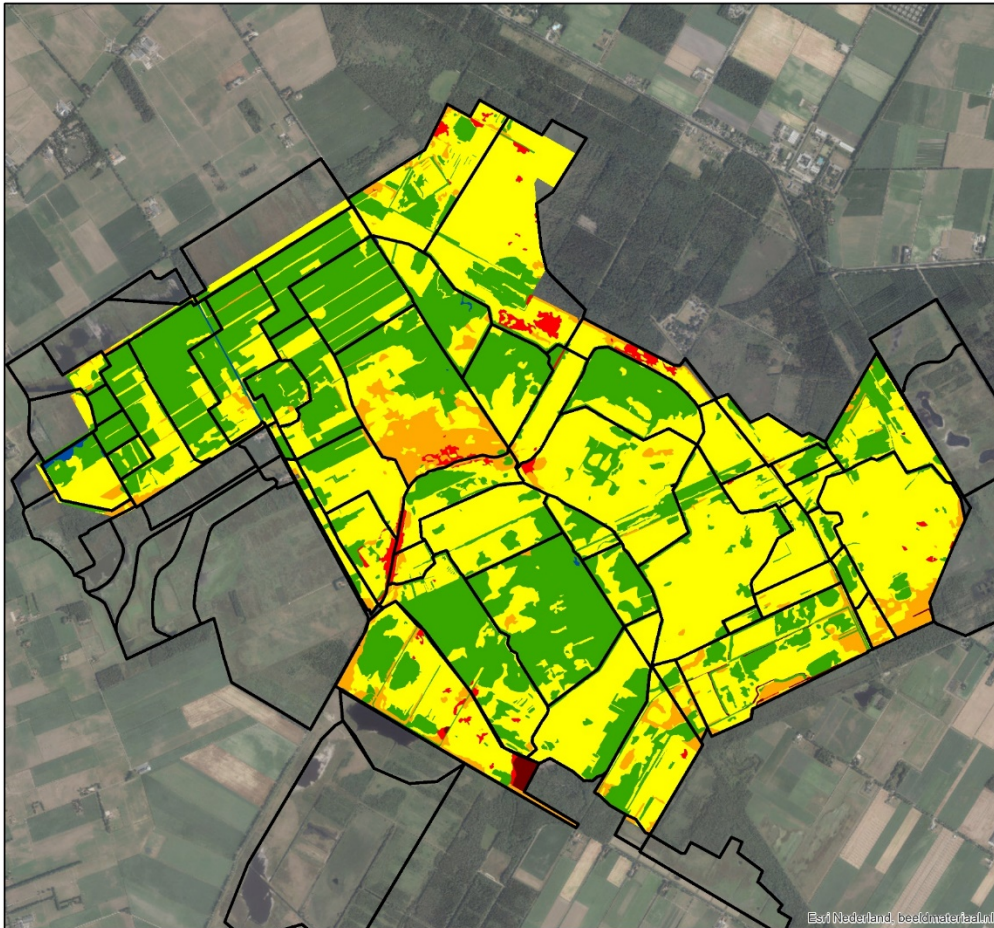


# Broeikasgasemissie in het Fochteloërveen; Inschatting met de GEST-methode

*Een voorbeeld van het monitoren en kwantificeren van de broeikasgasemissies in een klimaatbuffer-in-het-kwadraat*



Christian Fritz & Gert-Jan van Duinen

Radboud University



Notitie in opdracht van



Natuurmonumenten

*Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van en gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'Klimaatvelop Klimaatlim Bos, Natuur en Hout'.*

*Bij deze notitie hoort een presentatie die als figurenbijlage en extra toelichting dient. In deze notitie wordt naar slides uit die presentatie (van Duinen & Fritz 2020) verwezen.*

**Disclaimer**

Aan deze notitie kunnen geen rechten worden ontleend. De auteurs zijn niet verantwoordelijk voor eventuele fouten of consequenties ontstaan door het toepassen van delen van deze notitie. Aanvullingen of verbeteringen zijn welkom.

## Broeikasgasemissie in het Fochteloërveen; Inschatting met de GEST-methode

**Een voorbeeld van het monitoren en kwantificeren van de broeikasgasbalans in een klimaatbuffer-in-het-kwadraat.**

*Bij deze notitie hoort een presentatie (van Duinen & Fritz 2020) die als figurenbijlage en extra toelichting dient. In deze notitie wordt naar slides uit die presentatie verwezen.*

### Inleiding

In het Fochteloërveen zijn in de afgelopen 30 jaar maatregelen genomen om het functioneren van het gebied als hoogveen te herstellen en te verbeteren. De inzet daarbij was en is om de hydrologische situatie te verbeteren – verminderen van de wegzijging, vasthouden van water, verhogen van de waterstanden – ten einde het veen te behouden en de ontwikkeling van hoogveenvegetaties te bevorderen.

Hoogveenvegetatie met een hoog aandeel aan bultvormende veenmossen (bijv. *Sphagnum magellanicum*, *S. papillosum*) wordt beschouwd als een efficiënte klimaatmaatregel: hoge koolstof vastlegging bij (zeer) kleine methaan (CH<sub>4</sub>) en lachgas (N<sub>2</sub>O) productie (Fritz 2012). Hoe meer ‘echte’ hoogveenvegetatie des te hoger de potentiële vastlegging van CO<sub>2</sub> en des te geringer de uitstoot van CH<sub>4</sub>. Naast veranderingen in vegetatie kan een verhoging of verlaging van grondwaterstanden de uitstoot van CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O uit veenbodems en andere organische bodems direct beïnvloeden. Door warmere zomers en achteruitgang van de hydrologische situatie (bijv. door lekkage van de damwanden) wordt ervan uit gegaan dat de uitstoot van koolstofemissies, met name CO<sub>2</sub>, zou kunnen toenemen in het Fochteloërveen. Natuurmonumenten heeft interesse om een mogelijke verhoging van broeikasgasemissies door verdroging te kwantificeren door middel van emissie-indicatoren op basis van vegetatie en verloop van grondwaterstanden.

In de voorliggende analyse worden de broeikasgasemissies in het Fochteloërveen bepaald aan de hand van de GEST-methode. Dit wordt gedaan voor zowel recente historische situaties als voor toekomstscenario's. Daarmee wordt de huidige broeikasgasbalans inzichtelijk gemaakt, maar wordt ook getoond wat de potentie van inrichtingsscenario's is voor het verbeteren van deze balans.

Tevens dient deze analyse als voorbeeld van een werkwijze die gevolgd kan worden voor het monitoren en kwantificeren van broeikasgasemissies in klimaatbuffers-in-het-kwadraat<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> De term 'klimaatbuffers-in-het-kwadraat' wordt gebruikt voor natuurlijke klimaatbuffers, waarin niet alleen sprake is van klimaatadaptatie, maar ook van klimaatmitigatie (CO<sub>2</sub>-emissiereductie of -vastlegging). Het is een vorm van multifunctionele klimaatbuffers.

## Methodiek

Er zijn verschillende methoden om de vastlegging van koolstof en de uitstoot van broeikasgassen te meten en in te schatten. In Box 1 worden de verschillende mogelijkheden kort besproken (van Duinen et al. 2018). Voor de inschatting van de effecten van herstelmaatregelen in het Fochteloërveen op de broeikasgasbalans is in dit project gewerkt met de zogenaamde Greenhouse gas Emission Site Types (GESTs) methode. Belangrijke overwegingen zijn dat gebruik kan worden gemaakt van 1) de vegetatiekartering en gegevens van veendikte en waterstanden die reeds aanwezig zijn van het Fochteloërveen en 2) geen tijdrovende directe metingen tegen hoge kosten hoeven worden doorgevoerd. Een belangrijk voordeel van deze methode is dat er ook een scenario kan worden ontwikkeld, waarbij een inschatting kan worden gemaakt over de effecten van de maatregelen op de waterstanden, vegetatiesamenstelling en daarmee op de emissie van broeikasgassen en vastlegging van koolstof en de toekomstige broeikasgasbalans in het gebied.

### Box 1 - Kwantificeringsmethoden emissiereductie van broeikasgassen

Er is een scala aan methoden om de uitstoot van broeikasgassen te kwantificeren. We bespreken vier methoden die vaak worden toegepast op veenecosystemen. De methoden verschillen in de verhouding tussen directe en indirecte kwantificering. De Eddy-covariance methode en closed chamber methode hebben het hoogste aandeel van werkelijke gasflux metingen in het veld. Beide methoden vereisen een grote inzet in termen van tijd en geld (€ 10.000-50.000 per hectare per jaar). Methoden die een geringere inzet in termen van geld en tijd vereisen zijn het gebruik van door het IPCC geaccepteerde emissiefactoren en de kwantificering met behulp van hoge-resolutie emissiefactoren voor zogenaamde Greenhouse gas Emission Site Types (GESTs).

Alle methoden berusten op directe en indirecte metingen. Verder gebruiken alle methoden modellering en/of schaling procedures om gasfluxen te schatten. Dit resulteert in een mate van onzekerheid binnen elk van de beschikbare methoden. De onzekerheid hangt vooral af van de meetfrequentie en de kwaliteit van de proxy-gegevens (bijv. vegetatie, temperatuur) of de gegevens die nodig zijn voor de procedure die gebruikt wordt om gaten tussen meetpunten op te vullen.

1. *Eddy-covariance technieken* meten broeikasgasfluxen op hectareschaal en worden vaak toegepast in de landbouw, waar grote en relatief homogene percelen de fluxberekeningen mogelijk maken. De metingen zijn gebaseerd op een statistisch model van turbulenties in de lagere luchtlagen (eddies of draaikolken) en hoog frequente metingen van gasconcentraties. Bomen en struiken veroorzaken een hoge onzekerheid in Eddy-covariance gasfluxmetingen. De variabele mix van open en bebost gebied in de Grote Peel zou de installatie van minimaal 5 Eddy-covariance stations over het gebied vereisen.

2. Met de *closed chamber methoden* worden slechts kleine oppervlakken (0,25 tot 4 m<sup>2</sup>) gemeten. Daarom dienen ze in duplo te worden ingezet voor elk belangrijk vegetatietype (en eventuele verschillende situaties in waterstandsregime binnen een vegetatietype). Broeikasgasfluxen op basis van gasmetingen in closed chambers vereisen een aanzienlijke up-scaling in ruimte en tijd. In de praktijk zijn directe gasmetingen vaak beperkt tot een maandelijks of tweewekelijkse meetfrequentie, vanwege de grote inspanning in arbeidstijd die closed chamber metingen vereisen. Onzekerheid van de up-scaling procedure in veengebieden komt voornamelijk voort uit de ruimtelijke en temporele variabiliteit in waterniveau, redox situatie in de bodem, biomassa ontwikkeling, beheer, microtopografie, beschikbaarheid van voedingsstoffen, temperatuur en beschaduwing. Beboste gebiedsdelen kunnen niet volledig gemeten worden met behulp van de closed chamber techniek. Gezien het grote aantal vegetatietypen en terreinsituaties in de Grote

Peel, zou een groot netwerk van closed chambers (meer dan 30 locaties) en klimaatstations met bodemsensoren nodig zijn, dat gedurende minstens 2 jaar in bedrijf is.

3. De nationale autoriteiten kunnen momenteel de uitstoot van broeikasgassen rapporteren in het kader van het Kyoto-protocol met behulp van *emissiefactoren op basis van vormen van grondgebruik*, die door het IPCC zijn geaccepteerd. Vanaf 2020 is deze rapportage verplicht. Het onderscheid in vormen van grondgebruik volgens de IPCC-systematiek is echter te grof om veranderingen in de emissie van broeikasgassen als gevolg van het relatief kleinschalige natuurbeheer te kwantificeren.

4. Het gebruik van Greenhouse gas Emission Site Types (GESTs) biedt een hoge ruimtelijke resolutie met behulp van vegetatie als een integrale proxy voor de uitstoot van broeikasgassen (Couwenberg et al. 2011). De samenstelling van de vegetatie wordt bepaald door dezelfde factoren als de uitstoot van broeikasgassen: waterstand, seizoensvariatie in temperatuur, beschikbaarheid van voedingsstoffen. Vegetatie kan zelf ook de broeikasgasbalans beïnvloeden, bijv. via koolstofvastlegging bij veenvorming door veenmossen. GESTs zijn gebaseerd op gepubliceerde directe metingen (vaak closed chamber metingen) in Noordwest-Europa, waaronder een aantal locaties in Nederland. De onderliggende database wordt regelmatig bijgewerkt, wanneer nieuwe meetgegevens beschikbaar komen. In plaats van de grove indicatoren binnen de IPCC—systematiek (bos, akker, grasland, moeras, 'overig land') die op de nationale schaal gebruikt worden, zijn de GESTs veel gedetailleerder. De GEST-benadering maakt het mogelijk scenario's voor de vernatting en vegetatieontwikkeling door te rekenen en onderling of met de huidige situatie te vergelijken op de gevolgen voor de balans van de broeikasgassen.

### **Gebruik van de GEST-methode**

*Zie ook slides 4 t/m 10 in de presentatie.*

De waterstand heeft een belangrijke rol in de emissie en vastlegging van broeikasgassen, maar ook andere standplaatscondities spelen een rol: de soortensamenstelling van de vegetatie (afbreekbaarheid van het plantenmateriaal en de aanwezigheid van aerenchym in planten) en het landgebruik (met name bemesting). Door Couwenberg et al. (2008, 2011) wordt daarom binnen de klassen van waterstanden een onderscheid gemaakt tussen verschillende vegetatietypen. De bestaande GEST-waarden zijn bruikbaar voor hoog- en laagveengebieden in de regio Nederland, Duitsland en van Zuid-Zweden tot Noord-Frankrijk (o.a. Liu et al. 2020). Binnen Noordwest-Europa blijkt er een relatief geringe variatie te zijn in de emissie en vastlegging van koolstof voor de vegetaties die in de Peel voorkomen. Er wordt hier gebruik gemaakt van de meest recente uitwerking van de GESTs (Couwenberg et al. in voorbereiding) uit 2018. Voorbeelden van de toepassing van de GEST methode zijn te vinden in Joosten et al. 2015, van Duinen et al. 2015, van Duinen et al. 2018 en Liu et al. 2020.

De emissie en vastlegging van de verschillende broeikasgassen kan gesommeerd worden en met behulp van door het IPCC vastgestelde omrekenfactoren voor het broeikasgaseffect van CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O (omrekenfactoren resp. 1, 28 en 265) uitgedrukt worden in tonnen CO<sub>2</sub>-equivalenten per hectare per jaar (Myhre et al. 2013).

### **Toepassing GEST-methode in Fochteloërveen**

Er is gebruik gemaakt van de volgende beschikbare data:

- Vegetatiekarteringen uit 2002 en 2014 ([slides 23 en 24](#))
- Hydrologische meetdata
- Maaiveldhoogte AHN 1 en 2 ([slides 11 t/m 13](#))

- Veendiktekaart ([slide 15](#))

De analyses zijn in eerste instantie gedaan voor enkele hoogveencompartimenten (zie [slide 20](#); selectie gemaakt door opdrachtgever). Daarna is een extrapolatie naar de overige compartimenten gemaakt.

Op basis van de gemeten waterstanden en de maaiveldhoogte is voor 2002 en 2014 de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) bepaald ([slide 21](#)), die als basis dient voor de waterstandsklassen. Daarnaast is voor de waterstandsklassen (o.a. voor compartimenten zonder waterstandsmetingen) gebruikt gemaakt van indicatorsoorten ([slide 23](#)). In [slide 25 t/m 27](#) staan de resulterende waterstandsklassen. Vervolgens zijn de GESTs bepaald op basis van de vegetatiekaarten en de waterstandsklassen ([slide 22, 28 en 29](#)).

Broeikasgasemissies op basis van de GEST-methode zijn berekend voor:

- Historische situaties:
  - 2002
  - 2014
- Toekomstscenario's (op volgorde van droog naar nat; zie ook [slide 45](#)):
  - Verdrogingsscenario
  - Herstelscenario
  - Koolstofscenario (Herstel versnelt zich en acrotelmontwikkeling)

## Resultaten

De berekende broeikasgasemissies (Global Warming Potentials, GWPs) zijn weergegeven in :

- 2002 → [slide 32 en 36](#)
- 2014 → [slide 33 en 37](#)
- Verdrogingsscenario (mogelijk ruimtelijke uitkomst) → [slide 42](#)
- Herstelscenario (mogelijk ruimtelijke uitkomst) → [slide 43](#)
- Koolstofscenario (mogelijk ruimtelijke uitkomst) → [slide 44](#)

Bij vergelijking van 2002 en 2014 valt op ([slide 32 t/m 38](#)):

- De twee periodes 2002 en 2014 laten zeer lage emissies zien, met in grote delen van de compartimenten emissiewaarden tussen nagenoeg geen emissie en emissies kleiner dan 5 t CO<sub>2</sub>-e ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>.
- In de 4 compartimenten lijkt het global warming potential op basis van de GEST analyse in 2014 lager dan in 2002. De grootste emissie reductie over de periode 2002-2014 komt in compartiment 1C (kern) voor.
- Naast een verlaging van de emissie kan in delen van het gebied ook een verhoging van emissies optreden. Nader onderzoek is nodig om de bron van de verhoging te vinden. Naast daadwerkelijke verdroging is het ook mogelijk dat de methodiek van de vegetatiekartering tussen de twee periodes mogelijk verschilt, waardoor op basis van de vegetatie een andere GWP wordt ingeschat. Bijv. in 2002 lijken structureel vaker ook lage bedekkingen van gewone dophei en veenmos te zijn genoteerd. Een ander verschil in de methodiek hangt samen met de vegetatiekundige classificatie: een vegetatie die in het ene jaar als een verarmde, vergraste vorm van vochtige heide werd geclassificeerd, kan mogelijk in het andere jaar als een droge heide met een bedekking van Gewone dophei of een vegetatie van Pijpenstrootje zijn geclassificeerd.
- De detailanalyse in de 4 compartimenten laat een verschuiving van waterstandsklassen zien. Het voorkomen van relatief droge omstandigheden 4+/3+ en zeer natte omstandigheden 6+ in 2002 verandert in waterstanden van 5+/4+ (plas dras en tijdelijk uitzaken in de zomer).
- De vermindering van zeer natte omstandigheden lijkt op het eerste gezicht paradoxaal gezien de maatregelen op hogere waterstanden gericht zijn. Een verklaring hiervoor is te vinden in het ontwikkelen en uitbreiden van hoogveenbulten ten koste van slenkvegetatie en het dichtgroeien van permanent open water (6+) met een drijvend veenmosdek. Dus ook al zouden de waterstanden t.o.v. NAP gelijk blijven, dan groeit het maaiveld door de vegetatieontwikkeling omhoog; een directe indicatie voor koolstofvastlegging!
- Over het hele Fochteloërveen valt op dat emissiereductie vooral in de kern en het NW-gedeelte van het gebied lijkt plaats te vinden ([slide 36 t/m 38](#)). Dit ruimtelijke patroon komt goed overeen met het herstel van veenmossen (bijv. te zien in >20% en >50% bedekking van veenmos [slide 40](#)).

Bij beschouwing van de toekomstscenario's valt op ([slide 41 t/m 48](#)):

- In het scenario 1 'verdroging gaat door' (d.w.z. geen herstelmaatregelen) zou een verschuiving plaatsvinden van waterstandsklassen 5+ en 5+/4+ naar 4+/3+ en 3+ gepaard met duidelijke hogere emissies. Veenmosarealen zullen grotendeels (buiten de kern) uitdrogen en Pijpenstro en heide gaan weer meer domineren, zoals voorafgaand aan de vernattingsmaatregelen het geval was. Voor het hele gebied kan dat leiden tot een verhoging van de emissie tot 4500 t CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar. Vooral gebieden in het NW-gedeelte en het centrum (compartimenten 9-11) waar vooral dankzij de vernattingsmaatregelen recent grote uitbreiding van de veenmossen heeft plaatsgevonden, zullen veel verandering laten zien.

- In het scenario 2 'herstel' wordt verwacht dat ontwikkeling en uitbereiding van de hoogveenvegetatie gestabiliseerd wordt. Deels zullen veenmossen herstellen, bultvorming uitbreiden en deels zal er meer natte heidevegetatie voorkomen. Echter wordt verwacht dat de ontwikkeling ruimtelijk zeer variabel is, omdat sommige compartiment regelmatig het verschijnsel van droogval zullen vertonen ondanks hoge peilen. Op basis van ruimtelijke spreiding wordt een emissiereductie tussen 400 en 1700 t CO<sub>2</sub>-equivalenten/jaar geschat.
- In het scenario 3 'versneld herstel en acrotelmvorming' wordt verwacht dat maatregelen doelgericht ingezet worden op het vestigen en uitbreiden van sleutelsoorten welke koolstofvastlegging zonder methaanemissies kunnen realiseren. Er wordt van uitgegaan dat in de helft van Fochteloërveen bultvormende veenmossen en (zeer) natte heidevegetatie zich gaan vestigen. Verder wordt verwacht dat in delen waar in 2014 slenkvegetatie dominant was bultvormende veenmossen grootschalig zullen uitbreiden en tot dominantie komen. Door de hoge bedekking en het extra volume van veenmossen en hun tussenruimten/poriën kan regenwater in de mossen en het gevormde veen/strooisel vastgehouden worden. Mogelijk dat het uitzakken van waterstanden in de zomer verder beperkt wordt op het moment dat de ontwikkelde dichte veenmoskussens (van bultvormende veenmossen) een acrotelmfunctie toelaat. Op basis van ruimtelijke spreiding wordt een emissiereductie tussen 700 en 3500 t CO<sub>2</sub>-equivalenten/jaar geschat.



## Conclusies en discussie

### Belangrijkste conclusies:

- De broeikasgasemissies zijn berekend voor zowel twee historische jaren (2002 en 2014), als voor drie mogelijke toekomstscenario's. De GEST-analyse levert een bruikbare schatting van emissies en de potenties van emissiereductie in de ruimte.
- Verbetering van omstandigheden voor koolstofopslag en veenbehoud kunnen zichtbaar gemaakt worden op basis van de GESTypen en al bestaande vegetatiegegevens.
- De maatregelen in de compartimenten hebben tot duidelijke lagere emissies geleid.
- De toekomstscenario's laten echter ook zien dat er nog meer potentie tot emissiereductie is.
- Daartoe is het wel noodzakelijk om een herstelstrategie (herstelscenario) of een nog sterkere vernatting (koolstofscenario) te volgen. In een verdrogingsscenario zullen de emissies namelijk sterk toenemen.

### Onzekerheden in de analyses:

- Vegetatiedata in 2002 bevat meer en andere subtypen dan in 2014, wat tot een overschatting van de emissies in 2014 t.o.v. emissies in 2002 kan leiden. De met de GEST-analyse berekende emissiereductie over de periode 2002-2014 zou in dat geval extra conservatief zijn.
- De ruimtelijke verspreiding van veenlagen, moerige gronden en koolstofrijke bodemlagen is onzeker. Voor de huidige GEST-analyse is er van uitgegaan dat moerige gronden evenveel CO<sub>2</sub> uitstoten als ontwaterde veengronden met voedselarme vegetatie (c.f. Wilson et al. 2016). De hoge dichtheden van koolstof en nutriënten in moerige gronden en restveen zijn indicatoren voor substantiële CO<sub>2</sub>-productiesnelheden (per vierkante meter). In compartiment 12A en aangrenzend worden emissies op de zandruggen (zuiden van het compartiment) overschat, omdat hier slechts ten dele koolstofrijke, moerige of veenbodems aanwezig zijn. In een aanvullende analyse kan dit in meer detail onderzocht worden.
- Extrapolatie ([slides 36 t/m 38](#)) op basis van de 4 compartimenten en een gedetailleerde hydrologische analyse is robuust. Desondanks zou aanvullende informatie over het wegzijgen en vasthouden van een wateroverschot per compartiment de GEST-analyse wel nauwkeuriger maken. Ten deel zijn de nodige waterstandsreeksen beschikbaar of kunnen afgeleid worden. Deze aanvullende analyses vielen echter buiten de scope van dit onderzoek.

Aanbevelingen voor monitoring ten behoeve van de GEST-methode:

- Aanbeveling vegetatiekartering (o.a. [slide 34, 49](#)): Maak richtlijnen en criteria voor komende vegetatiekarteringen, zodat koppeling aan GESTypen en vergelijking tussen jaren eenduidiger wordt. Problemen ontstaan bij het gebruik van rompgemeenschappen of classificatie als 'verarmde vormen' van een vegetatietype, waarbij niet meteen helder is welke soorten dan ontbreken en wat dat zegt over de terreincondities. Bijv. typering van een vegetatie als droge heide met daarin Gewone dophei, of als een type van vochtige heide; of een verarmde vorm van vochtige heide (is dat mogelijk zonder Gewone dophei?), of een droge heide. De veenmosbedekking en bedekking Gewone dophei geven belangrijke indicaties voor de vochtigheid en daarmee voor de emissie. Voor een goede evaluatie van de ontwikkelingen is het belangrijk dat de toename van de bedekking van veenmossen (met onderscheid tussen bult- en slenksoorten) helder is; bij de kartering in 2002 lijken lage bedekkingen van veenmossen vaker te zijn opgenomen dan in 2014. Toen is ook vaker een bedekking van Gewone dophei genoteerd. Dit heeft consequenties voor de inschatting van waterstandsklassen en de indeling in de GESTypen (vooral compartiment 12A: droge heiden).
- Aanbeveling hydrologische monitoring: Plaatsen van extra peilbuis in compartiment 13. Detail hoogtekartering van peilbuizen en hoogveenvegetatie geeft inzicht in het verschil tussen absolute verdroging en relatieve verdroging t.o.v. maaiveld (cf. Fritz 2012).

## Dankwoord

De analyse is mogelijk gemaakt door samenwerking met Natuurmonumenten in persona van Wiebe Borren, Paul Vertegaal, Roos Veeneklaas, Roel Douwes en de rijksoverheid in het kader van de klimaatvelop. Speciaal dank aan Menno van Zuijlen van Natuurmonumenten voor het beschikbaar stellen van de vegetatie data en advies omtrent gebruik van de vegetatie database.

Remco Versluys heeft deze analyse is mogelijk gemaakt door zijn gedegen hydrologische analyse en het verzorgen van de visualisatie in GIS. Dank hiervoor. Weier Liu van de Rijksuniversiteit Groningen en de Stichting Rhine Waal Research & Education hebben in de begin fase aan het opzetten van de GEST analyse bijgedragen.

## Referenties

- Couwenberg, J., J. Augustin, D. Michaelis, W. Wichtmann & H. Joosten, 2008. Entwicklung von Grundsätzen für eine Bewertung von Niedermooren hinsichtlich ihrer Klimarelevanz. DUENE & Universität Greifswald.
- Couwenberg, J., A. Thiele, F. Tanneberger, J. Augustin, S. Bärish, D. Dubovik, N. Liashchynskaya, D. Michaelis, M. Minke, A. Skuratovich & H. Joosten, 2011. Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy. *Hydrobiologia* 674: 67–89.
- Couwenberg, J., K.-F. Reichelt & G. Jurasinski (in voorbereiding) Vegetation as a proxy for greenhouse gas emissions: an update of the GEST-list.
- Fritz, C. (2012). *Limits of Sphagnum bog growth in the New World: biogeochemistry and ecohydrology of peatlands in South America and New Zealand*. PhD thesis Radboud University.
- Fritz, C., Campbell, D. I., & Schipper, L. A. (2008). Oscillating peat surface levels in a restiad peatland, New Zealand—magnitude and spatiotemporal variability. *Hydrological Processes: An International Journal*, 22(17), 3264-3274
- Günther, A., S. Böther, J. Couwenberg, S. Hüttel & G. Jurasinski, 2018. Profitability of direct greenhouse gas measurements in carbon credit schemes of peatland rewetting. *Ecological Economics* 146: 766-771.
- IPCC, 2018. Special Report Global Warming of 1.5°C. [www.ipcc.ch/sr15](http://www.ipcc.ch/sr15).
- Joosten, H., K. Brust, J. Couwenberg, A. Gerner, B. Holsten, T. Permien, A. Schäfer, F. Tanneberger, M. Trepel & A. Wahren, 2015. MoorFutures® - Integration of additional ecosystem services (including biodiversity) into carbon credits-standard, methodology and transferability to other regions. BfN-Skripten 407. Bundesamt für Naturschutz, Bonn.
- Jurasinski, G., A.B. Günther, V. Huth, J. Couwenberg & S. Glatzel, 2016. Ecosystem services provided by paludiculture –Greenhouse gas emissions. In: Wichtmann, W., Schröder, C., Joosten, H.: Paludiculture – productive use of wet peatlands. Schweizerbart, Stuttgart. Pp. 79 - 94.
- Koska, I., M. Succow, U. Clausnitzer, T. Timmermann & S. Roth, 2001. Vegetationskundliche Kennzeichnung von Mooren (topische Betrachtung). In Succow, M. & H. Joosten (eds), *Landschaftsökologische Moorkunde*. Schweizerbart, Stuttgart. Pp. 112–184.
- Liu, W., Grootjans, A. P., Everts, H., Fritz, C., & De Vries, N. (2020). Estimation of greenhouse gas emission reductions based on vegetation changes after rewetting in Drentsche Aa brook valley. *MIRES AND PEAT*, 26
- Myhre, G., Shindell, D., Breon, F.-M., Collins, W., Fuglestedt, J., Huang, J., Koch, D., Lamarque, J.-F., Lee, D., Mendoza, B., Nakajima, T., Robock, A., Rotstayn, L., Stephens, G. & Zhang, H. (2013) Chapter 8: Anthropogenic and natural radiative forcing. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K, Tignor, M., Allen, D., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P.M. (eds.) *Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, 659–740.
- Tanneberger, F., & Wichtmann, W. (2011). Carbon credits from peatland rewetting-Climate-biodiversity-land use
- Tiemeyer, B., Freibauer, A., Borraz, E. A., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., ... & Förster, C. (2020). A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. *Ecological Indicators*, 109, 105838.
- van Duinen, G., Fritz, C. & Couwenberg, J. (2015) *Effecten van herstelmaatregelen op vastlegging en emissie van broeikasgassen in de Deurnsche Peel en Mariapeel*. Nijmegen.
- van Duinen, G., Fritz, C. & Couwenberg, J. (2018) *Winst van hoogveenherstel voor de broeikasgasbalans van de Grootte Peel*. Nijmegen.

- van Duinen, G. & Fritz, C. (2020) *Fochteloërveen broeikasgasemissie. Gest methode*. Presentatie in het kader van klimaatvelop. Nijmegen.
- van den Berg, M., Weideveld, S., Fritz, C., Geurts, J.J.M., Kosten, S. & Lamers, L.P.M. (2018) *Monitoring bodemdaling, veenoxidatiesnelheden en broeikasgasemissies in de Friese veenweiden 2017*. Nijmegen.
- Wilson, D., D. Blain, J. Couwenberg, C.D. Evans, D. Murdiyarso, S.E. Page, F. Renou-Wilson, J.O. Rieley, A. Sirin, M. Strack & E.-S. Tuittila, 2016. Greenhouse gas emission factors associated with rewetting of organic soils. *Mires and Peat* 17, Article 04: 1-28.