

# Monitoring van broeikasgassen in Natte natuur

Onderzoeksmemo: Resultaten Eddy covariance fluxmetingen in Onlanden en Polder Camphuys (periode 2020-2022)



---

# Monitoring van broeikasgassen in Natte natuur

Onderzoeksmemo: Resultaten Eddy covariance fluxmetingen in Onlanden en Polder Camphuys (periode 2020-2022)

Bart Kruijt<sup>1</sup>, Jan Biermann<sup>1</sup>, Hanne Berghuis<sup>1</sup>, Wilma Jans<sup>2</sup>, Laurent Bataille<sup>1</sup>, Wietse Franssen<sup>1</sup>,  
*Natuurmonumenten Beheerseenheid Vennebroek*<sup>3</sup>, Jeroen Veraart<sup>2</sup>, Ronald Hutjes<sup>1</sup>

1 Wageningen Universiteit

2 Wageningen Environmental research

3 Natuurmonumenten

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'Themanaam' (projectnummer BO-43-126-007).

Wageningen Universiteit, Wageningen Environmental Research  
Wageningen, maart 2023

---

Bart Kruijt<sup>1</sup>, Jan Biermann<sup>1</sup>, Hanne Berghuis<sup>1</sup>, Wilma Jans<sup>2</sup>, Laurent Bataille<sup>1</sup>, Wietse Franssen<sup>1</sup>, *Natuurmonumenten Beheerseenheid Vennebroek*<sup>3</sup>, Jeroen Veraart<sup>2</sup>, Ronald Hutjes<sup>1</sup>, 2023. *Monitoring van broeikasgassen in Natte natuur; Onderzoeksmemo: Resultaten Eddy covariance fluxmetingen in Onlanden en Polder Camphuys (periode 2020-2022)*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport XXXX. 27 blz.; 12 fig.; 2 tab.; 18 ref.

Dit rapport beschrijft de resultaten van 2 jaar metingen van uitstoot van broeikasgassen (CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub>) in twee moerasgebieden in noord-Drenthe, gebruikmakend van de eddy covariance methode. De resultaten worden vergeleken met vergelijkbare metingen in andere natte natuurgebieden, paludicultuur en veenweiden. Beide gebieden nemen CO<sub>2</sub> op grote hoeveelheden, echter in CO<sub>2</sub>-equivalenten veelal gecompenseerd door de methaanuitstoot. In vergelijking met gedraineerde veenweiden en met paludicultuur-proeven is de uitstoot niet hoog te noemen. De opname en uitstoot hangt sterk af van de waterstand in deze moerassen, die varieerde tussen de twee jaren. De resultaten bieden belangrijke handvatten voor mogelijk broeikasgas-sparend natuurbeheer en roept belangrijke vervolgvragen op.

This report describes the results of two years of greenhouse-gas emission measurements (CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>) in two recent wetlands in the north of Drenthe province, Netherlands, using the eddy covariance method. Results are compared with comparable measurements in other wetlands, paludiculture trials and peat meadows. Both sites sequester large amounts of CO<sub>2</sub>, however, this uptake is compensated for by large CO<sub>2</sub>-equivalent methane emissions. In comparison with drained peat meadows and paludiculture trials the net emissions are moderate. Emissions and uptake strongly depend on the water level in these wetlands, which varied between years. Results provide important option for GHG-saving wetland nature management and generates several follow-up questions.

Trefwoorden: broeikasgas, CO<sub>2</sub>, methaan, klimaat, wetland, vernatting.

© 2022 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, [www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research). Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

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

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



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem.

In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Onderzoeksmemo | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Bart Kruijt

---

# Inhoud

<b>Woord vooraf en disclaimer</b>	<b>6</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>8</b>
1.1 Aanleiding	8
1.2 Doelstelling	9
<b>2 Achtergrond en methoden</b>	<b>10</b>
2.1 Achtergrond en locaties	10
2.1.1 Onlanden (6.52414 graden OL, 53.1766, graden NB)	10
2.1.2 Camphuys (6.57989 graden OL, 53.1549 graden NB )	11
2.2 Methoden	11
<b>3 Resultaten</b>	<b>13</b>
3.1 Introductie	13
3.2 Meetresultaten	14
3.2.1 Variatie over de tijd	14
3.2.2 Afhankelijkheid van omgevingsvariabelen	17
3.2.3 Cumulatieve CO <sub>2</sub> en CH <sub>4</sub> opname of uitstoot	18
20	
<b>4 Discussie, conclusie en aanbevelingen</b>	<b>22</b>
4.1 Haalbaarheid	22
4.2 Verschillen in CO <sub>2</sub> en CH <sub>4</sub> uitstoot	22
4.3 Procesanalyse	22
4.4 Implicaties voor natuurbeheer en verder onderzoek	23
4.5 Betekenis van het onderzoek voor klimaatbeleid	24
4.5.1 LULUCF Emissierapportage	24
4.5.2 Klimaatakkoord	25
4.5.3 Meekoppelkansen met klimaatadaptatie en biodiversiteit	25
<b>Literatuur</b>	<b>26</b>



# Woord vooraf en disclaimer

Dit rapport vertegenwoordigt bijna 3 jaar metingen aan broeikasgasuitstoot in twee moerasgebieden. De getoonde resultaten geven een goed beeld van de grootte-orde van dergelijke uitstoot, maar roepen ook nog veel vragen op. Dit onderzoek gaat tot 2026 door onder andere vlag en in groter verband, en dit rapport moet daarom meer als tussenbalans gezien worden dan als een definitief rapport. Getallen kunnen nog veranderen aan de hand van nieuwe metingen en nieuwe inzichten.



# Samenvatting

Dit rapport beschrijft de resultaten van 2 jaar metingen van uitstoot van broeikasgassen (CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub>) in twee moerasgebieden in noord-Drenthe, gebruikmakend van de eddy covariance methode. De resultaten worden vergeleken met vergelijkbare metingen in andere natte natuurgebieden, paludicultuur en veenweiden. Beide gebieden nemen CO<sub>2</sub> op grote hoeveelheden, echter in CO<sub>2</sub>-equivalenten veelal gecompenseerd door de methaanuitstoot. In vergelijking met gedraineerde veenweiden en met paludicultuur-proeven is de uitstoot niet hoog te noemen. De opname en uitstoot hangt sterk af van de waterstand in deze moerassen, die varieerde tussen de twee jaren. De resultaten bieden belangrijke handvatten voor mogelijk broeikasgas-sparend natuurbeheer en roept belangrijke vervolgvragen op.

---

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

In het klimaatakkoord wordt naar mogelijkheden gezocht om met ontwikkeling en beheer van natte natuur de broeikasgasemissies naar de atmosfeer te reduceren, de opname daarvan te bevorderen en belangrijke koolstofvoorraden in hoogveen, laagveen, wetlands, kwelders en moeras te beschermen.

Binnen het Klimaatakkoord is een emissiereductie voor landgebonden broeikasgasemissies afgesproken van 1,5 Mt CO<sub>2</sub>-eq per jaar die is vast te stellen conform de EU LULUCF systematiek (Klimaatberaad, 2019). Een constatering van PBL is dat nog veel inspanningen nodig zijn om een effectieve monitoring methodiek te ontwikkelen voor dit onderdeel van het klimaatakkoord (Hekkenberg, 2019). Er is eerder ingeschat dat met natte natuur mogelijk een derde deel van deze ambitie realiseerbaar is. De pilots binnen de klimaatenvoloppes van 2018 - 2020 hebben hiervoor nuttige ervaringen opgeleverd.

De richtlijnen/handreikingen om de emissies en vastlegging van broeikasgassen uit (on)beheerde wetlands (inclusief coastal wetlands = kwelder) te rapporteren zijn in 2019 gewijzigd door IPCC. De meerjarige metingen uit deze pilot kunnen bijdragen aan het vaststellen van emissiefactoren die specifiek voor Nederland zijn (Tier 2). Op dit moment wordt over wetlands gerapporteerd in een Tier 1 benadering. Met name de methaan metingen in Noord-Nederland zijn van groot belang voor het Nederlandse klimaatbeleid omdat er weinig vergelijkbare metingen zijn gedaan voor zoetwatermoeras en veennatuur in Noordwest Europa (Jacobs, 2020).

De kennis over de broeikasgasbalans in veenweidegebieden met een meer landbouwkundig gebruik neemt in Nederland wel steeds meer toe (rond de twintig meetlocaties in 2022) onder coördinatie van het Nationaal Onderzoeksprogramma Veenweiden (NOBV, [www.nobveenweiden.nl](http://www.nobveenweiden.nl)). Het BO Klimaatenvoloppe is op dit moment de enige pilot die onderzoekt wat de bijdrage van natuurontwikkeling en -beheer kan betekenen voor het klimaatakkoord. Binnen het NOBV is in 2021 daarnaast een nieuwe pilot gestart in de Weerribben, op een veenmeer en in diverse natte teelt-pilots (Vrije Universiteit, Radboud Universiteit).

Een complicatie bij natte natuurprojecten op veen en zoete moeraszones is het risico op toenemende emissies van methaan ('moerasgas'), dat een veel sterkere broeikaswerking heeft en die CO<sub>2</sub>-vastlegging effectief weer deels teniet kunnen doen. Of dit risico van methaan emissies groot of klein is hangt af van het historisch landgebruik en de modificaties in het watersysteem. Dit BO project beoogt deze onzekerheid te verkleinen door het doen van meerjarige veldmetingen van koolstofdioxide en methaan op twee locaties in Noord-Nederland met verschillende vegetatie, hydrologische condities maar vergelijkbare bodem.

In de Green deal Nationale Koolstofmarkt (GNDK, 2018) wordt gerekend met een verband tussen de gemiddelde jaarlijkse waterstand en de broeikasgasemissie uit veengrond, gebaseerd op compilaties van Fritz et al (2017) en Jurasinsky (2016). Andere relaties met grondwaterstand zijn gepubliceerd door o.a. Tiemeyer *et al.*, 2016, en Evans *et al.*, 2021. Echter deze relaties, gebaseerd op verspreide metingen met vooral bodemkamers (behalve Evans *et al.*, 2021), vertonen met name vanaf een waterstand van -30 cm opwaarts een grote onzekerheid terwijl we weten dat met name methaanemissies van veel, ook vegetatie-specifieke factoren en weersextremen, kunnen afhangen (Jacobs et al 2020). Om al deze redenen is het wenselijk om de emissies specifiek te kunnen voorspellen uit meer gedetailleerde factoren per wetlandtype waarbij ook de dynamiek in waterstand en temperatuur een rol speelt. Real-time monitoring voor karakteristieke wetlandnatuurtypen is op dit moment een veelbelovend en realistisch perspectief (Kruijt, 2020).



## 1.2 Doelstelling

Voor het onderhavige project is vanaf juli 2020 de opname en uitstoot van CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> gemeten in twee relatief jonge moerasgebieden, de Onlanden en polder Camphuys, beide gelegen in noord-Drenthe onder de rook van stad Groningen. De doelstellingen waren:

- 1) bijdragen aan het mechanistisch begrip van de CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> opname en uitstoot, in relatie tot meteorologie, seizoenen en (grond)waterstand;
- 2) tot een eerste schatting komen van de jaarbalansen van deze gassen;
- 3) een aanzet geven voor inzicht hoe natuur- en waterbeheer deze broeikasgasbalans kan beïnvloeden.
- 4) Inzichten op een rij zetten hoe CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> emissies uit ecosystemen als de Onlanden en Polder Camphuys in de toekomst (na 2026) meegenomen kunnen worden bij de verbetering van de nationale emissierapportages (LULUCF).

---

## 2 Achtergrond en methoden

### 2.1 Achtergrond en locaties

Er is gemeten in 'polder Camphuys' en in het zuidelijke deel van 'De Onlanden', een tweetal locatie, gelegen op de grens van de provincies Groningen en Drenthe. We cireten hier uit het master thesis rapport van Rien Lettink (Lettink, 2021), die een vegetatiekundige studie heeft gedaan, gekoppeld aan een voorlopige analyse van de meetdata tot eind 2020.

#### 2.1.1 Onlanden (6.52414 graden OL, 53.1766, graden NB)



Het natuurgebied de Onlanden maakt deel uit van een groot aantal wetlands waarvan de hoofdfunctie waterbergingsgebied is ter bescherming van de stad Groningen. Tegelijkertijd is dit gebied in beheer bij natuurmonumenten voor natuurontwikkeling in nieuwe natte natuur, en is zeer biodivers. Tot 1998, waren deze gebieden bekend als de 'Eelder en Peizer maden', een door zegges gedomineerd moerasgebied (Loermans iet al., 2017). Dit moerasgebied werd gedraineerd, maar een vernattingsprogramma startte in 2012 waarbij de dijken werden verwijderd waardoor het water van het Eelderdiep en omringende meren ongehinderd het gebied in konden srtomen.

De omgeving van de EC-meetmast (zie onder) staat geclassificeerd als 'klei op veen', met een diepe laag rietveen. Ter plekke is geen klei gevonden. Toegang tot het meetpunt gaat over een smal en laag leidingdijkje. Dominante plantensoorten rondom de meetlocatie zijn *Typha latifolia* en *Phragmites australis*. De Onlanden is een eutroof veenmoeras, gevoed door het Eelderdiep en regenwater, en staat bijna altijd onder water.

De meetmast heeft bijna homogene voetafdruk tot enkele honderden meters rondom, met dien verstande dat in oostelijkde richting het Eelderdiep en meer open water bijdraagt aan de metingen.



*Polder Camphuys* is genoemd naar de familienaam van de vorige eigenaars, en was in het verleden een bemest grasland, deel van landgoed Vennebroek. In 1985 is het aangekocht door Natuurmonumenten en werd de bemesting stopgezet. In 1996 is het drainagesysteem stopgezet, waarna de polder gekoloniseerd werd door *Glyceria maxima* en *Phalaris arundinacea*. In 2006 werd het waterniveau kunstmatig omhoog gezet met 30-60 cm boven het maaiveld. Uiteindelijk is het waterniveau in overeenstemming gebracht met het nabijgelegen Friesche Veen, een voedselrijk meer, waardoor het gebied in de winter volledig onder water staat en 's zomers slechts korte momenten droog staat. De vegetatie wordt nu gedomineerd door *Sparganium erectum* en *Glyceria maxima*. Volgens Douwes et al, 2019, bestaat de bodem uit een dunne kleilaag met daaronder riet-zeggeveen, en vanaf 80 cm diepte veenmosveen.

## 2.2 Methoden

Er is gebruik gemaakt van de eddy-covariance (EC) methode (zie Box 1). Deze geeft continue metingen met hoge tijdsresolutie (half uur, dagelijkse gang) voor een representatief oppervlak in deze gebieden in de orde van een hectare. Omdat er slechts één meetmast aanwezig was, is een methode gekozen waarbij de meetmast elke 2 tot 3 weken verplaatst wordt tussen de twee gebieden. Voor analyse en mechanistisch begrip van de broeikasgasuitstoot is het van belang dat de metingen in voldoende mate de seizoenen en weersomstandigheden vertegenwoordigen. Echter, om tot jaarbalansen te komen van de broeikasgasuitstoot moeten dan de tussenliggende 'gaten' in de datareeks worden 'opgevuld' met statistische interpolatietechnieken. Gaten ontstaan ook omdat er altijd gaten in de meetreeks zitten door diverse uitval, ongunstige windrichting of door de kwaliteitsfilters. De statistische methoden gebruikt voor dit opvullen zijn van verschillende aard en komen uit de familie van *machine learning* technieken.

Naast de directe metingen van deze 'fluxen' van CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> zijn ook de belangrijkste omgevingsvariabelen gemeten, zoals lucht- en watertemperatuur, de stralingsbalans en neerslag. Ook hier is uiteindelijk een continue meetreeks nodig, die in dit geval gevormd is door opvulling met nabije KNMI-weerstations (vliegveld Eelde, in dit geval) Ook was er een webcam aanwezig die elke 2 uur een beeld van de staat van de vegetatie registreerde. Alle data zijn live online beschikbaar en worden elke 30 minuten verstuurd. Grondwaterstanden werden niet door het systeem zelf gemeten, maar zijn afkomstig van externe beheerde, nabije peilbuizen in hetzelfde peilvak

### Box 1: de Eddy Covariance methode (geciteerd uit Jacobs et al, 2020)

Eddy covariance maakt het mogelijk om met één set apparatuur een voetafdruk tot enkele hectares te bemeten. Deze voetafdruk kan dan een deel van de heterogeniteit in een gebied 'dekken'. Deze fluxmetingen met Eddy Covariantie worden gedaan met snelle, gevoelige apparatuur die luchtbeweging en concentraties van gassen combineert, met een mastje op enige hoogte boven het oppervlak waar de gasuitwisseling plaatsvindt. Eenvoudig gezegd, komt de methode erop neer dat we met drie snelle sensors (fig b1, alle met een resolutie van 10 Hz) werken. Een registreert de luchtbeweging in alle drie richtingen plus de temperatuur, een registreert de waterdamp- en CO<sub>2</sub>- concentratie, en een derde registreert de CH<sub>4</sub> concentratie. Op deze manier wordt 10 x per seconde de verticale verplaatsing van deze gassen gemeten als het product van verticale windsnelheid en concentratie. Als we dit over een periode van 30 minuten middelen dan krijgen we de covariantie en weten we het gemiddelde transport op het meetpunt. Om dat de lucht in turbulente wervels op de sensor af waait, zal deze lucht dezelfde hoeveelheid van de gassen transporteren als aan het windopwaardse (land of water) oppervlak. Hoe groter de meethoogte, des te groter de voetafdruk en des te verder 'kijkt' de methode.



**Figuur b1** – een eddy covariance mastje met bovenin (vlnr.) de wind-, H<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub>-, en CH<sub>4</sub> sensoren.

In tegenstelling tot metingen met 'kamers' biedt Eddy Covariantie het voordeel dat een veel groter oppervlak, windopwaards van de sensors) in een keer wordt bemeten, dat deze voetafdruk niet betreden hoeft te worden en dat de metingen geheel geautomatiseerd en continu plaatsvinden. Afhankelijk van de meethoogte (minimaal 150 cm) kan een voetafdruk vanaf 50-70 m tot enkele kilometers windopwaards (breedte ongeveer 20 m) worden 'gezien'. Het bijbehorende nadeel is dat ruimtelijke variatie binnen die voetafdruk alleen is te herleiden uit de variatie van fluxen met de windrichting, en dat, net als bij kamers, alleen de gasuitwisseling van het hele, 'bulk' ecosysteem worden gemeten: de metingen 'zien' niet de opname (fotosynthese) en uitstoot (bv oxidatie van organische stof, ademhaling van wortels en andere organismen in de bodem). Wel is het zo, dat fotosynthese alleen overdag in het licht plaatsvindt, en dat van deze variatie over de tijd gebruik kan worden gemaakt. De uitdaging zit hem dan ook in 1) het beheersen van de voetafdruk binnen het gebied van interesse en 2) het deduceren van de processen waar we in geïnteresseerd zijn (effecten van maatregelen) uit tijdreeksen waar dag en nacht, vegetatie en aard van de voetafdruk (variërend met de windrichting) elkaar afwisselen en variëren.

<sup>1</sup> test

# 3 Resultaten

## 3.1 Introductie

Sinds het installeren van de meetopstellingen is alles voorspoedig verlopen. Er waren kleinere problemen, zoals gebrek aan opgewekte stroom midden in de winter en moeilijke toegankelijkheid van de locaties bij hoog water. Deze zijn goed opgelost met o.a. een windgenerator, aanleg van een steigerpad en een knuppelpad, en een winterpauze in het verplaatsingsschema. Afgezien van kleine technische problemen heeft de apparatuur probleemloos gewerkt en zijn de data bijna onafgebroken binnengehaald. Voor de data-analyse is gaandeweg een steeds efficiëntere procedure ontwikkeld, is er gefilterd op foute data en ongunstige windrichtingen, en is er een op *machine-learning* gebaseerde interpolatietechniek ontwikkeld.

Speciale vermelding verdient de opgebouwde samenwerking met en kennis bij de medewerkers en vrijwilligers van Natuurmonumenten. De beheerseenheid Vennebroek te Paterswolde heeft de gehele periode gediend als uitvalsbasis voor veldwerk, vrijwilligers en enige medewerkers hebben zich met groot enthousiasme en met gebruik van materieel en transportmiddelen ingezet bij het regelmatig verplaatsen van de installatie, het toegankelijk maken van de locaties, bij het vervangen van accu's en het oplossen van incidentele technische problemen. Het onderzoek heeft, naast de wetenschappelijke resultaten, geleerd dat een dergelijke meetcampagne goed en wellicht zelfs alleen uitvoerbaar is met gebruikmaking van lokale krachten.

In diverse presentaties en webinars zijn de tussentijdse resultaten gedeeld met belanghebbenden (zie tabel 3.1). Op het moment van schrijven wordt de dataset onderdeel gemaakt van de veel bredere dataset van alle EC rond het NOBV, het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgasuitstoot Veenweiden, en wordt over deze data ook in geïntegreerde en vergelijkende vorm gerapporteerd. De metingen gaan door en worden verder ontwikkeld door onder NOBV-vlag. Het huidige verslag is daarom eigenlijk wat de resultaten betreft nog steeds een tussenrapportage

De volledige dataset is openbaar en bij de auteurs opvraagbaar. In april 2023 zal de dataset ook direct beschikbaar worden gemaakt, in hanteerbare vorm, via diverse kanalen, onder andere via de website van de toolbox van de VBNE:

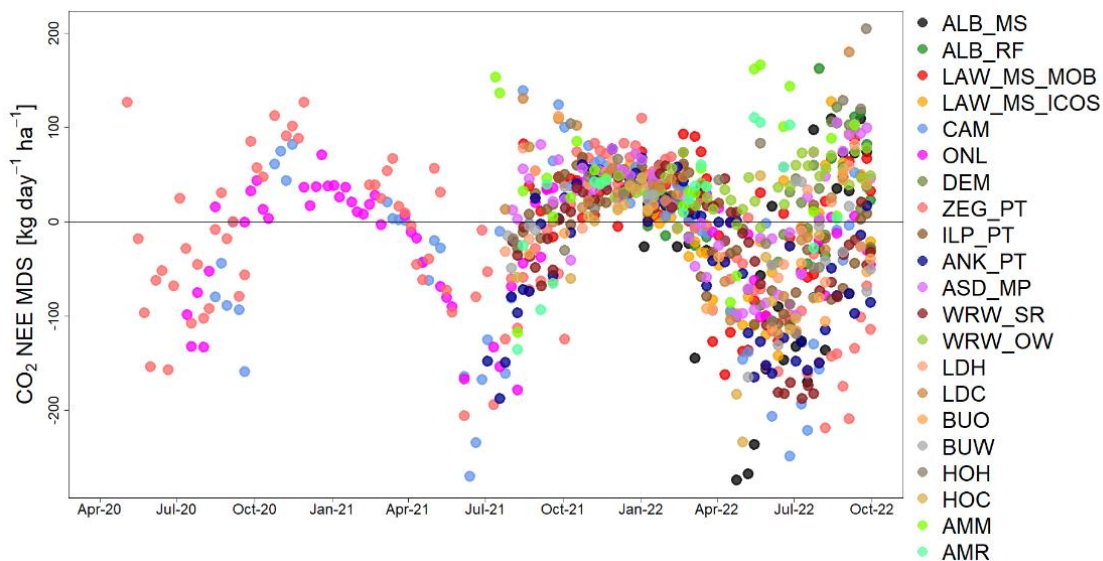
<https://www.vbne.nl/klimaatslimbosennatuurbeheer/maatregel/kwantificeren-broeikasgasbalans-in-natte-natuur>

**Tabel 3.1** - presentaties

<b>Datum</b>	<b>presentatie</b>
<b>December 2020</b>	Presentatie eerst metingen voor VBNE
<b>September 2021</b>	Projectbijeenkomst BBN
<b>Oktober 2021</b>	Projectbespreking Vennebroek
<b>Maart 2022</b>	Presentatie Natuurmonumenten - Onlanden
<b>Mei 2022</b>	'Deelexpeditie' NOBV – presentatie alle data
<b>September 2022</b>	ICOS conference presentatie alle data
<b>November 2022</b>	Lunch-seminar natuurmonumenten, presentatie

## 3.2 Meetresultaten

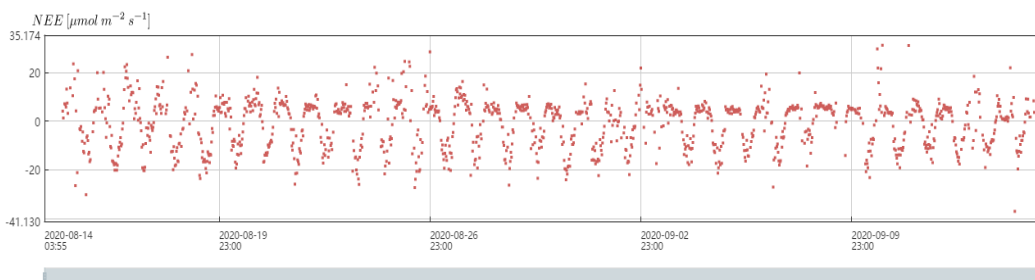
Er zijn meer dan twee jaar aan data verzameld, gestart in juli 2020, en sinds najaar 2021 kunnen we deze vergelijken met een reeks andere locaties van het NOBV en het Friese Veenweidenprogramma in diverse veenweiden, natte teelten en ook rietlanden (fig 3.1).



**Figuur 3.1** Overzicht van de gemeten netto CO<sub>2</sub> uitstoot van alle meetlocaties binnen NOBV (nobveenweiden.nl), dit project en veenweideprogramma Fryslan Elk pont vertegenwoordigt een wekelijks gemiddelde. De sites 'ONL' en 'CAM' vertegenwoordigen Onlanden en Camphuys. Andere locaties bestrijken veenweiden onder verschillend beheer, natte teelten ('\_PT'), rietlanden ('WRW-SR') en open water ('WRW-OW').

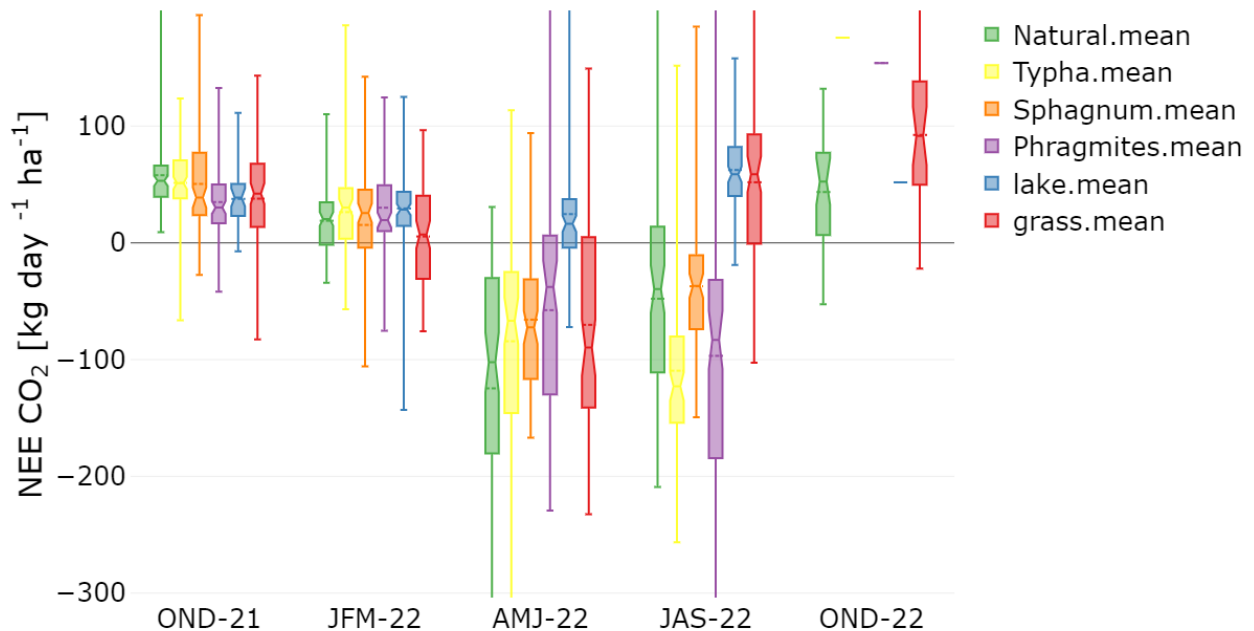
### 3.2.1 Variatie over de tijd

Zowel de netto CO<sub>2</sub> opname (Net Ecosystem Exchange, NEE) als de CH<sub>4</sub> uitstoot uit beide gebieden is relatief hoog. CO<sub>2</sub> uitwisseling laat zoals normaal een grote dagelijks gang zien: overdag opname, 's nachts uitstoot, sterk bepaald door de zonnestraling overdag en door de temperatuur 's nachts (fig 3.2). In vergelijking met veenweiden, paludicultuur (vooral Lisdoddeteelt) en rietmoerassen, voor het jaar 2022, zien we dat de NEE in het voorjaar in gedraineerde veenweiden groter is dan in Onlanden en Camphuys ('natural' in fig 3.3), echter in de zomer verandert de opname in de meeste veenweiden al in een netto-uitstoot terwijl de natte natuurgebieden CO<sub>2</sub> blijven opnemen. In het najaar en winter vormen deze veenmoerassen een kleine bron van CO<sub>2</sub>, terwijl de graslanden in de tweede helft van de winter alweer netto opname van CO<sub>2</sub> laten zien.

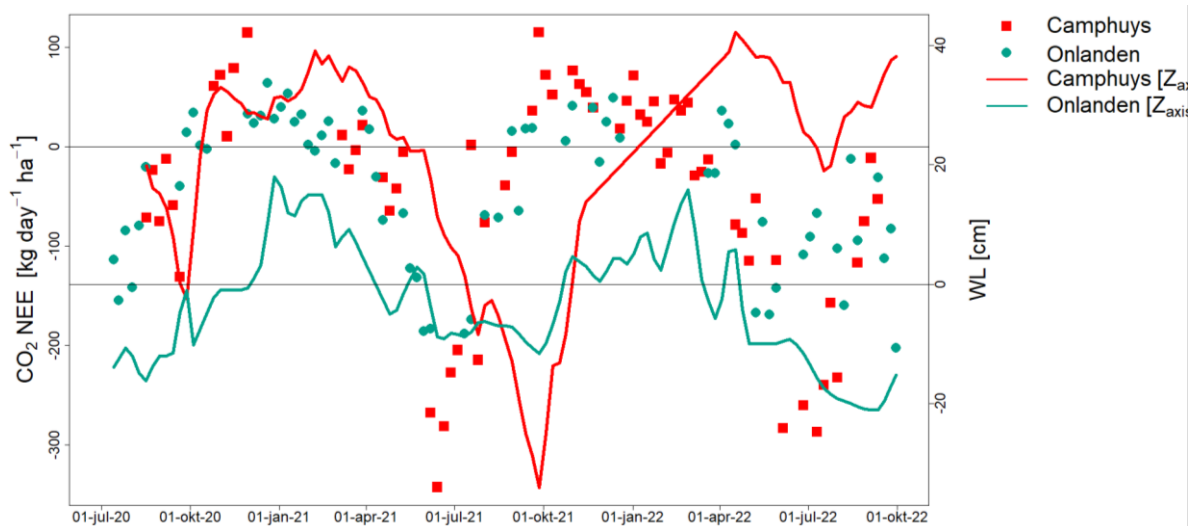


**Figuur 3.2** Half-uurlijkse CO<sub>2</sub> flux, gemeten tijdens de eerste maand van de metingen. De dagelijkse gang (positief – uitstoot 's nachts, negatief; opname overdag) is goed te zien.

In tegenstelling tot in de veenweiden, die altijd groen zijn, sterft in de veenmoerassen en de natte teelten vrijwel alle vegetatie af in het najaar. Dit is naast visueel (geregistreerd als fotoreeks door de bij de meetinstallatie aanwezige webcam) ook te zien in de lokaal gemeten vegetatie-index NDVI. Daarom kan in de winter in veenweiden nog enige CO<sub>2</sub>-opname plaatsvinden terwijl de afgestorven vegetatie in deze moerassen dat nauwelijks doet.



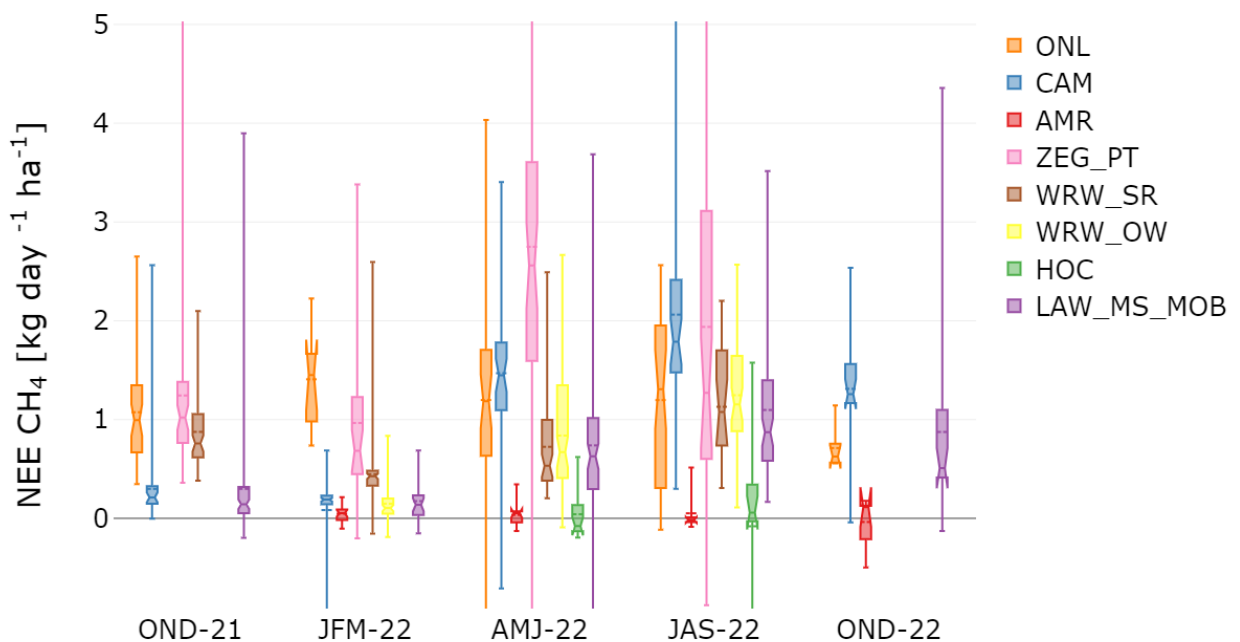
**Figuur 3.3** Box plots van de netto CO<sub>2</sub> uitstoot per seizoen, voor een selectie van de landgebruikstypen in de verzameling data ('Natural' is Onlanden en Camphuys samengenomen; 'sphagnum' staat hier voor Iperveld paludicultuur). In het najaar en winter vertonen alle types een kleine netto uitstoot, in het voorjaar is er overal netto opname, maar in de zomer zijn de graslanden al snel weer bronnen van CO<sub>2</sub> terwijl de natte types, waaronder de veenmoerassen, CO<sub>2</sub> blijven opnemen.



**Figuur 3.4** Wekelijks gemiddelde netto CO<sub>2</sub> uitstoot (punten) en waterstand (lijnen). De absolute waterstand kan enige decimeters hoger of lager zijn.

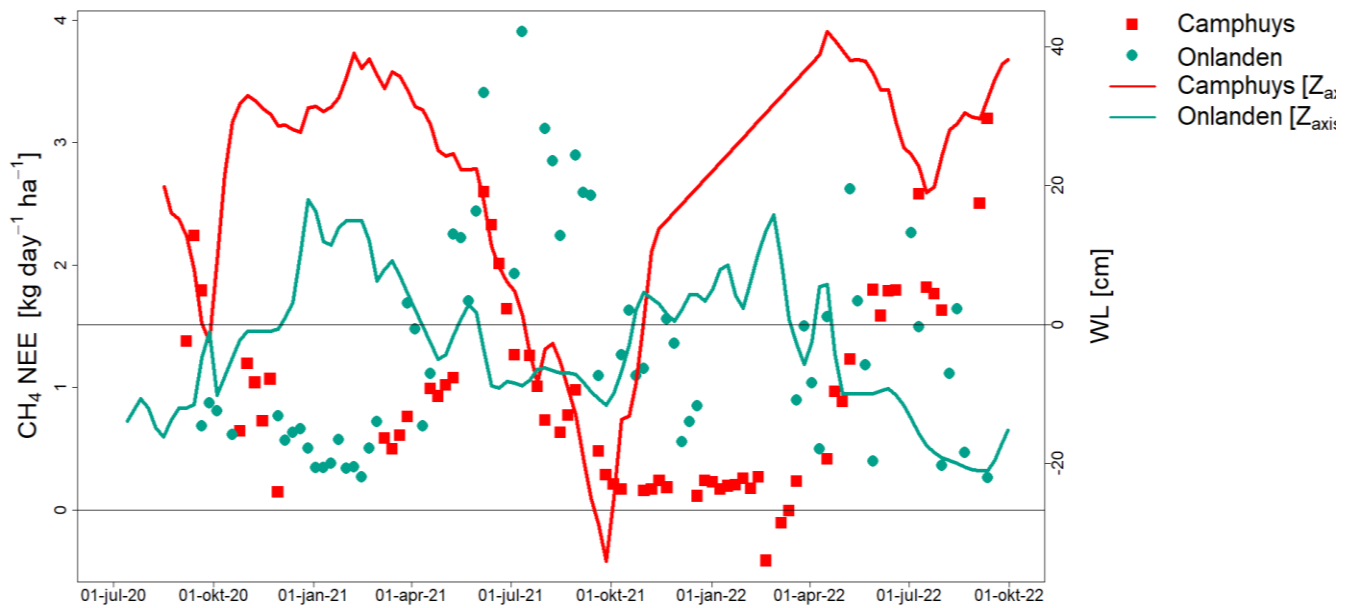
De CO<sub>2</sub> opname in Onlanden en Camphuys was in 2021 en 2022 vergelijkbaar, met dien verstande dat in de Onlanden de opname in de late zomer van 2021 iets hoger was dan in Camphuys en andersom. Figuur 3.4 laat deze variatie over de tijd zien, tegelijk met de grondwaterstanden. De hogere opname was steeds geassocieerd met een relatief hogere waterstand.

De CH<sub>4</sub> uitstoot varieert ook over 24 uur, maar minder sterk. Hier is altijd sprake van uitstoot, die vooral afhangt van de temperatuur en in mindere mate van de waterdiepte en vegetatie-eigenschappen (Jacobs et al, 2021, Tiemeyer et al, 2016, Evans et al, 2021). In vergelijking met veenweiden, waar de grondwaterstand (bijna) altijd onder het maaiveld ligt, is de methaanuitstoot groot ('HOC' in fig 3.5). In fig. 3.5 laten we ook metingen in mais op veen zien ('AMR'), waar de methaanuitstoot echt nihil is. In de nattere veenweiden ('LAW\_MS\_MOB' in fig. 3.5) is er nog wel sprake van enige methaanuitstoot, waarschijnlijk vanuit de relatief brede sloten een vaarten. Vanuit open (veen-)water en rietkraggen in de Weerribben (resp. 'WRW\_OW' en 'WRW\_\_SR' in fig 3.5) wordt ook veel methaan uitgestoten. Echter, in vergelijking met natte teelten ('ZEG\_PT' in fig 3.5) is de uitstoot beperkt. De uitstoot is het hoogste in de zomermaanden. Net als voor de CO<sub>2</sub> opname geldt dat het verschil in de hoogte van de CH<sub>4</sub> uitstoot in Onlanden en Camphuys tegengesteld was in 2021 en 2022: in de Onlanden was de uitstoot hoger in 2021, terwijl die in 2022 hoger was in Camphuys (fig. 3.6). Dit verschil lijkt ook hier duidelijk gerelateerd aan de waterstand: in 2021 viel Camphuys in de zomer droog en bleef Onlanden geïnundeerd, terwijl dat in 2022 omgekeerd was.



**Figuur 3.5** Box plots van de CH<sub>4</sub> uitstoot per seizoen, voor een selectie van de landgebruikstypen in de verzameling data. 'ONL' en 'CAM' zijn respectievelijk Onlanden en Camphuys.



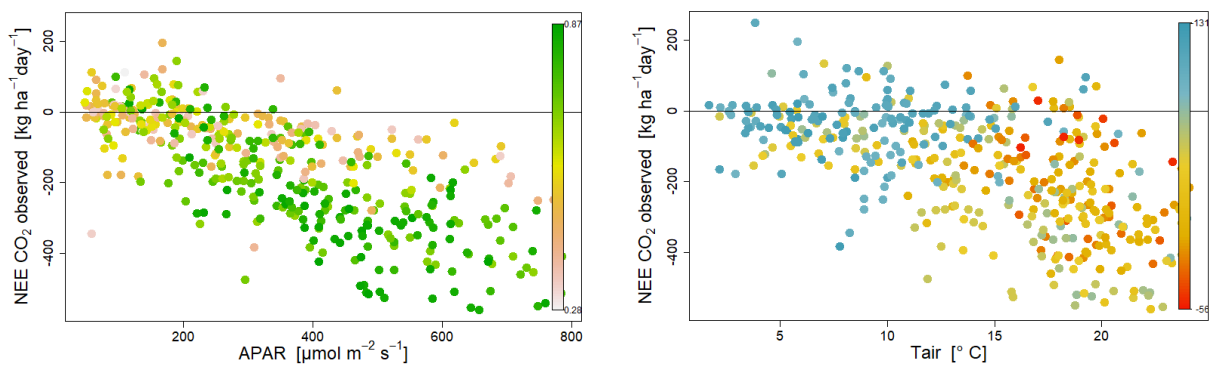


**Figuur 3.6** Wekelijkse gemiddelde netto CH<sub>4</sub> uitstoot (punten) en waterstand (lijnen). De absolute waterstand kan enige decimeters hoger of lager zijn.

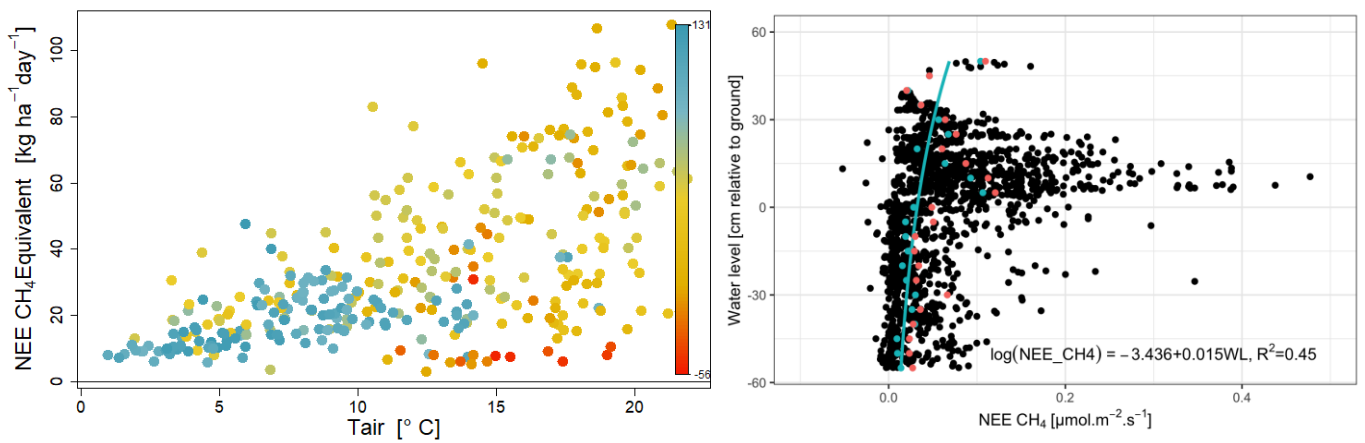
### 3.2.2 Afhangelijkheid van omgevingsvariabelen

Zowel de CO<sub>2</sub> opname als de CH<sub>4</sub> uitstoot hangt naar verwachting samen met de lokale samenstelling van de vegetatie (o.a. Hendriks et al., 2010, Van den Berg *et al.*, 2020, Van den Berg en Gremmen, *in prep*). Gedurende eind 2020, na een beperkt aantal maanden meten, is er door een MSc student uit Utrecht in het kader van zijn afstuderen onderzoek gedaan naar de relatie tussen de gemeten fluxen tot dan toe en de relatieve aanwezigheid van de diverse subtypen in Onlanden en Camphuys. Er waren rond die tijd echter nog niet voldoende data aanwezig voor heldere conclusies, en deze analyse is sindsdien nog niet weer herhaald op de grotere dataset.

Voor de CO<sub>2</sub> opname geldt dat deze overdag duidelijk afhangt van de dagelijks inkomende zonnestraling, en 's nacht van de temperatuur (fig 3.7). De afhankelijkheid van de 'groenheid' van de vegetatie, hier weergegeven met de NDVI duidelijk zichtbaar in deze grafieken, terwijl het waterpeil een minder duidelijk effect heeft (het lijkt erop dat CO<sub>2</sub> opname zowel bij maximum als bij minimum peil onderdrukt is).



**Figuur 3.7** Relaties van de gemiddelde CO<sub>2</sub> uitstoot in Onlanden en Camphuys overdag (negatief is opname) met links het licht (APAR-geabsorbeerde fotosynthese-straling) en NDVI (kleur = groenheid) en rechts met luchttemperatuur en waterstand (kleur, rood is lage waterstand).

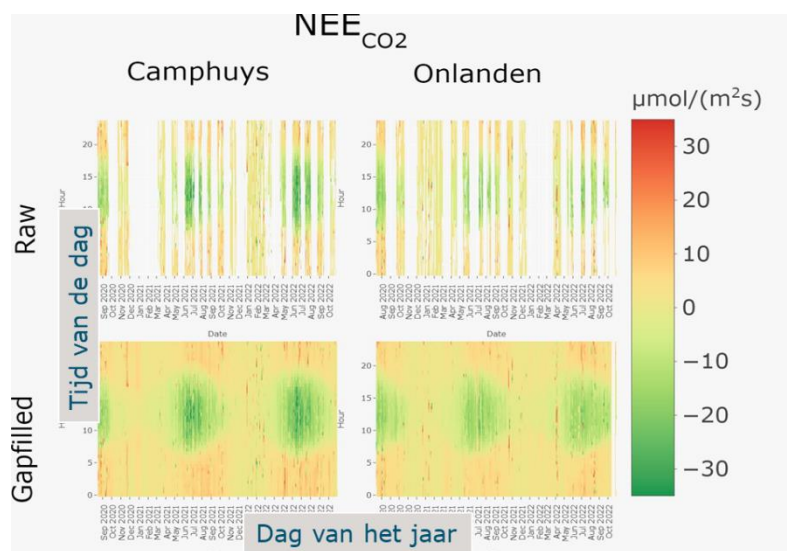


**Figuur 3.8** Relaties van de gemiddelde dagelijkse CH<sub>4</sub> uitstoot (negatief is opname) met links de luchttemperatuur en waterstand (kleur, rood is lage waterstand), alleen voor Onlanden en Camphuys en rechts met de waterstand, voor alle locaties in NOBV, dit onderzoek en Veenweiden Fryslan. Rechterfiguur is geciteerd uit Buzacott et al, 2023, in prep.

In de tijdsreeksen was al duidelijk te zien dat de CH<sub>4</sub> uitstoot van de temperatuur en waterstand afhangt, zoals die varieert over de seizoenen. Daarom ligt het voor de hand een directe relatie te leggen tussen deze variabelen, waarbij wel rekening gehouden moet worden met het feit dat temperatuur en waterstand gecorreleerd zijn met de seizoenen, en dus niet uitgesloten kan worden dat er meer factoren van invloed zijn, zoals de ontwikkeling van de vegetatie. De toename van de uitstoot met de temperatuur is duidelijk te zien in fig 3.8 (links) waarbij ook te zien is dat deze kleiner is als de waterstand lager is. In Fig 3.8 (rechts) zijn de CH<sub>4</sub> fluxen uit alle NOBV-gerelateerde locaties samen geplot tegen de (grond)waterstand. Deze figuur is nog voorlopig, maar de trend is zeer duidelijk: de uitstoot neemt toe met de waterstand. Het is uit deze data nog niet duidelijk of er een maximum is rond de +10 cm boven maaiveld/waterbodembodem. De fluxen daarboven laten weliswaar een afname zien, maar de verschillende grondwaterstanden in deze voorlopige metingen zijn nog niet allemaal nauwkeurig gecorrigeerd, waardoor de curve nog kan verschuiven bij nader onderzoek.

### 3.2.3 Cumulatieve CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> opname of uitstoot

Om tot cumulatieve jaarbalansen te komen moeten alle fluxen over de tijd worden opgeteld, zonder dat er data ontbreken. De *gap filling* is met succes toegepast volgens diverse *random forest* machine learning methoden. Figuur 3.9 visualiseert de procedure middels twee 'vingerafdruk' plots. Hierbij is het patroon van de fluxen door het jaar heen te zien als contourplot tegen dag van het jaar en tijd van de dag. De geïnterpoleerde data laten duidelijk het seizoenspatroon zien, met een asymmetrisch begin en eind van het groeiseizoen en geen gevallen waar de opvulmethode grote afwijkingen van het gemiddelde laat zien.

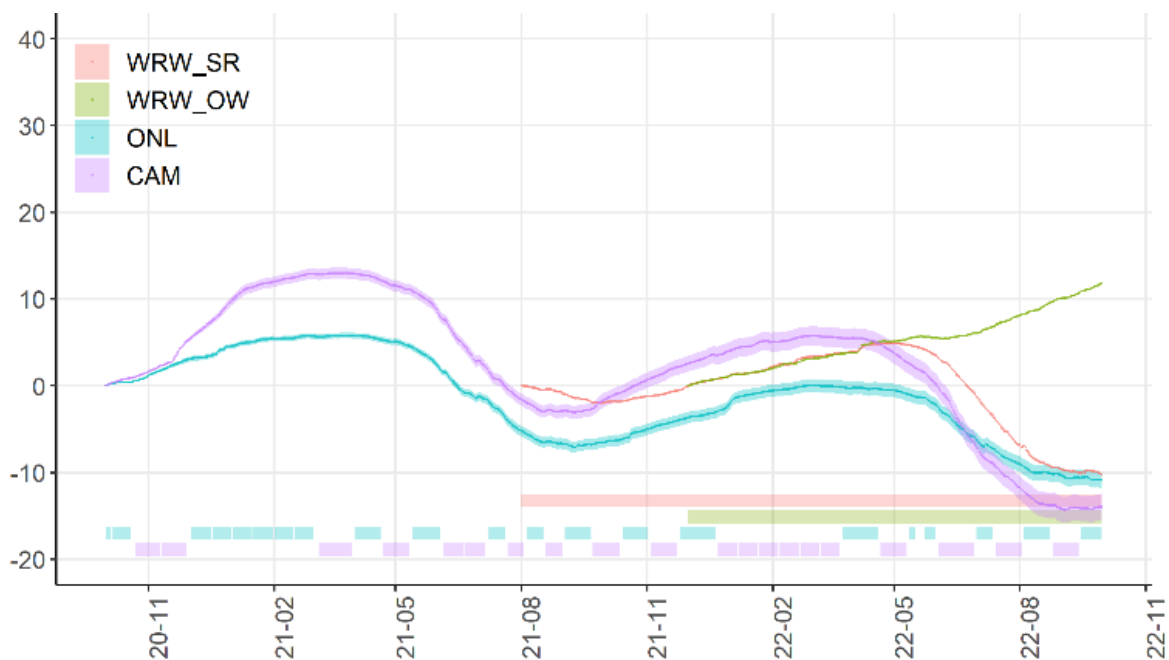


**Figuur 3.9** Illustratie van statistisch interpoleren. Boven worden alleen de gemeten data getoond, onder de 'opgevulde' datareeksen.

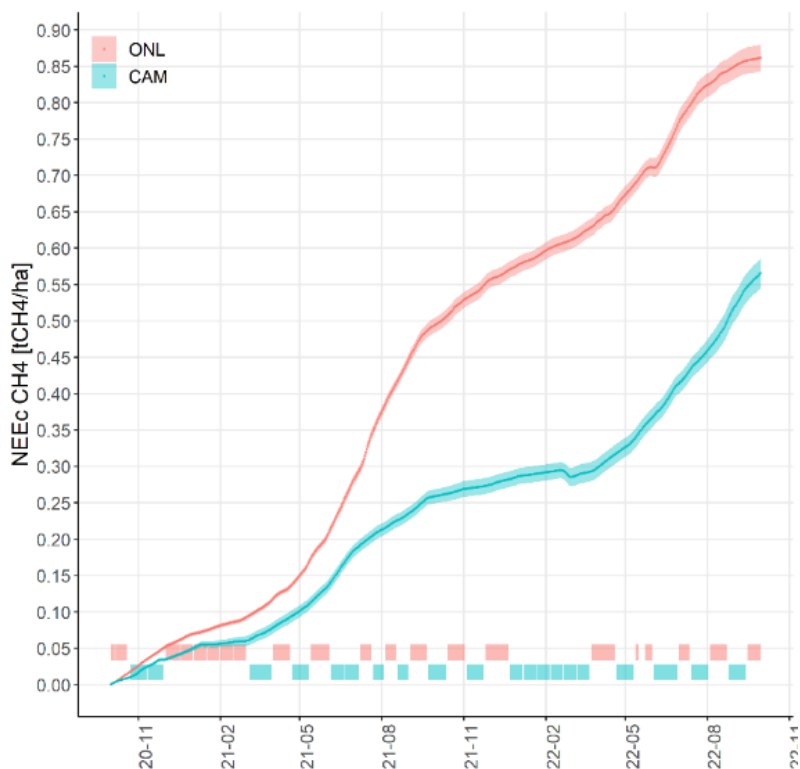
Figuur 3.10 laat de cumulatieve, geïnterpoleerde CO<sub>2</sub> fluxen zien sinds het begin van de metingen. Ter vergelijking worden hier ook de fluxen van het NOBV rietmoeras (Weerribben) en open water (Duinigermeer) getoond. Rondom de lijnen is de onzekerheidsmarge van de interpolatie (standaardfout van het ensemble van vele interpolatiemethoden) met een schaduwband aangegeven. Zoals te zien is deze onzekerheid erg klein. In deze cumulatieve figuren is ook duidelijk te zien dat in 2021 de Onlanden de grootste cumulatieve opname vertoonde terwijl in 2022 dat voor Camphuys het geval was. In vergelijking met het rietmoeras in de Weerribben was de opname iets hoger, terwijl het Duinigermeer volgens deze metingen altijd een aanzienlijke CO<sub>2</sub>-bron was.

Voor CH<sub>4</sub> is de situatie anders. De processen achter CH<sub>4</sub> fluxen zijn nog veel minder goed begrepen, daarom is interpolatie ook nog veel moeilijker. Figuur 3.11 toont de cumulatieve, geïnterpoleerde uitstoot over de meetperiode van CH<sub>4</sub>. Met name in 2021, met hogere waterstand, was de uitstoot uit de Onlanden groter dan in Camphuys. Er zijn wat kleine 'dipjes' te zien in de opgaande lijn, die korte perioden van methaan-opname zouden weerspiegelen, echter deze zijn waarschijnlijk niet realistisch, maar het gevolg van meetruis.

Tabel 3.2, tenslotte geeft voor beide jaren een samenvatting van de totale uitstoot van CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub>, alsmede van de CO<sub>2</sub>-equivalente uitstoot. Het is belangrijk zich te realiseren dat het voor dergelijke jaartotalen veel kan uitmaken waar het cumulatieve jaar begint. We zien hier deze moerassen ondanks de aanzienlijke CO<sub>2</sub> opname per saldo een positieve CO<sub>2</sub>-equivalente uitstoot geven, dus dat de methaanuitstoot de opname ruimschoots compenseert. Het effect van het droogvallen van Camphuys (2021) respectievelijk Onlanden (2022) is in beide soorten fluxen te zien. Opvallend is de erg hoge CO<sub>2</sub>-opname in Camphuys toen het in 2022 geïnundeerd bleef.



**Figuur 3.10** Cumulatieve, geïnterpoleerde CO<sub>2</sub> uitstoot over de gehele meetperiode, met onzekerheidsmarge als schaduw band. Ter vergelijking wordt ook de uitstoot van de NOBV-locaties in de Weerribben (WRW\_SR, rietkraggen) en Wieden (Duinigermeer, WRW\_OW) getoond. Onderaan de figuur is met balkjes aangegeven of er gemeten data aanwezig ware voor elke locatie.



**Figuur 3.11** Cumulatieve, geïnterpoleerde CH<sub>4</sub> uitstoot over de gehele meetperiode, met onzekerheidsmarge als schaduw band. Onderaan de figuur is met balkjes aangegeven of er gemeten data aanwezig ware voor elke locatie.

**Tabel 3.2** *geschatte jaartotalen in ton ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> en standaardfout van de range van alternatieve interpolatiemethoden. CO<sub>2</sub>-eq is berekend met een factor 28 maal de CH<sub>4</sub> uitstoot over een periode van 100 jaar.*

	<b>10/2020 – 10-2021</b>	<b>10/2021 – 10-2022</b>
<b>Onlanden CO<sub>2</sub></b>	-6.503±0.62	-4.407±0.301
<b>Onlanden CH<sub>4</sub></b>	0.49±0.01	0.37±0.02
<b>Onlanden CO<sub>2</sub>-eq</b>	7.217±0.9	5.953±0.861
<b>Camphuys CO<sub>2</sub></b>	-1.669±0.808	-12.352±0.699
<b>Camphuys CH<sub>4</sub></b>	0.26±0.01	0.31±0.01
<b>Camphuys CO<sub>2</sub>-eq.</b>	5.611±1.088	-3.672±0.979

DISCLAIMER: deze getallen zijn voorlopig, en hangen af van begin-en startdatum en van de keuzes in interpolatiemethode. Standaardfouten representeren niet alle onzekerheid en variatie, maar slechts de interpolatiemethode.

---

## 4 Discussie, conclusie en aanbevelingen

### 4.1 Haalbaarheid

De eddy covariance methode werkt goed in een lastig toegankelijk, heterogeen gebied als een veenmoeras. Toegankelijkheid van de meetmast moet wel geregeld zijn, zeker als de meetinstallatie regelmatig verplaatst moet worden. Lokaal aanwezige hulpkrachten zijn ook essentieel om een goede continuïteit van de datastroom te garanderen. Voor een vaste meetopstelling waar slechte incidenteel een accu moet worden vervangen of apparatuur onderhouden, is die iets minder kritisch. Echter heterogeniteit en ontoegankelijkheid van het gebied zelf maakt het vrijwel onmogelijk om representatieve, regelmatige metingen te doen met alternatieve methoden zoals statische kamers. Karakteriseren van de vegetatie en ondergrond is wel belangrijk en dat zal eenmalig of een maal per jaar moeten worden uitgevoerd. Remote sensing technieken kunnen hierbij aanvullend gebruikt worden. In het onderhavige onderzoek is deze karakterisering, evenals een directe monitoring van de grondwaterstand, tot nu toe onderbelicht gebleven.

De aangeschafte methaansensor voldoet goed. Weliswaar gebruikt deze meer energie dan de rest van het meetsysteem en vallen de data eerder uit omdat de spiegels van het apparaat te nat of vuil waren, toch functioneert hij jaar-rond in een meetsysteem met laag elektrisch vermogen en levert genoeg gegevens op om jaarbalansen op te stellen en processen te bestuderen. De gekozen benadering om afwisselend in Camphuys en de Onlanden te meten heeft goed gewerkt, afgezien van het feit dat het arbeidsintensief en dus relatief duur is. De gaten tussen de meetperiodes blijken met geavanceerde statistische technieken zoals *random forest* met lage onzekerheid uit te voeren.

### 4.2 Verschillen in CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> uitstoot

Beide moerassen nemen relatief veel CO<sub>2</sub> op en stoten CH<sub>4</sub> uit, vergelijkbaar met (voedselarmere?) rietmoerassen in de Weerribben, echter beide in iets mindere mate dan (bemeste) natte teelten met o.a. Lisdodde en Zegge-soorten. Daarmee hebben deze systemen een netto positieve (opwarmende) CO<sub>2</sub>-equivalente werking. Hoe de vergelijking en het effect precies uitpakt, heeft alles te maken met het beheer: in de Onlanden en Camphuys blijft alle afgestorven vegetatie in het systeem liggen en zal ofwel afbreken ofwel bijdragen aan veenvorming. Als riet of lisdodde geoogst en afgevoerd worden, dan is het belangrijk hoe het gebruikt wordt. Hiermee is het netto klimaateffect van de half-natuurlijke natte ecosystemen en teelten moeilijker in te schatten dan die van veenweiden waar alle gras geoogst wordt in een korte cyclus. Wat betreft de cumulatieve jaartotalen voor CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> moet er een belangrijk voorbehoud gemaakt worden. De getallen liggen in de verwachte grootteorde, zowel in vergelijking met paludicultuur en veenweiden in het NOBV netwerk als in vergelijking met de literatuur (Tiemeyer et al, 2016, Evans et al, 2021). De jaarbudgetten van Onlanden en Camphuys reflecteren verklaren ook de observatie dat droogvallen van een moeras aanzienlijke invloed heeft op de broeikasgasbalansen. Echter, er is nog veel onzekerheid over de te volgen interpolatiemethoden, met name voor methaan. Ook is er nog discussie over de precieze criteria voor filteren en het bepalen van de voetafdruk van de fluxen. *Daarom moeten de gegeven getallen nog als indicatief gezien worden.* Meer meetjaren en meer tijd voor analyse, vergelijking, review en reflectie is nodig om meer zekerheid te bieden.

### 4.3 Procesanalyse

Om voorspellende modellen te maken, toepasbaar in andere moeras-ecosystemen en gebieden, is het belangrijk dat de processen beter worden begrepen. Deze analyse van de onderliggende processen achter de CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> balans is tot nu toe in beperkte mate gedaan. Bij CO<sub>2</sub> gaat het om de fotosynthese, plant-respiratie en bodem-respiratie. De relaties met inkomende straling en lucht-of bodemtemperatuur zijn gelegd

en volgen de verwachting. Echter, Er kan nog veel onderzoek gedaan worden naar hoe de fotosynthesecapaciteit (de opname onder hoog licht) en *light use efficiency* fotosynthesetoename per eenheid licht) afhangt van de meteorologie, de staat van de vegetatie, de soortsamenvestelling inde voetafdruk, etc. Voor de plant- en bodemrespiratie geldt dit naast de staat van de vegetatie, voor factoren als de afhankelijkheid van bodemwater, grondwater, etc.

Bij CH<sub>4</sub> zijn de processen nog minder bekend, maar naast de duidelijke temperatuur- en waterstand-afhankelijkheid is het van belang te kijken naar factoren als de relatie met verdamping, luchtvochtigheid, zuurstof in de bodem en water (Van den Berg et al, 2020). Met name bij methaanfluxen is er een vermoeden verschillende soorten in verschillende mate het transport en oxidatie van CH<sub>4</sub> beïnvloeden (Van de Berg en Gremmen, *in prep*).

De onderhavige dataset en nog te meten uitwisseling in komende jaren geeft unieke mogelijkheden om deze relaties in meer detail te bestuderen. Hiervoor moet in meer detail de voetafdruk van de fluxen worden geanalyseerd, om te kijken wanneer welke vegetatietypen 'gezien' worden door het meetsysteem. Er zal ook meer onderzoek en inventarisatie gedaan moeten worden aan de bodem en vegetatie in deze voetafdruk-gebieden.

## 4.4 Implicaties voor natuurbeheer en verder onderzoek

Het effect op de methaanuitstoot van het droogvallen van Camphuys in 2021 en Onlanden in 2022 illustreert duidelijk dat water/natuurbeheer van aanzienlijke invloed kan zijn op de methaanuitstoot. Omgekeerd geldt dit voor de CO<sub>2</sub> opname, die lager was als de waterstand lager was (inundatie lijkt de opname van CO<sub>2</sub> te bevorderen). Een eerste-orde conclusie zou dan kunnen zijn dat het tijdelijk droogvallen van een moerasgebied in de zomer gunstig is voor de methaanuitstoot maar dat de opname van CO<sub>2</sub> daardoor geremd wordt. Het is goed mogelijk dat de CO<sub>2</sub> opname verder gestuurd kan worden door de waterstand pas te verlagen als de vegetatie volgroeid is, of de CH<sub>4</sub> uitstoot ook te beïnvloeden met slimme manipulatie van de (dynamiek van de) waterstand. Uiteraard geldt dit niet waar de waterstand niet kunstmatig te sturen is. Hoe een en ander de ecologie en biodiversiteit beïnvloedt, ook over langere termijn, moet uiteraard bezien worden, echter dat valt buiten het kader van deze studie.

Waar wel nog veel meer onderzoek aan gedaan kan worden met deze en andere datasets, is of de soortsamenvestelling (riet, lisdodde, egelskop, etc) van invloed kan zijn, en of daar wellicht op gestuurd kan worden. Tenslotte zal de voedselrijkdom ook beide broeikasgassen beïnvloeden. In bemeste paludicultuur speelt dit ongetwijfeld een rol bij de hogere uitstoot en opname. Naarmate een ecosysteem voedselarmer wordt zullen waarschijnlijk zowel CO<sub>2</sub> opname als CH<sub>4</sub> uitstoot lager worden. Dit alles roept dan ook vragen op voor verder onderzoek. Met name in Polder Camphuys is het goed mogelijk om te experimenteren met manipulatie van de waterstand, die daar kunstmatig hoog gehouden wordt. De effecten van de moerassen op de warmtebalans, dus verkoeling of warmtebuffers, is slechts oppervlakkig onderzocht, maar de beschikbare dataset en toekomstige jaren zullen hier nog veel kansen voor bieden.

Voor verder onderzoek betekent dit, dat het zeker de moeite waard is om meer jaren door te meten in deze gebieden. Een keuze zal moeten worden gemaakt uit vragen zoals: is het effect van waterstand reproduceerbaar in andere jaren? Kan de waterstand kunstmatig gemanipuleerd worden, wat is bijvoorbeeld het effect van korter durende drooglegging dan wel inundatie? Daarnaast geven meer jaren onderzoek kans op een meer nauwkeurige afbakening van verschillen tussen vegetatie-typen omdat dan meer data beschikbaar zijn die 'toevallig' van een bepaald type afkomstig zijn.

Concluderend, het onderzoek in Onlanden en Camphuys heeft nu al een schat van gegevens opgeleverd, die extra meerwaarde zullen geven als het onderzoek nog 2 jaar gecontinueerd wordt. Dit zal des te meer het geval zijn als de twee locaties worden geüpgraded naar continue meetlocaties met een uitgebreidere monitoring van omgevingsvariabelen en vegetatie-status.

---

## 4.5 Betekenis van het onderzoek voor klimaatbeleid

### 4.5.1 LULUCF Emissierapportage

Vanaf de periode 2021-2025 moeten EU-lidstaten emissies en verwijderingen van broeikasgassen voor de sector landgebruik, verandering in landgebruik en bosbouw (LULUCF) afrekenen volgens de boekhoudregels die zijn vastgelegd in de EU LULUCF verordening (EU) 2018/841. Hieronder vallen ook de typen moeras in de Onlanden en Polder Camphuys. De Onlanden en Polder Camphuys zijn te omschrijven als 'beheerde wetlands' met een organische bodem (veen) onder de LULUCF-verordening (artikel 2). In de periode 2021-2025 worden de emissies gerapporteerd in de landgebruikscategorie 'Grasland', zonder onderscheid of dit areaal een landbouwkundige functie heeft of een natuurterrein is.

De rapportagemethodiek voor beheerde wetlands gaat vanaf 2026 veranderen, Nieuwe LULUCF verordening, december 2022). Er is bepaald dat na 2026 'wetlands' wel mee moeten tellen in de LULUCF-accounting, waarbij de Europese Commissie de mogelijkheid heeft om op basis van ervaringen tijdens de eerste periode deze verplichting nogmaals met 5 jaar uit te stellen (artikel 2.4 uit de LULUCF-verordening). Uiteindelijk zullen Lidstaten voor alle pools en landgebruiksveranderingen op Tier-3 niveau moeten gaan rapporteren. Tier-3 betekent dat Nederland voor natuurveengebieden, zoals de Onlanden, (1) areaalveranderingen moet gaan monitoren en (2) moet gaan werken met lidstaat specifieke emissie factoren voor CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O en CH<sub>4</sub> die horen bij nat natuurveen waar een beheerregime op van toepassing is, denk aan waterbeheer (peilopzet) of vegetatiebeheer (oogsten of maaien van vegetatie).

De toegepaste meetmethode in de Onlanden en polder Camphuys maakt het mogelijk om de netto uitwisseling van de broeikasgassen (CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub>) vanuit het wateroppervlak en de vegetatie in te schatten in fluxen naar de atmosfeer (In Engels: Net Ecosysteem Exchange); NEE. In de LULUCF rapportering worden verandering in vastgelegde broeikasgassen uitgedrukt in parameters zoals biomassa, bodem, opgelost organisch materiaal in de waterkolom, en dood materiaal. Voor iedere parameter is in de rapportering onderscheid gemaakt tussen bodemsoort (mineraal of organisch), type broeikasgas en Nederland hanteert momenteel drie 'vernattingsregimes' (goed/gemiddeld/slecht) gedraineerd. Er zijn rekenmethoden voor LULUCF beschikbaar om de gemeten NEE terug te rekenen naar wijzigingen in de verschillende voorraden (biomassa, bodem, dood materiaal, opgelost), mede aan de hand van default waarden als omschreven in IPCC (2006) en het wetland supplement (2013).

- Deze generieke internationale default waarden kunnen voor de Nederlandse omstandigheden met dit type monitoringdata, als verzameld in deze twee gebieden, voor Nederland specifiek gemaakt worden. De tijdreeks (2 jaar) is nog wel kort en dekt nog niet de ruimtelijke en temporele variatie, maar het meetwerk wordt met drie jaar verlengd;
- Met Eddy/Cov en de NEE-methode is de uitwisseling van waterbodem-waterkolom-atmosfeer goed in kaart te brengen. Een aandachtspunt is de uitwisseling van organisch materiaal in het horizontale vlak tussen moerasnatuur en de wateren die in verbinding staan met het moeras, de wateraanvoer en de waterafvoer. Dit kan een 'lek' zijn in de balans. Het goede nieuws is dat dit lek op zich wel goed is te onderzoeken met beschikbare meetmethoden. In voedselweb onderzoek bij de UvA en bij WENR is dit soort uitwisseling van organisch materiaal bijvoorbeeld onderzocht bij de monding van IJssel en Vecht en bij de Oostvaardersplassen (Verdonschot et al., 2022).
- De classificering van vernatting (3 categorieën) die in de Nederlandse LULUCF systematiek toegepast wordt is 'net acceptabel' voor CO<sub>2</sub>, maar zeker onvoldoende voor de CH<sub>4</sub> uitwisseling tussen moeras en atmosfeer. Juist tussen 0 en -20cm (maaiveld) is de relatie tussen waterpeil en CH<sub>4</sub> uitstoot nog niet goed begrepen. De meetlocaties in polder Camphuys leent zich ervoor om dit nader te onderzoeken omdat het waterpeil op deze locatie zeer controleerbaar is en er ruimte is om hiermee te experimenteren. Bij de Onlanden is het moeilijker om gecontroleerde omstandigheden te realiseren ten bate van onderzoek omdat hier aan het peilbeheer veel meer maatschappelijke randvoorwaarden hangen.



#### 4.5.2 Klimaatakkoord

Voor het klimaatakkoord is het vervolg van de metingen belangrijk. Wat kan vegetatie en waterbeheer betekenen om de balans in vastlegging en emissie van broeikasgassen te wijzigen in een netto afname van de uitstoot uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten. Kan de uitstoot van methaan, die hoort bij dit type natuur, gecompenseerd worden met de vastlegging van CO<sub>2</sub>? Wat gebeurt er met geogste biomassa waarin CO<sub>2</sub> is vastgelegd, veen wat boven water komt bij de aanleg van petgaten en wat is de verandering in koolstofvoorraden wanneer bos wordt omgezet in natte natuur of vice versa?

Inzicht hierover is cruciaal voor de beoogde maatregelen in natte natuur binnen het klimaatakkoord waaraan natuurterreinbeheerders momenteel aan denken. Waar zitten de quick-wins (voor 2030) en waar duurt langer voordat er een klimaatvoordeel in de natte natuur wordt gerealiseerd. De startcondities zijn ook belangrijk. Natuurveengebieden die oorspronkelijk altijd al een natuurfunctie hadden, zullen een ander emissiepatroon hebben in vergelijking tot nieuwe natte natuur op oude landbouwgronden. Op de laatste locaties kan bijvoorbeeld de uitstoot van lachgas een risico zijn in het begin.

#### 4.5.3 Meekoppelkansen met klimaatadaptatie en biodiversiteit

Vernattingsmaatregelen, in bestaande natte natuur of op oude agrarische gronden, kunnen bijdragen aan klimaatadaptatie. Bodemdaling wordt vertraagd en bij sterke vernatting stilgezet. Vernatting maakt de natuur ook bestendiger voor droogte, dat met klimaatverandering meer zal voorkomen. Het hoogste doel van vernatting voor natuurbeheer is herstel van de biodiversiteit. Hier spelen ook dilemma's: niet alle doelen tegelijkertijd zijn met winst realiseerbaar.

---

# Literatuur

- Berg, M., van den , van den Elzen, E., Ingwersen, J., Kosten, S., Lamers, L. P., & Streck, T. (2020). Contribution of plant-induced pressurized flow to CH<sub>4</sub> emission from a Phragmites fen. *Scientific Reports*, 10(1), 1-10.
- Berg, M. V.d., & Gremmen, *in prep.*
- Buzacott et al, 2023, *in prep*, Report 2022 to NOBV, Methane fluxes.
- Douwes, R., Borren. W., de Bruin, J., Dijkema, J., de Haan, B., Purmer, M., van Schie, M., Schollema, P.P., Smits, G. (2019). Beheernotitie Friese Veen
- Evans, C. D., Peacock, M., Baird, A. J., Artz, R. R. E., Burden, A., Callaghan, N., ... & Morrison, R. (2021). Overriding water table control on managed peatland greenhouse gas emissions. *Nature*, 593(7860), 548-552.
- Fritz, C., J. Geurts, S. Weideveld, R. Temmink, F. Bosma, F. Wichern, F. Smolders, and L. Lamers. 2017. Meten is weten bij bodemdaling-mitigatie. *Bodem 2*.
- GDNK. 2018. Methode voor vaststelling van emissiereductie CO<sub>2</sub>-eq - CO<sub>2</sub>-emissiereductie via verhoging grondwaterpeil in veengebieden ('Valuta voor Veen'). Greendeal Nationale Koolstof Markt.
- Hekkenberg, M. 2019. Effecten ontwerp klimaatakkoord. Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag, p. 135.
- Hendriks, D. M. D., Van Huissteden, J., & Dolman, A. J. (2010). Multi-technique assessment of spatial and temporal variability of methane fluxes in a peat meadow. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(6), 757-774.
- Jacobs, C. M. J., B. Kruijt, and J. A. Veraart. 2020. Mogelijke methaanuitstoot bij vernatting van natuurgebieden op organische bodems. Een beperkte literatuurstudie - Achtergrond memo. Wageningen Environmental Research, Wageningen, p. 20.
- Jurasinski, Gerald & Günther, Anke & Huth, Vytas & Couwenberg, John & Glatzel, Stephan. (2016). Greenhouse gas emissions. In: Paludiculture – productive use of wet peatlands (pp.79-93)Chapter: 5.1Publisher: Schweizerbart Science PublishersEditors: Wendelin Wichtmann, Christian Schröder, Hans Joosten
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa, Japan.
- IPCC. 2014. 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. Methodological Guidance on Lands with Wet and Drained Soils, and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. IPCC, Switzerland.
- IPCC. (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use. IPCC, Switzerland. Jarusinsky, G. et al, 2016. 5.1 Greenhouse gas emissions. P 79-93 (Boek Wichtmann, W. et al., 2016. Paludiculture – productive use of wet peatlands. Climate protection – biodiversity – regional economic benefits. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart.
- Klimaatberaad. 2019. Klimaatakkoord (versie 28 juni 2019). Den Haag, p. 237.
- Kruijt, B - notitie rapportage KE3 2020
- Lettink, M., 2021, Assessing vegetation type specific C emissions to estimate regional C emissions from two Dutch fens., MSc thesis/internship report Utrecht University.
- Loermans, J., Reitsma, J., Niemeijer,, I., Inberg, H., de Gier, P. (2017) Vegetatie- en plantensoortenkartering Onlanden 2017
- Tiemeyer, B., Albiac Borraz, E., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer, C., ... & Zeitz, J. (2016). High emissions of greenhouse gases from grasslands on peat and other organic soils. *Global change biology*, 22(12), 4134-4149.
- Verdonschot, R. C. M., J. de Vries, G. H. van der Lee, A. Bakker, A. M. van Noord, and P. F. M. Verdonschot. 2022. Verbrede blik op het voedselweb en ecologisch functioneren van de Nederlandse grote wateren: Verkenning van de rol die het achterland speelt bij het ecologisch functioneren van het IJsselmeergebied aan de hand van stofstromen - Deel I Theoretisch kader en casestudie IJssel-Vechtdelta., WENR rapport 3214, p. 64.



---

Wageningen Environmental Research  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[wur.nl/environmental-research](http://wur.nl/environmental-research)

Wageningen Environmental Research  
Rapport XXXX  
ISSN 1566-7197



---

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.