbouwgronden is daarom de veendikte in belangrijke mate bepalend voor de omvang van de emissies. In de natuurgebieden komen op veel plaatsen zomergrondwaterstanden voor ondieper dan 80 cm-mv. (Gt I en II). In deze gebieden is de grondwaterstand daarom de meest bepalende factor voor de emissies.

De beschikbare informatie over de veendikte en de grondwatertrappen (Gt) is voor veel gebieden van voor 1980, waardoor het niet zeker is of deze informatie nog wel actueel is. Door de onzekerheid over de Gt en om het aantal combinaties bodem/landgebruik/Gt te beperken zijn in dit onderzoek niet alle voorkomende combinaties doorgerekend. Bij de veenbodems met een landbouwkundig gebruik is bij de berekeningen uitgegaan van zomergrondwaterstanden dieper is dan 80 cm-mv. Dit komt overeen met grondwatertrappen III en droger (GLG > 80 cm-mv.). Voor de natuurgebieden is per bodem-landgebruikcombinatie de berekening uitgevoerd op basis van de meest voorkomende Gt (Gt I – III).

Literatuur

- De Vries, F., 2003. Bodemkundige basisinformatie provincies Groningen, Drenthe en Overijssel. Alterra-rapport 696. Alterra, Wageningen. 73 p.
- De Vries, F., 2004. De verbreiding van veengronden. In: van Kekem, A.J. (red.). Veengronden en stikstofleverend vermogen. Alterra-rapport 965. Alterra, Wageningen. pp. 15-24.
- De Vries, F. en F. Brouwer, 2006. De bodem van Drenthe in beeld. Alterra-rapport 1381. Alterra, Wageningen. 76 p.
- De Vries, F., Hendriks, R.F.A., Kemmers, R.H., Wolleswinkel, R., 2008. Het veen verdwijnt uit Drenthe. Omvang, oorzaken en gevolgen. Alterra-rapport 1661. Alterra, Wageningen, p. 72.
- De Vries, W., J. Kros, G.L. Velthof, 2008. INITIATOR2: instrument voor een integrale milieuanalyse van de gevolgen van aanpassingen in de landbouw. Berekening van de emissies van ammoniak, broeikasgassen, fijn stof en geur en de accumulatie, uit- en afspoeling van koolstof, stikstof, fosfaat, basen en zware metalen. Alterra Rapport (in voorbereiding).
- Dirkse, G.M., W.P. Daamen, H. Schoonderwoerd, M. Japink, M. van Jole, R. van Moorsel, P. Schnitger, W.J. Stouthamer, M. Vocks. 2007. Meetnet Functie Vervulling bos 2001-2005. Rapport DK nr 2007/065. Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Ede. 84 p.
- FAO, 1998. World reference base for soil resources, World Soil Resources Report 84. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome.
- Granberg, G., Grip, H., Lofvenius, M.O., Sundh, I., Svensson, B.H., Nillson, M. 1999. A simple model for simulation of water content, soil frost, and soil temperatures in boreal mixed mires, Water Resources Research, 35(12), 3771-3782.
- Hees, A.F.M. van, and S. Clerkx, 1999. Dead wood in the forest. De levende natuur
- Hendriks, D.M.D., Van Huissteden, J., Dolman, A.J., and Van der Molen, M.K. 2007. The full greenhouse gas balance of an abandoned peat meadow, Biogeosciences Discuss., 4, 277–316.
- Hendriks, R.F.A., 1993. Nutriëntenbelasting van oppervlaktewater in veenweidegebieden. Rapport 251. DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- IPCC, 2003. LUCF Sector Good Practice Guidance. Penman et al. (Eds.), IPCC Good practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry. IPCC NGGIP Programme. Published by IGES for IPCC. Japan.
- Kroeze, C., 1994. Nitrous oxide (N₂O). Emission inventory and options for control in the Netherlands. National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven. Report nr. 773001 004.
- J. Kros, Gies, T.J.A., de Vries, W., Voogd, J.C., 2007. Effectiviteit integraal stikstofbeleid in de provincie Drenthe. Alterra-rapport 1570, Alterra, Wageningen.
- Kuikman, P.J., J.J.H. van den Akker, F. de Vries, 2005. Emissie van N₂O en CO₂ uit organische landbouwbodems. Alterra-rapport 1053-2. Alterra, Wageningen. 66 p.

- Maas, C.W.M. van der, P.W.H.G. Coenen, P.G. Ruysenaars, H.H.J. Vreuls, L.J. Brandes, K. Baas, G. van den Berghe, G.J. van den Born, B. Guis, A. Hoen, R. te Molder, D.S. Nijdam, J.G.J. Olivier, C.J. Peek, M.W. van Schijndel, 2008. Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990 – 2006. National Inventory Report 2008. MNP report 500080009/2008.
- Mosier, A., C. Kroeze, C. Nevison, O. Oenema, S. Seitzinger & O. van Cleemput, 1998. Closing the global N₂O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. (OECD/IPCC/IEA phase II development of IPCC guidelines for national greenhouse gas inventory methodology). *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 52 (2-3), 225-248.
- Nabuurs, G.J., I.J. van den Wyngaert, W.D. Daamen, A.T.F. Helmink, W. de Groot, W.C. Knol, H. Kramer, P. Kuikman. 2005. National system of greenhouse gas reporting for forest and nature areas under UNFCCC in the Netherlands. Alterra report 1035-1. Alterra, Wageningen. 57 p.
- Petrescu, A.M.R., Van Huissteden, J., Jackowicz-Korczynski, M., Yurova, A., Christensen, T.R., Crill, P.M., Bäckstrand, K., Maximov, T.C. 2008. Modelling CH₄ emissions from arctic wetlands: effects of hydrological parameterization. *Biogeosciences* 5, 1-11.
- Provincie Drenthe, 2008. Programma klimaat en energie. Provincie Drenthe, Assen.
- Raghoebarsing, A.A., Smolders, A.J.P., Schmid, M.C., Rijpstra, W.I.C., Wolters-Arts, M., Derksen, J., Jetten, M.S.M., Schouten, S., Sinninghe Damsté, J.S., Lamers, L.P.M., Roelofs, J.G.M., Op den Camp, H.J.M., Strous, M. 2005. Methanotrophic symbionts provide C for photosynthesis in peat bogs, *Nature*, 436, 1153-1156.
- Spakman, J., M.M.J. van Loon, R.J.K. van der Auweraert, D.J. Gielen, J.G.J. Olivier, E.A. Zonneveld, 2003. Achtergrondrapport NIR (Methoden): Methode voor berekening van broeikasgasemissies (versie 2003) Geactualiseerde versie van het rapport "Methode voor de berekening van broeikasgasemissies". Publicatiereeks emissieregistratie nr 37.
- Steur, G.G.L. en W. Heijink, 1991. Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50 000. Algemene begrippen en indelingen, 4e uitgave. DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Van den Akker, J.J.H., 2005. Maaiveldvaling en verdwijnende veengronden. In: Rienks, W.A., Gerritsen, A.L., Veenweide 25x belicht. Een bloemlezing van het onderzoek van Wageningen. Wageningen Universiteit en Researchcentrum, Wageningen.
- Van den Bos, R.M., 2003. Restoration of former wetlands in the Netherlands; effect on the balance between CO₂ sink and CH₄ source. *Netherlands Journal of Geosciences*, 82, 325-332.
- Van den Bos, R.M., J. van Huissteden, O. van de Plassche 2003. A Model-based assessment of CO₂ and CH₄ fluxes in coastal peatlands (western Netherlands) for different climate and management scenarios. In: Van den Bos, R.M.: Human influence on carbon fluxes in coastal peatlands; process analysis, quantification and prediction. Thesis, Vrije Universiteit (Amsterdam) p. 91-110.

- Van den Wyngaert, I.J.J., W. de Groot, P. Kuikman, G.J. Nabuurs 2007. Updates of the Dutch National system of greenhouse gas reporting of the LULUCF sector. Alterra report 1035-5. Alterra, Wageningen. 43 p.
- Van Genuchten, M.T. 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, *Soil Science Society of America Journal*, 44, 892-898.
- Van Huissteden, J., Van den Bos, M., Martcorena Alvarez, I. 2006. Modeling the effect of water-table management on CO₂ and CH₄ fluxes from peat soils, *Netherlands Journal of Geosciences*, 85, 3-18.
- Van Huissteden, J., Hendriks, D.M.D., Petrescu, A.M.R., Rebel, K.T., Berrittella, C. 2008. Sensitivity analysis of a wetland methane emission process model using temperate and arctic wetland sites. Abstract, European Geoscience Union General Assembly, Vienna.
- Van Huissteden, J., D.M.D. Hendriks, A.M.R. Petrescu, K. Rebel en C. Berrittella. In prep. Sensitivity analyses of a wetland methane emission process model based on temperate and arctic wetland sites. To be Submitted to *Biogeosciences*.
- Velthof, G.L., de Haan, M.H., Schils, R.L.M., Monteny, G.J., van den Pol-van Dasselaar, A., Kuikman, P.J., 2000. Beperking van lachgasemissies uit bemeste landbouwgronden - Een systeemanalyse. Alterra, Wageningen, 68 p.
- VROM, 2007
- Wagner, D., E.-M. Pfeiffer, E. Bock 1999. Methane production in aerated marshland and model soils: effects of micro flora and soil texture. *Soil Biology and Biochemistry* 31:999-1006.
- Walter, B.P., 2000. A process-based, climate-sensitive model to derive CH₄ emissions from natural wetlands: Application to five wetland sites, sensitivity to model parameters, and climate, *Global Biogeochemical Cycles*, 14, 745-765.
- Weiss, R., Alm, J., Laiho, R., Laine, J. 2008. Modeling moisture retention in peat soils, *Soil Science Society of America Journal*, 62, 305-313, 1998.
- Wösten, J.H.M., Veerman, G.J., Stolte, J. 1994. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Technical Document 18, DLO-Staring Centrum, Wageningen, 66 p.
- Yurova, A., Wolf, A., Sagerfors, J., Nilsson, M. 2007. Variations in net ecosystem exchange of carbon dioxide in a boreal mire: Modeling mechanisms linked to water table position. *Journal of Geophysical Research*, 112, G02025.

Bijlage 1 Terminologie, eenheden en omrekeningsfactoren

Chemische componenten

CH ₄	Methaan
CO ₂	Koolstofdioxide
N ₂ O	Distikstofoxide (lachgas)
NH ₃	Ammoniak
NO ₃	Nitraat

Eenheden

Mg	Megagram (10 ⁶ gram)
Gg	Gigagram (10 ⁹ gram)
Tg	Teragram (10 ¹² gram)
ton	ton (= 1 000 kilogram = 1 Mg)
kton	kiloton (= 1 000 ton = 1 Gg)
Mton	Megaton (= 1 000 000 ton = 1 Tg)

Omrekeningsfactoren

C naar CO ₂ : x 44/12 = 3,67	CO ₂ naar C : x 12/44 = 0,27
C naar CH ₄ : x 16/12 = 1,33	CH ₄ naar C : x 12/16 = 0,75
N naar N ₂ O : x 44/28 = 1,57	N ₂ O naar N : x 28/44 = 0,64

Global warming potentials

CO ₂	1	CO ₂ -equivalenten
CH ₄	23	CO ₂ -equivalenten
N ₂ O	298	CO ₂ -equivalenten

Bijlage 2 Steekproef naar aanwezigheid van veen

Inleiding

Door oxidatie worden de veenlagen bij veenbodems geleidelijk dunner. Gronden met dunne veenlagen veranderen hierdoor geleidelijk in minerale gronden. Door de variatie in veendikte vindt de verandering naar minerale gronden niet overal op het zelfde tijdstip plaats. Veel gegevens op de bodemkaart zijn voor 1980 verzameld. De verwachting is bij de gebieden waar volgens de bodemkaart dunne veenlagen voorkomen (de moerige gronden op de bodemkaart), nu een belangrijk deel van de oppervlakte uit minerale gronden bestaat.

Om meer inzicht te krijgen in het aandeel zandgronden binnen de vlakken die op de bodemkaart als moerige gronden staan aangegeven is in opdracht van de provincie Drenthe in de periode december 2008 – februari 2009 door middel van een steekproef aanvullend onderzoek uitgevoerd.

Werkwijze

Het onderzoek naar het voorkomen van veenlagen is uitgevoerd door middel van een enkelvoudige gestratificeerde steekproef. De gebieden met dunne veenlagen, dit zijn op de bodemkaart de gebieden met moerige gronden en de gebieden met gedeformeerde veengronden, zijn in een aantal stratum ingedeeld. Binnen deze stratum zijn op aselechte wijze ca. 200 locaties (x- en y-coördinaten) geloot. Op deze gelote locaties is een boorbeschrijving gemaakt en is de actuele veendikte vastgesteld. Op basis van het voorkomen van veen zijn de locaties vervolgens ingedeeld in zandgronden (geen veen in het profiel tot 80 cm), moerige gronden (5 – 40 cm veen ondiep in het profiel) en veengronden (> 40 cm veen).

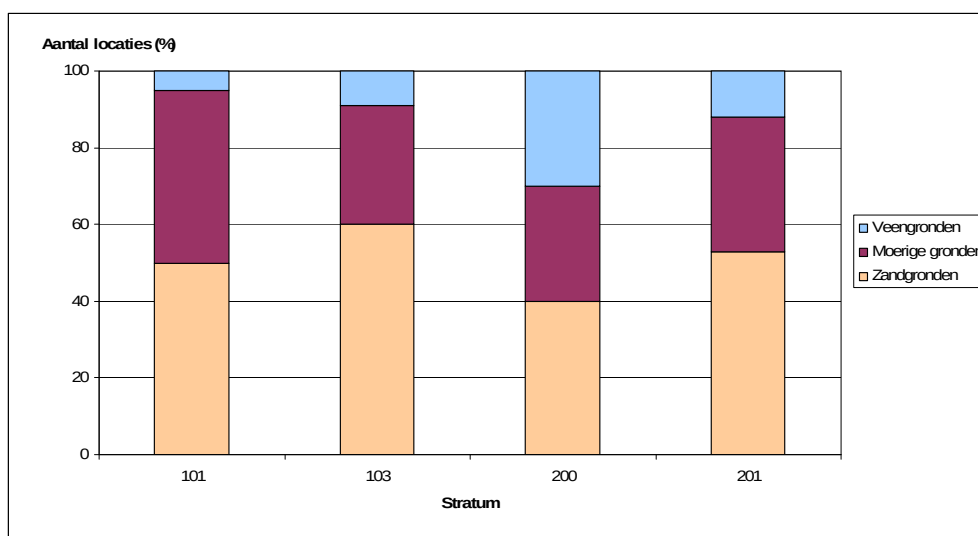
Resultaten

In totaal zijn er 5 stratum onderscheiden (tabel A). Op basis van de oppervlakte is het aantal locaties bepaald (ca. 1 locatie per 200 ha). Vanwege het zeer grote aantal kaartvlakken en de grote spreiding over de provincie is in stratum 100, de moerige gronden buiten de Veenkoloniën, geen steekproef uitgevoerd.

Tabel A. Stratumindeling, met oppervlakte en aantal gelote locaties.

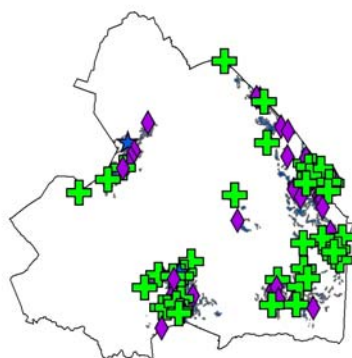
Stratum-nr	Omschrijving	Oppervlakte (ha)	Aantal locaties
100	Moerig gronden buiten de Veenkoloniën	24647	geen
101	Veenkoloniale moerige gronden	17094	83
103	Associatie van veenkoloniale moerige gronden en zandgronden	7021	35
200	Gedeformeerde niet-veenkoloniale veengronden	7107	33
201	Gedeformeerde veenkoloniale veengronden	11887	59

Figuur A toont de uitkomsten per stratum. Binnen alle stratum zijn veel profielen aangetroffen zonder veenlagen. Dit zijn nu zandgronden. Het percentage zandgronden per stratum varieert van 40 tot 60%. In stratum 103, associatie veenkoloniale moerige gronden met zandgronden, komen de meeste zandgronden voor. Binnen alle stratum komen een aantal punten voor waar de veendikte meer dan 40 cm bedraagt. Deze punten vallen in de klasse veengrond. De kaartjes in figuur B geven per stratum de locaties en het bodemprofiel dat is aangetroffen.

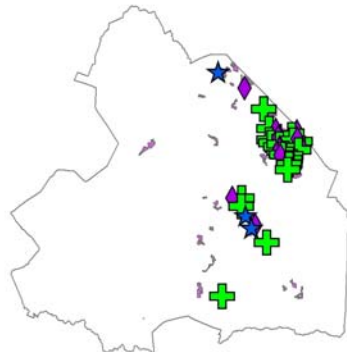


Figuur A. De meetpunten per stratum met een onderverdeling naar grondsoort op basis van aangetroffen profielopbouw.

Stratum 101
Veenkoloniale moerige gronden

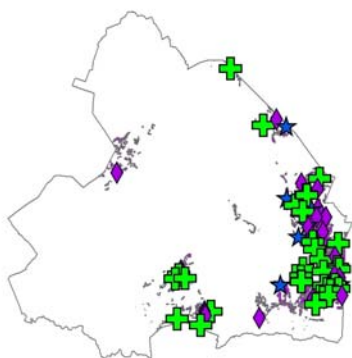


Stratum 103
Associatie moerige gronden en zandgronden

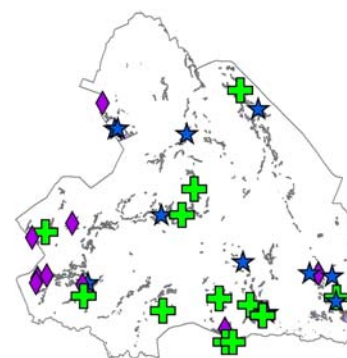


+ Zandgronden ◆ Moerige gronden ★ Veengronden

Stratum 201
Gedeformeerde Veenkoloniale veengronden



Stratum 200
Overige gedeformeerde veengronden



Figuur B. Ligging van de bezochte locaties per stratum, met een onderverdeling naar de actuele grondsoort.

Bijlage 3 Conversietabel gebruiksklassen Top10vectorkaart en LGN naar hoofdgebruiksklassen

Hoofdgebruik	Top10vectorklasse	LGN5-klasse	
LB_Landbouw	Bouwland		
	Boomgaard		
	Kassen		
	boomkwekerij		
	Fruitekwekerij		
	Kwekerij		
	Grasland		
NT_bos	Gemengd bos		
	Bomenrij		
	Bomenrij dubbel		
	Bomenrij op middenberm		
	Griend		
	Heg		
	Loofbos		
	Populierenopstand		
	Naaldbos		
NT_heide	Heide		
	Zand		
NT_gras	Bouwland of grasland met LGN5-klasse:	32	Open duinvegetatie
		33	Gesloten duinvegetatie
		34	Duinheide
		35	Open stuifzand
		39	Hoogveen
		40	Bos in hoogveen
		41	Overige moerasvegetatie
		42	Rietvegetatie
		43	Bos in moerasgebied
		45	Overig open begroeid natuurgebied