

# Effecten van natuurherstel op de broeikasgasbalans van natuurgebieden - Een eerste stap richting kengetallen



## Colofon

Deze adviesaanvraag is er een uit de serie kortlopende kennisprojecten. Met deze projecten wil OBN Natuurkennis beheerders en beleidsmakers direct en vraaggericht bijstaan in het beantwoorden van hun kennisvragen.

©2024 VBNE, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren

Rapport Adviesvraag OBN-36  
Driebergen, 11 juli 2024

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van BIJ12 en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

### Auteursrecht

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Foto voorzijde: Nieuwe petgaten in de Wieden. Fotograaf: Sarah Faye Harpenslager

### Wijze van citeren

*Harpenslager, S.F., Smolders, A.J.P., Van Dijk, G., Kosten, S., Fritz, C. en Van Duinen, G.A., 2024.*

***Effecten van natuurherstel op de broeikasgasbalans van natuurgebieden; Een eerste stap richting kengetallen***

*Rapport nummer OBN-2024-036, OBN Natuurkennis, Driebergen.*

### Samenstelling

Sarah Faye Harpenslager (Onderzoekcentrum B-Ware)

Fons Smolders (Onderzoekcentrum B-Ware / Radboud Universiteit)

Gijs van Dijk (Onderzoekcentrum B-Ware)

Sarian Kosten (Radboud Universiteit)

Christian Fritz (Radboud Universiteit)

Gert-Jan van Duinen (Stichting Bargerveen)

### Productie

Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE)

Adres Princenhof Park 7, 3972 NG Driebergen

Telefoon 0343 – 745 250

E-mail [obn@vbne.nl](mailto:obn@vbne.nl)

---

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Aanleiding en leeswijzer .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Natuurtypen en herstelmaatregelen .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Emissie tijdens werkzaamheden .....</b>	<b>9</b>
3.1	Uitstoot door gebruik van machines .....	9
3.2	C-footprint van gebruikte materialen .....	10
3.3	Opslag bagger of afgegraven (organisch) materiaal.....	11
3.4	Bomenkap en verwijderen vegetatie .....	12
<b>4</b>	<b>Bepalen van de broeikasgasbalans vóór en na herstelmaatregelen .....</b>	<b>14</b>
4.1	Inschatting van de broeikasgasbalans van natuurgebieden .....	14
4.2	Aanpassen van het waterpeil .....	21
4.3	Afgraven, uitgraven of baggeren.....	24
4.4	Boskap (en verwijdering van andere vegetatie).....	27
<b>5</b>	<b>Effecten van natuurherstel op de broeikasgasbalans van natuurgebieden.....</b>	<b>29</b>
5.1	Waar staan we? .....	29
5.2	Hoe nu verder? .....	29
<b>6</b>	<b>Literatuur.....</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>Verklarende woordenlijst .....</b>	<b>38</b>

---

# 1 Aanleiding en leeswijzer

Het uitvoeren van natuurherstel- en inrichtingsprojecten wordt vaak grootschalig aangepakt. Ingrijpende maatregelen, zoals het aanpassen van de hydrologie, afgraven van een nutriëntenrijke toplaag of het verwijderen van bosopslag, zijn vaak nodig om condities te creëren waarin het beoogde natuurtype zich beter kan ontwikkelen of kan herstellen. Natuurbeleid en -beheer worden voornamelijk ingegeven door biodiversiteitsdoelen. Vanwege de doelstelling om de uitstoot van broeikasgasemissies naar netto nul te brengen, zoals is vastgelegd in het klimaatakkoord van Parijs, is er echter ook steeds meer aandacht voor de effecten van inrichting- of beheermaatregelen op broeikasgasemissies. Het zorgvuldig omgaan met koolstofrijk materiaal wordt, met het oog op klimaat, in toenemende mate meegewogen. Zo wordt bij herstelprojecten gericht op het behoud en herstel van veensystemen steeds vaker rekening gehouden met de koolstofkringloop. Hierbij moet gedacht worden aan het terugdringen van de afbraak van het resterende veenpakket en daardoor ook het terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen die vrijkomen bij veenafbraak. Succesvol herstel van veenvormende vegetaties kan zelfs resulteren in netto vastlegging van koolstof. Vaak is het netto effect van de maatregelen op de uitstoot van broeikasgassen en/of de opslag van koolstof echter onbekend. Dit betreft zowel de emissie die gepaard gaat met de uitvoering van de maatregel zelf (bijv. de uitstoot van een graafmachine), als de uitstoot of opname van broeikasgassen van het herstelde gebied op korte en lange termijn. Daarnaast is het zaak een inschatting te hebben van de emissie of vastlegging van de uitgangssituatie, zodat deze vergeleken kan worden met de te verwachten uitstoot van de herstelde of ingerichte situatie. Het huidige document moet gezien worden als een eerste aanzet om beschikbare kennis, kengetallen, maar ook kennislacunes op het vlak van broeikasgasemissies bij natuurherstel- en inrichtingswerkzaamheden in beeld te brengen.

Hoewel kengetallen behorend bij de uitstoot van machines en gebruikte materialen universeel toepasbaar zijn, is de uitstoot uit natuurtypen, afgegraven bodems of verwijderde vegetatie zeer variabel en sterk afhankelijk van de milieuoedities (Bodmer et al., 2024; Couwenberg et al., 2011). In dit rapport worden voor een selectie van natuurtypen en herstelmaatregelen inschattingen gemaakt op basis van beschikbare gegevens uit de literatuur. Hierbij moet vermeld worden dat er op het gebied van broeikasgasemissies en koolstofvastlegging nog veel kennislacunes bestaan en de beschikbare getallen een grote onzekerheidsmarge kennen. Afbraak of vastlegging van koolstof hangen bijvoorbeeld sterk af van de beschikbaarheid van makkelijk afbreekbaar materiaal, de aanwezigheid van zuurstof, de (grond)waterstand en de vegetatieontwikkeling, en zijn daarmee vaak locatie specifiek. Om het gebruik van de informatie uit dit rapport concreter te maken, worden praktijkvoorbeelden van enkele herstel- en inrichtingsmaatregelen gepresenteerd met berekeningen van de broeikasgasbalans voor die specifieke situatie. Tenslotte is het goed te vermelden dat in dit rapport de emissie van koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) en methaan (CH<sub>4</sub>) gezamenlijk wordt uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten, waarbij ervan uitgegaan wordt dat CH<sub>4</sub> over een periode van 100 jaar een 28 keer sterker effect heeft als broeikasgas dan CO<sub>2</sub> (1 kg CH<sub>4</sub> = 28 kg CO<sub>2</sub>-eq<sup>1</sup>). De uitstoot van andere broeikasgassen zoals lachgas (N<sub>2</sub>O; 1kg N<sub>2</sub>O = 273 kg CO<sub>2</sub>-eq over 100 jaar) wordt niet gekwantificeerd in dit rapport,

---

<sup>1</sup> In het laatste IPCC rapport is de GWP van CH<sub>4</sub> aangepast naar 27 (IPCC, 2021), maar omdat de meeste literatuurwaarden uit Tabel 4 en 5 vóór 2021 gepubliceerd zijn, wordt in dit rapport nog de omrekeningfactor 28 aangehouden.

omdat er te weinig data beschikbaar is om hier kengetallen aan te kunnen koppelen. Wel wordt, voor zover bekend, vermeld welke natuurtypen of herstelmaatregelen effect kunnen hebben op N<sub>2</sub>O-fluxen, zonder deze fluxen te kwantificeren.

In Hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van veelvoorkomende herstelmaatregelen in verschillende natuurtypen. Hoofdstuk 3 richt zich op de broeikasgasemissie tijdens het uitvoeren van deze herstelmaatregelen, door het gebruik van machines (3.1), door materiaalkeuze (3.2), door afbraak van afgegraven bodem of bagger (3.3) en door het verwijderen van vegetatie (3.4). In Hoofdstuk 4 worden emissiefactoren van verschillende natuurtypen gepresenteerd (4.1), die vervolgens gebruikt worden om de effecten van veelvoorkomende natuurherstelmaatregelen in te schatten. Deze maatregelen worden onderverdeeld in aanpassingen in het waterbeheer (4.2), verwijderen van bodemmateriaal (4.3) en het verwijderen van vegetatie (4.4). In Hoofdstuk 5 wordt de huidige stand van zaken geëvalueerd en worden enkele aanbevelingen gedaan. Een overzicht van de geraadpleegde literatuur is weergegeven in Hoofdstuk 6. Tenslotte is een verklarende woordenlijst bijgevoegd in Hoofdstuk 7.

---

## 2 Natuurtypen en herstelmaatregelen

Momenteel wordt voor de Nederlandse natuurgebieden gewerkt met een indeling in 17 natuurtypen (BIJ12), die worden onderverdeeld in verschillende subtypen. Voor alle Natura 2000-gebieden wordt gewerkt met een indeling in habitattypen. In dit rapport wordt echter gebruik gemaakt van de indeling in natuurtypen, omdat veel natuurgebieden (nog) niet als habitatype kunnen worden ingedeeld (bijv. gebieden buiten N2000). Om de juiste uitgangssituatie voor het herstel of de nieuwe ontwikkeling van een gewenst natuurtype te realiseren, zal per situatie een specifieke set maatregelen genomen moeten worden. Een beknopt overzicht van veelvoorkomende maatregelen in de verschillende natuurtypen is gegeven in Tabel 1. Niet elke herstelmaatregel is even ingrijpend. Voor dit overzichtsrapport zullen met name de ingrijpende maatregelen behandeld worden, omdat verwacht wordt dat deze de grootste impact op de broeikasgasbalans zullen hebben. In dit document worden drie categorieën gebruikt:

- 1) aanpassingen van grond- en/of oppervlaktewaterpeil,
- 2) verwijderen van bodem of bagger,
- 3) verwijderen van dominante vegetatie of bosopslag.

Het aanpassen van het (grond)waterpeil wordt uitgevoerd om verdroogde systemen te herstellen. Dit wordt bijvoorbeeld toegepast bij herstelbeheer in laag- en hoogveen en bij natte of vochtige bossen, heide en schraallanden. Daarnaast worden peilen van oppervlaktewateren aangepast, bijvoorbeeld door inlaat van oppervlaktewater bij droogte of het instellen van een flexibel peilbeheer. Het verwijderen van bodem of bagger als herstelmaatregel betreft o.a. het afplaggen van nutriëntenrijke toplagen, het creëren van open water, of het baggeren van de waterbodem van oppervlaktewateren. Hierbij worden vaak zware machines ingezet. Naast de directe uitstoot van deze machines moet echter ook rekening gehouden worden met de afbraak van het verwijderde bodemmateriaal. Het verwijderen van vegetatie of bosopslag wordt als maatregel toegepast om kenmerkende vegetatie te ontwikkelen of om deze in stand te houden. Deze verschillende typen maatregelen worden vaak in combinatie uitgevoerd. Zo wordt het verwijderen van bosopslag, om verdroging tegen te gaan, vaak gecombineerd met aanpassingen van het (grond)waterpeil. Ook het afgraven van nutriëntenrijke toplagen wordt vaak uitgevoerd in gebieden waar vervolgens een verhoogde (grond)waterstand gerealiseerd wordt.

Tabel 1; Voorbeelden van herstelmaatregelen die vaak uitgevoerd worden in verschillende natuurtypen, zoals geïndexeerd door BIJ12.

Natuurtype	Subtype	Voorbeelden herstelmaatregelen
<b>N00 Natuurtypen</b>	N00.01 Nog om te vormen naar natuur N00.02 Omvorming – Kwaliteitsimpuls	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plaggen</li> <li>- Waterpeil aanpassen</li> <li>- Vegetatie verwijderen</li> </ul>
<b>N01 Grootschalige, dynamische natuur</b>	N01.01 Zee en wad N01.02 Duin- en kwelderlandschap N01.03 Rivier- en moeraslandschap	
<b>N02 Rivieren</b>	N02.01 Rivier	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Waterpeil aanpassen</li> </ul>
<b>N03 Beken en bronnen</b>	N03.01 Beek en bron	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Waterpeil aanpassen</li> <li>- Maaien oevers / waterplanten</li> </ul>
<b>N04 Stilstaande wateren</b>	N04.01 Kranswierwater N04.02 Zoete plas N04.03 Brak water N04.04 Afsloten zeearm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Waterpeil aanpassen</li> <li>- Maaien oevers / waterplanten</li> <li>- Baggeren</li> <li>•</li> </ul>
<b>N05 Moerassen</b>	N05.01 Moeras (vervalt per 31-12-2020) N05.02 Gemaaid rietland N05.03 Veenmoeras (nieuw per 1-1-2021) N05.04 Dynamisch moeras (nieuw per 1-1-2021)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Begreppelen</li> <li>- Waterpeil aanpassen</li> <li>- Maaien / afvoeren vegetatie</li> <li>- Graven nieuw petgat/ open water</li> <li>- Plaggen</li> <li>- Verwijderen bosopslag</li> </ul>
<b>N06 Voedselarme venen en vochtige heiden</b>	N06.01 Veenmosrietland en moerasheide N06.02 Trilveen N06.03 Hoogveen N06.04 Vochtige heide N06.05 Zwakgebufferd ven N06.06 Zuur ven of hoogveenven	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Begreppelen</li> <li>- Waterpeil aanpassen</li> <li>- Maaien / afvoeren vegetatie</li> <li>- Graven nieuw petgat/ open water</li> <li>- Plaggen</li> <li>- Verwijderen bosopslag</li> </ul>
<b>N07 Droge heiden</b>	N07.01 Droge heide N07.02 Zandverstuiving	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plaggen</li> <li>- Bekalken</li> <li>- Maaien / afvoeren vegetatie</li> <li>•</li> </ul>
<b>N08 Open duinen</b>	N08.01 Strand en embryonaal duin N08.02 Open duin N08.03 Vochtige duinvallei N08.04 Duinheide	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plaggen</li> <li>- Uitgraven stuifkuil</li> <li>- Maaien/afvoeren vegetatie</li> <li>- Chopperen</li> </ul>
<b>N09 Schorren of kwelders</b>	N09.01 Schor of kwelder	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maaien/afvoeren</li> </ul>
<b>N10 Vochtige schraalgraslanden</b>	N10.01 Nat schraalland N10.02 Vochtig hooiland	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Begreppelen</li> <li>- Bekalken</li> <li>- Maaien/afvoeren vegetatie</li> <li>- Plaggen</li> <li>- (grond-)waterpeil aanpassen</li> </ul>

<b>N11 Droge schraalgraslanden</b>	<b>N11.01 Droog schraalgrasland</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Maaien/afvoeren vegetatie</b></li> <li>- <b>Plaggen</b></li> </ul>
<b>N12 Rijke graslanden en akkers</b>	N12.01 Bloemdijk N12.02 Kruiden- en faunarijk grasland N12.03 Glanshaverhooiland N12.04 Zilt- en overstromingsgrasland N12.05 Kruiden- en faunarijke akker N12.06 Ruigteveld	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Begreppelen</li> <li>- Bekalken</li> <li>- Maaien/afvoeren vegetatie</li> <li>- Plaggen</li> </ul>
<b>N13 Vogelgraslanden</b>	N13.01 Vochtig weidevogelgrasland N13.02 Wintergastenweide	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Waterpeil aanpassen</li> <li>- Slepen / plaggen</li> <li>- Begreppelen</li> <li>- Bekalken/bemesten</li> <li>- Maaien/afvoeren vegetatie</li> </ul>
<b>N14 Vochtige bossen</b>	N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos N14.02 Hoog- en laagveenbos N14.03 Haagbeuken- en essenbos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Waterpeil aanpassen</li> <li>- Reduceren stamtal</li> <li>- Oogsten hout</li> </ul>
<b>N15 Droge bossen</b>	N15.01 Duinbos N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduceren stamtal</li> <li>- Oogsten hout</li> <li>- Bekalken</li> </ul>
<b>N16 Bossen met productiefunctie</b>	N16.01 Droog bos met productie (vervallen) N16.02 Vochtig bos met productie (vervallen) N16.03 Droog bos met productie (nieuw per 1-1-2018) N16.04 Vochtig bos met productie (nieuw per 1-1-2018)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduceren stamtal</li> <li>- Oogsten hout</li> </ul>
<b>N17 Cultuurhistorische bossen</b>	N17.01 Vochtig hakhout en middenbos (vervallen) N17.02 Drooghakhout N17.03 Park- en stinzenbos N17.04 Eendenkooi N17.05 Wilgengriend (nieuw per 1-1-2017) N17.06 Vochtig en hellinghakhout (nieuw per 1-1-2017)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduceren stamtal</li> <li>- Oogsten hout</li> </ul>



### 3 Emissie tijdens werkzaamheden

De broeikasgasemissie tijdens de uitvoering van natuurherstel- en inrichtingswerkzaamheden wordt deels bepaald door het materieel dat ingezet wordt (machines en transport) en de gebruikte materialen. Daarnaast kan emissie plaatsvinden vanuit (tijdelijke) depots voor bagger, grond of vegetatie (compostering). In dit hoofdstuk worden kengetallen van deze verschillende bronnen van broeikasgasemissie gepresenteerd.

#### 3.1 Uitstoot door gebruik van machines

Bij het inschatten van de broeikasgasemissie van machines of voertuigen kan gebruik gemaakt worden van het brandstofverbruik, het aantal draaiuren of het aantal gereden kilometers. De meeste machines en voertuigen verbruiken diesel, wat een uitstoot heeft van 3,47 kg CO<sub>2</sub>-eq per liter (WTW = well-to-wheel emissie; *CO<sub>2</sub> Emissiefactoren*, 2024). In Tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de emissie (in t CO<sub>2</sub>-eq) van verschillende, veelgebruikte machines en voertuigen. Deze zijn vervolgens omgerekend naar de uitstoot per hectare natuurgebied, op basis van standaard werktijden bij verschillende beheersmaatregelen zoals opgesteld door BIJ12. Hoewel er inmiddels ook verschillende elektrische voertuigen en machines op de markt zijn, zijn deze in dit overzicht nog niet meegenomen. Elektrische voertuigen stoten ook CO<sub>2</sub> uit, aangezien deze nog steeds (grotendeels) werken op grijze stroom. Bij gebruik van emissie-armere brandstoffen, zoals HVO biodiesel (Emissiefactor (EF) van 0,347 kg CO<sub>2</sub>-eq per liter; [www.co2emissiefactoren.nl](http://www.co2emissiefactoren.nl)) kan een emissiereductiefactor tot 90% gerealiseerd worden. Ook wordt steeds vaker gebruik gemaakt van machines op waterstof, wat gepaard gaat met een EF van 12,5 (grijze waterstof) of 1,14 (groene waterstof) kg CO<sub>2</sub>-eq per kg H<sub>2</sub> ([www.co2emissiefactoren.nl](http://www.co2emissiefactoren.nl)). Hierbij moet wel nog worden gecorrigeerd voor de hogere energiedichtheid van waterstof (1 kg H<sub>2</sub> geeft 2,8 keer meer energie dan 1 liter diesel).

*Tabel 2; Kengetallen van veelgebruikte machines en voertuigen, georganiseerd per beheersmaatregel. Gebruikte machines en standaard werktijden zijn overgenomen uit het overzicht vastgestelde SKP Natuur en Landschap (BIJ12, 2022), terwijl de laatste kolom de bronvermelding van de WTW-emissie weergeeft per machine. Indien omrekenen van draaiuren naar emissie nodig was, is gebruik gemaakt van de EF van reguliere (fossiele) diesel (3,468 kg CO<sub>2</sub>-eq per liter; [www.co2emissiefactoren.nl](http://www.co2emissiefactoren.nl)).*

Maatregel	Machine	Emissie WTW (kg CO <sub>2</sub> -eq/u)	Werktijd (u/ha)	Emissie (kg CO <sub>2</sub> -eq/ha)	Bron
<b>Baggeren</b>	(Hydraulische) Stage IIIb	53	8,4	445	<u>TNO 2021</u>
	Graafmachine Stage IV	42	8,4	353	
	Stage V	14-38*	8,4	118-319	
	Tractor met dumper	50	8,4	420	<u>Landbouw-Mechanisatie, 2014</u>
<b>Toplaag verwijderen / bodem afgraven (1000 m<sup>3</sup>/ha)</b>	(Hydraulische) Stage IIIb	53	18,8	996	<u>TNO 2021</u>
	Graafmachine Stage IV	42	18,8	790	
	Stage V	14-38*	18,8	263-715	
	2x Tractor met dumper	2* 50	18,8	1880	<u>TNO 2021</u>
	Transport met vrachtwagen (ca. 40 ritten à 25 m <sup>3</sup> )	22,5	40	900	<u>TNO 2020</u>

<b>Verwijderen bosopslag</b>	Bomen vellen (200 m <sup>3</sup> hout/ha)	-	-	1089	<u>González-García, 2009</u>
	Versnipperaer of hakselaar	19	1	19	<u>TP 2023</u>
<b>Maaien waterplanten</b>	Maaiboot (diesel)	15	0,6	9	<u>Zwaan, 2021</u>

De WTW emissie van 14 kg CO<sub>2</sub>/u voor EU Stage V (hydraulische) graafmachines is minder betrouwbaar dan de uitstoot van EU Stage IIIb en IV i.v.m. weinig beschikbare data (TNO, 2021). In een emissierapportage van een GWW (grond-, weg- en waterbouwbedrijf) wordt gerekend met een verbruik van 11,09 l per uur voor dezelfde hydraulische graafmachine (Volvo EC250E; Jansen Group, 2022), wat neerkomt op een emissie van 38 kg CO<sub>2</sub>/u. De emissie van deze Stage V machine lijkt dus redelijk vergelijkbaar met de uitstoot van EU Stage IIIb en IV.

### 3.2 C-footprint van gebruikte materialen

Omdat de koolstof (C)-footprint van bouwmaterialen sterk kan verschillen, kan het nuttig zijn om dit mee te nemen in de keuze voor de te gebruiken materialen bij herstelprojecten. In Tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de C-footprint van veelgebruikte materialen, uitgedrukt per gewicht en per volume. Hoewel het niet altijd mogelijk zal zijn om alternatieven te gebruiken, kan materiaalkeuze een belangrijk verschil maken in de totale C-emissie bij het uitvoeren van natuurherstelmaatregelen. Denk hierbij aan de keuze van bijvoorbeeld damwanden, van hout, beton, staal of kunststof. Naast de C-footprint, moet echter ook gekeken worden naar de duurzaamheid van maatregelen en materialen. Indien een grote ingreep na enkele jaren herhaald moet worden, omdat de gebruikte materialen ongeschikt bleken, dan zal alle potentiële winst van een materiaalkeuze op basis van C-footprint weer teniet gedaan worden.

Tabel 3; C-footprint van veelgebruikte bouwmaterialen uitgedrukt per volume of gewicht.

Materiaal	Emissie (kg CO <sub>2</sub> -eq/m <sup>3</sup> )	Emissie (kg CO <sub>2</sub> -eq/kg)	Bron
<b>Beton</b>	215-342	0,10 - 0,16	www.materialepyramiden.dk; 8billiontrees.com
<b>baksteen</b>	898 - 1160	0,24 - 0,31	www.materialepyramiden.dk; 8billiontrees.com
<b>baksteen (hergebruik)</b>	14	0,01	www.materialepyramiden.dk
<b>glas</b>	2125	0,85	8billiontrees.com
<b>pvc / hard plastic (pvc pijpen)</b>	3802 (33.672)	2,30 (24,4)	www.materialepyramiden.dk; 8billiontrees.com
<b>staal</b>	5403	0,69	www.materialepyramiden.dk
<b>staal (verzinkt)</b>	23.482	2,94	www.materialepyramiden.dk
<b>Staal (roestvrij)</b>	49.200	6,15	8billiontrees.com
<b>Ijzer</b>	15.013	1,91	8billiontrees.com
<b>Koper</b>	23.296	2,60	8billiontrees.com
<b>Aluminium</b>	22.701	8,24	8billiontrees.com
<b>Hout (MDF)*</b>	-783 - 368	-1,53 – 0,72	www.materialepyramiden.dk
<b>hout (spar)*</b>	-779 - 110	-1,61 – 0,23	www.materialepyramiden.dk; <a href="https://pliteq.com/news/building-vs-carbon-footprint/">https://pliteq.com/news/building-vs-carbon-footprint/</a>
<b>hout (eiken)*</b>	-1009	-1,41	www.materialepyramiden.dk
<b>hout (vurenhout)*</b>	-680	-1,49	www.materialepyramiden.dk
<b>Hout (constructie/vurenhout)</b>	328	0,72	8billiontrees.com

<b>hout (hardhout)</b>	417	0,86	8billiontrees.com
<b>Pisé</b>	48	-	<a href="https://pliteq.com/news/building-vs-carbon-footprint/">https://pliteq.com/news/building-vs-carbon-footprint/</a>

*\*Bij de bepaling van emissie voor hout nemen enkele bronnen het langdurig vastleggen van CO<sub>2</sub> vanuit de atmosfeer in het bouw materiaal mee en komen daarmee uit op een negatieve emissie, terwijl andere bronnen alleen kijken naar de uitstoot die gepaard gaat met houtkap, transport en bewerken tot bouw materiaal.*

### 3.3 Opslag bagger of afgegraven (organisch) materiaal

Bij natuurherstelwerkzaamheden, zoals baggeren, afgraven van een nutriëntenrijke of veraarde toplaag of het creëren van open water (incl. petgaten) komen grote hoeveelheden bodemmateriaal vrij. Hoeveel materiaal er vrijkomt en tot hoeveel uitstoot van broeikasgassen dit leidt, zal sterk verschillen per herstelproject. Bij het afgraven van de toplaag hangt de hoeveelheid materiaal uiteraard af van hoe dik de laag is die men wil afgraven. Dit kan variëren van <5 cm tot >30 cm, waardoor er dus <500 m<sup>3</sup> tot >3000 m<sup>3</sup> per hectare afgevoerd moet worden. Bij het graven van open water (bijvoorbeeld vennen of petgaten) wordt dieper gegraven en kunnen per hectare dus nog grotere hoeveelheden grond vrijkomen. Bij het creëren van nieuwe petgaten in de Wieden werd recentelijk bijvoorbeeld ca. 4.500 m<sup>3</sup> veenbodem per hectare afgegraven (Zie ook kader 4.2). Tijdens vervoer en (tijdelijke) opslag van afgegraven materiaal kan het materiaal afgebroken worden. De hiermee gepaard gaande koolstofemissie hangt af van het koolstofgehalte van de bodem, de reactiviteit van het materiaal, de temperatuur, de duur van de opslag en of deze opslag onder aerobe of anaerobe omstandigheden plaatsvindt.

Bij het baggeren van wateren en watergangen met kleine oppervlakten, zoals het opschonen van sloten, wordt verwijderd materiaal vaak op de kant gelegd of over een aangrenzend weiland verspreid. Voor grotere hoeveelheden bagger of chemisch vervuilde bagger wordt meestal gebruikgemaakt van een baggerdepot. In beide gevallen zal het materiaal gedeeltelijk aeroob (met zuurstof) en gedeeltelijk anaeroob (zonder zuurstof) afbreken, waarbij CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O vrijkomen. In een laboratoriumproef zijn CO<sub>2</sub>-emissies van 12 g C/kg/j gemeten bij de afbraak van bagger afkomstig uit veensloten uit de Vlietpolder (Rietstra et al., 2009). Dit kwam neer op 5% van het aanwezige koolstof (235 g C/kg) dat binnen één jaar uitgestoten werd. In een recente studie werden broeikasgasemissies uit een baggerdepot gemeten van gemiddeld 5078 mg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/d, 27 mg CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/d en 5 mg N<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>/d (Paranaíba et al., in prep.). Dit kwam neer op een gemiddelde uitstoot van ongeveer 14 ton (t) CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar voor een depot van 1,1 ha (met ongeveer 20.000 m<sup>3</sup> bagger). In een labexperiment met vier verschillende baggerbodems werd een range gemeten van 1690 mg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>/d tot 7434 CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>/d met een CO<sub>2</sub> : CH<sub>4</sub> : N<sub>2</sub>O emissieratio (in CO<sub>2</sub>-eq) van grofweg 2: 1: 1 (Van der Knaap et al., in prep.). De broeikasgasemissie uit deze baggerbodems valt daarmee per oppervlakte eenheid binnen de bandbreedte van emissies uit sloten en plassen. Factoren zoals de chemische samenstelling van de bagger, de temperatuur en de waterbeschikbaarheid hebben een grote invloed op de broeikasgasuitstoot uit depots (Paranaíba et al., 2023; Van der Knaap et al., in prep.).

Afgegraven grond die vrijkomt bij plaggen of het creëren van open water kan op verschillende manieren verwerkt worden. Zo wordt minerale grond vaak elders toegepast, bijvoorbeeld bij de aanleg van dijken, wegen of geluidswallen. De uitstoot van broeikasgassen is hierbij beperkt. Zowel minerale als organische grond wordt geregeld opgeslagen in depots of gebruikt bij het verondiepen of herprofilieren van plassen. Indien materiaal onder water wordt verwerkt, zal de afbraak sterk geremd worden en vindt afbraak anaeroob plaats. Het hierbij geproduceerde CH<sub>4</sub> zal deels uitgestoten worden naar de atmosfeer en deels in de waterlaag geoxideerd worden en dan vrijkomen als CO<sub>2</sub>. Daarnaast kan CH<sub>4</sub> geproduceerd worden als grond op grote hopen wordt verzameld, omdat er dan binnenin deze hopen alsnog zuurstofloze omstandigheden kunnen optreden. In dit rapport is als uitgangspunt genomen dat het grootste deel van het afgegraven materiaal uiteindelijk aeroob afgebroken wordt.

Bij de aerobe afbraak van organische bodems wordt ervan uitgegaan dat per jaar ca. 5-10% van het aanwezige koolstof vrijkomt als CO<sub>2</sub>. Bij een lifecycle assessment (LCA) van de Canadese potgrond industrie is bijvoorbeeld gerekend met 5% emissie per jaar als gevolg van aerobe afbraak (Cleary et al., 2005). Omdat de potgrondindustrie specifiek werkt met materiaal dat relatief slecht afbreekt (veenmosveen), kan dit beschouwd worden als een ondergrens. Een jaarlijkse afbraak van 5-10% van het aanwezige koolstof komt ook overeen met de bevindingen van Stolbikova en Chertkova (2021, in Stichnothe, 2022). Het koolstofgehalte van bodems kan sterk variëren van een hoog koolstofgehalte in organische bodems zoals veen (ca. 500 mg/g) tot veel lagere koolstofgehalten in zand of kleibodems (<150 mg/g). Door het lagere volumegewicht van organische bodems kan er echter alsnog een vergelijkbare hoeveelheid koolstof in een bepaald volume afgegraven zand of veen zitten. De emissie vanuit afgegraven minerale of moerige grond mag dan ook niet onderschat worden!

Naast emissie van CO<sub>2</sub> door afbraak van organisch materiaal kan er ook anorganisch koolstof vrijkomen uit bodems. Vooral in pyrietrijke of kalkhoudende bodems kan (opgelost) CO<sub>2</sub> of bicarbonaat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) vrijkomen bij verzuring of door uitspoeling.

### **3.4 Bomenkap en verwijderen vegetatie**

Indien voor het herstel van natuurtypen bomen of andere vegetatie verwijderd moet worden, dan wordt hiermee ook een bepaalde hoeveelheid koolstof uit het gebied verwijderd. Afhankelijk van hoe de biomassa vervolgens verwerkt wordt, leidt dit op korte of lange termijn tot koolstofemissie. Er wordt aangenomen dat deze biomassa voor ongeveer 45-50% uit koolstof bestaat. De biomassa van bomen wordt berekend aan de hand van formules op basis van de hoogte en de diameter op borsthoogte (Arets et al., 2020). Volgens een meta-analyse van Luysaert et al., (2007) bevatten naaldbossen in gematigd klimaat 149±136 t C/ha bovengrondse biomassa en 46±47 t C/ha ondergrondse biomassa, terwijl deze waarden voor loofbossen respectievelijk 109±57 en 26±26 t C/ha zijn. Een Brits rapport noemt een totale C-opslag van 57 t C/ha, waarbij geen onderscheid wordt gemaakt tussen loof- en naaldbos. De opslag is afhankelijk van de leeftijd van het bos en varieert van 0-328 t C/ha (Morison et al., 2012). De netto opname van koolstof door bomen ligt in deze studie tussen 1,4 en 5,5 t C/ha/ j. Een studie uit Zweden laat verder zien dat bossen een netto C-

opnamesnelheid hebben van 40 tot 410 kg/ha/j, met gemiddeld >300 kg C/ha/j in loofbos of gemengd bos in Zuid-Zweden (Akselsson et al., 2005). Dit laatste zal waarschijnlijk het meest vergelijkbaar zijn met de Nederlandse situatie. De twee landelijke studies uit het Verenigd Koninkrijk en Zweden laten een spreiding zien die soms hoger is dan de gemiddelde opslag. Hierdoor is het lastig om één kengetal te bepalen voor een bepaald type bos. Het is dus altijd belangrijk om voor elke specifieke situatie een schatting te maken van de koolstofvoorraad in de bosbiomassa.

Indien het geogste hout gebruikt wordt, kunnen de volgende halfwaardetijden gebruikt worden: 2 jaar voor papier en karton, 25 jaar voor houten panelen en 35 jaar voor (producten van) gezaagd hout zoals meubels of hout gebruikt in de bouw (Hendriks et al., 2021). Verwijderde vegetatie wordt vaak op locatie opgeslagen of elders verwerkt tot compost of bokashi. Voor dit rapport gaan wij ervan uit dat het opgeslagen koolstof uit verwijderd hout of vegetatie onder zuurstofrijke omstandigheden afbreekt, waarbij circa 5% van het koolstof per jaar als CO<sub>2</sub> vrijkomt.

---

## 4 Bepalen van de broeikasgasbalans vóór en na herstelmaatregelen

Naast de emissie door het uitvoeren van de werkzaamheden, is het voor de broeikasgasbalans van belang om een beeld te krijgen van het effect van natuurherstelmaatregelen in een gebied op korte én langere termijn. Hiervoor moet een inschatting gemaakt worden van de emissie vóór en na herstel. Daarnaast kan de klimaatwinst (emissie-mitigatie) worden bepaald door de toekomstige emissies na uitvoering van maatregelen en zonder uitvoering van maatregelen (autonome ontwikkeling) met elkaar te vergelijken. In paragraaf 4.1 wordt een tabel met kengetallen gepresenteerd van de emissies voor verschillende natuurtypen (Tabel 4). In de daaropvolgende paragrafen van dit hoofdstuk worden de effecten van enkele natuurherstelmaatregelen op hoofdlijnen besproken. Om dit wat concreter te maken worden voorbeelden uit de praktijk gebruikt om inzicht te geven in de broeikasgasbalans bij verschillende typen maatregelen en in verschillende type systemen. Bij deze voorbeelden is als uitgangspunt genomen dat een systeem gedurende 5 jaar verstoord is door de herstelmaatregelen, waarna gedurende minimaal 45 jaar het beoogde natuurtype stabiel is. Tijdens de verstoringsfase kan bijvoorbeeld een verhoogde emissie optreden, omdat reactief organisch materiaal versneld afbreekt. Tegelijkertijd zal de koolstofvastlegging gedurende deze periode laag zijn, omdat de vegetatie zich nog moet ontwikkelen. Uiteraard zullen deze periodes sterk verschillen per systeem, per maatregel en per situatie. Daarbij hangt ook veel af van de omgevingscondities en hoe succesvol de maatregelen zijn in het ontwikkelen van het gewenste natuurtype.

### 4.1 Inschatting van de broeikasgasbalans van natuurgebieden

Bij het opstellen van een broeikasgasbalans voor een natuurgebied kunnen emissiefactoren van verschillende natuur- of vegetatietypen gebruikt worden. Door de emissies voor het natuurtype in de situatie vóór herstel te vergelijken met de emissie van het natuurtype dat na herstel verwacht wordt, kan een inschatting gemaakt worden van de veranderingen in broeikasgasbalans als gevolg van de natuurherstelmaatregelen.

In het rapport *Klimaatlim natuurbeheer* (Richardson, 2023) is een tabel opgenomen met broeikasgasemissies (in t CO<sub>2</sub>-eq/ha/j) voor verschillende natuurtypen, die verkregen zijn uit de zogenaamde Greenhouse gas Emission Site Types (GEST) database (Couwenberg et al., 2011). In deze database zijn gepubliceerde metingen van fluxen van CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> vanuit veenbodems verzameld en geordend op basis van waterstandsregime en vegetatiesamenstelling. Op basis van verbanden tussen het voorkomen van plantensoorten, het waterstandsregime en de emissie en vastlegging van broeikasgassen kan met de GEST-methode een inschatting gemaakt worden van de broeikasgasbalans van een gebied. Een belangrijk voordeel van deze methode is dat de broeikasgasbalans van historische situaties op basis van vegetatiekarteringen kan worden ingeschat. Ook kunnen verschillende scenario's worden ontwikkeld, waarbij een inschatting kan worden gemaakt van de effecten van voortgaande verdroging en van de effecten van maatregelen op de waterstanden, op de vegetatiesamenstelling en

daaruit volgend de emissie van broeikasgassen, vastlegging van koolstof en de toekomstige broeikasgasbalans in het gebied. Voor de inschatting van de effecten van herstelmaatregelen in het Fochteloërveen op de broeikasgasbalans is bijvoorbeeld gewerkt met de GEST-methode (Fritz & van Duinen, 2020; Zie kader 4.1). Andere 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.

In Tabel 4 zijn de gegevens uit het rapport van Richardson (2023) en de GEST-database aangevuld met data van andere natuurtypen, verkregen uit verschillende wetenschappelijke studies of onderzoeksrapporten. De nadruk in Tabel 4 ligt op organische bodems, omdat veel studies met betrekking tot broeikasemissie zijn uitgevoerd in veengebieden. Ook de systematische indeling van de GEST-database betreft vegetaties op veenbodem. Open water, bossen en schraalgraslanden zijn minder vertegenwoordigd in onderzoeken naar broeikasgasbalansen. Naast natuurtypen zijn waarden opgenomen voor gebieden in agrarisch gebruik, omdat dit regelmatig de uitgangssituatie is van een gebied vóórdat dit omgevormd wordt naar een natuurtype of bufferzone. Tabel 4 kan gezien worden als een groeidocument. Naarmate het aantal studies naar de emissies van CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> vanuit verschillende natuurtypen groeit, zullen de inzichten verbeteren en kunnen kengetallen dus veranderen. De emissie van N<sub>2</sub>O is in de tabel niet meegenomen, omdat 1) N<sub>2</sub>O-emissie weinig op onbemeste gronden gemeten wordt, 2) deze emissie te veel variatie vertoont binnen de verschillende vegetatietypen om tot betrouwbare kengetallen te komen en 3) de achterliggende processen complexer zijn. In het algemeen kan wel gezegd worden dat stikstofbemesting en wisselvochtige omstandigheden tot hogere N<sub>2</sub>O-emissies leiden (Butterbach-Bahl et al., 2013), terwijl het beëindigen van zowel bemesting als drainage tot een afname van N<sub>2</sub>O-emissie leidt.

Tabel 4; Totale broeikasgasemissie (CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub>) berekend (GEST-database, Couwenberg et al. 2011, update 2021) of gemeten (div. studies) in verschillende natuurtypen. Een negatieve emissie betekent netto vastlegging van broeikasgassen.

Natuurtype	Detail	Emissie (t CO <sub>2</sub> -eq/ha/j)	Bron
<b>N05.03 Veenmoeras</b>	Zeer nat grasland	5,0	Couwenberg, 2021
	Zeer nat grasland met helofyten	7,0	Couwenberg, 2021
	Nat grasland	-3,5	Couwenberg, 2021
	Nat grasland met helofyten	-1,0	Couwenberg, 2021
	Natte kruidenrijke graslanden	7,5	Couwenberg, 2021
	Zeer vochtige veenweiden	23,0	Couwenberg, 2021
<b>N05.03 Dynamisch moeras</b>	Zeer natte grote zegge vegetatie	14,0	Couwenberg, 2021
	Natte grote zegge vegetatie	7,0	Couwenberg, 2021
	Rietland	4,0 - 6,5	Couwenberg, 2021
	Zeer natte grote zegge/lisdodde vegetatie	5,5	Couwenberg, 2021

	Zeer natte riet/rietgras vegetatie	5,0	Couwenberg, 2021
	Rietland (geïnundeerd; >20 cm)	-4,5	Couwenberg, 2021
	Rietland (geïnundeerd; droog jaar)	3,5	Couwenberg, 2021
	Rietland (geïnundeerd; met import van organisch materiaal)	44,0	Couwenberg, 2021
	Minerotroef veen met riet	-0,5	van den Berg et al., 2016
<b>N06.01 Veenmosrietland</b>	Veenmosrietland	-0,1	Kruijt et al 2023; Buzacott et al 2023
	Vochtige veenheide	12,5	Couwenberg, 2021
	Zeer vochtige veenheide	4,0	Couwenberg, 2021
	Natte, afwijkende hoogveen sites	35,0	Couwenberg, 2021
	Hervernat laagveen	6,8	IPCC, 2013
<b>N06.02 trilveen</b>	Trilveen met mosvegetatie	3,0	Couwenberg, 2021
<b>N06.03 hoogveen</b>	Vochtige veenmosvegetatie	-3,0	Couwenberg, 2021
	Natte veenmosvegetatie	-0,5	Couwenberg, 2021
	(Zeer) natte veenmos slenken	4,0	Couwenberg, 2021
	Grasland op hoogveen	21,3	IPCC, 2013
	Gedraineerd spreihogveen	4,6	IPCC, 2013
	Intact spreihogveen	-0,4	IPCC, 2013
	Hervernat hoogveen	1,8	IPCC, 2013
<b>N10.01 Nat schraalland</b>	Vochtig tot zeer vochtig, zuur schraalland (pijpenstrootje)	19,0	Couwenberg, 2021
<b>N10.02 Vochtig hooiland</b>	Vochtig hooiland (eutroof)	19,5	Couwenberg, 2021
	Vochtig tot zeer vochtig hooiland	14,5	Couwenberg, 2021
	Vochtig tot zeer vochtig hooiland met helofyten/pitrus	15,0	Couwenberg, 2021
	Hooiland, met hoge waterstand in winter en lage waterstand in zomer	48,0	Couwenberg, 2021
	Vochtig hooiland op veen	27,0	Couwenberg, 2021
<b>N12.02 Kruiden-Faunarijk grasland; N13.01 Vochtig</b>	Droog tot matig vochtig grasland	25,0	Couwenberg, 2021
	Droge tot matig vochtige veenweide	45,0	Couwenberg, 2021



<b>weidevogel; N12.03 glanshaverhooiland</b>			
<b>N12.04 zilt- en overstromings-grasland</b>	Grasland, regelmatig geïndeerd	14,0	Couwenberg, 2021
	Grasland, geïndeerd tijdens natte zomer	24,0	Couwenberg, 2021
<b>N12.05 kruiden en faunarijke akker</b>	Droge tot matig vochtige akkerbouw	37,5	Couwenberg, 2021
	Droge tot matig vochtige akkerbouw op veen	41,0	Couwenberg, 2021
<b>Paludicultuur</b>	Lisdoddeleelt (proefvakken)	8 -18,5	Fritz & van Giersbergen, 2023; Couwenberg 2021
<b>Veenweide in agrarisch gebruik</b>	Akkerbouw op veen	31,6	IPCC, 2013
	Veenweide (gedraineerd)	25,3 - 31	Couwenberg 2021; IPCC, 2013
	Veenweide (matig gedraineerd)	15,9	IPCC, 2013
	Droog tot vochtig grasland op moerige grond	45	Couwenberg, 2021
	Vochtig grasland op moerige grond	27	Couwenberg, 2021
	Zeer vochtig grasland op moerige grond	23	Couwenberg, 2021
	Akkerbouw op moerige grond (droog)	41	Couwenberg, 2021
	Akkerbouw op moerige grond (vochtig)	20	Couwenberg, 2021
	Veenweide (overstroomd in zomer)	24	Couwenberg, 2021
	Akkerbouw op veen (overstroomd in zomer)	16,5	Couwenberg, 2021
	Hervernat grasland op veen (met droogval in zomer)	34,5	Couwenberg, 2021
	<b>Naaldbos*</b>	Naaldbos (vochtig)	-4,0
Naaldbos op arm zand		-3	Boosten et al., 2022
Naaldbos op rijk zand		-5	Boosten et al., 2022
<b>Loofbos*</b>	Loofbos (vochtig)	-3,1	Luysaert et al 2007 in Lal et al., 2012
	Loofbos op arm zand	-4	Boosten et al., 2022
	Loofbos op rijk zand	-7	Boosten et al., 2022
	Loofbos op klei	-9	Boosten et al., 2022
	Bos op veen (gedraineerd)	10,5	Günther et al., 2020; Global Peatland Database
<b>(Elzen)broekbos*</b>	Veenvormend broekbos	-7,3	Bakker et al., 1997; van den Born et al., 2002

	Matig vochtig broekbos (oligotroof)	-3,2	Couwenberg, 2021
	Vochtig broekbos (oligotroof)	-4,0	Couwenberg, 2021
	Zeer vochtig broekbos (oligotroof)	-0,6	Couwenberg, 2021
	Matig vochtig elzenbroekbos (meso-eutroof)	1.0	Couwenberg, 2021
	(Zeer) vochtig elzenbroekbos (meso-eutroof)	-9,9 - - 1.7	Couwenberg, 2021
	Nat bos (meso-eutroof)	-4.9 - +6.6	Couwenberg, 2021
<b>Sloten</b>	Sloten	51,0	Couwenberg, 2021
	Sloten veenmosteelt	12,6	Daun et al., 2023
	Sloten, extensief beheerd grasland	23,1	Peacock et al., 2017
	Sloten, intensief beheerd grasland	17,6	Peacock et al., 2017
	Sloten akkerbouw	20,1	Peacock et al., 2017
	Sloten veenweide (intensief; diep ontwaterd)	91	Hendriks et al., 2024
<b>Oppervlaktewater (meren)</b>	Stadsvijver	34	van Bergen et al., 2019
	Meren	15	Schrier-Uijl et al., 2011

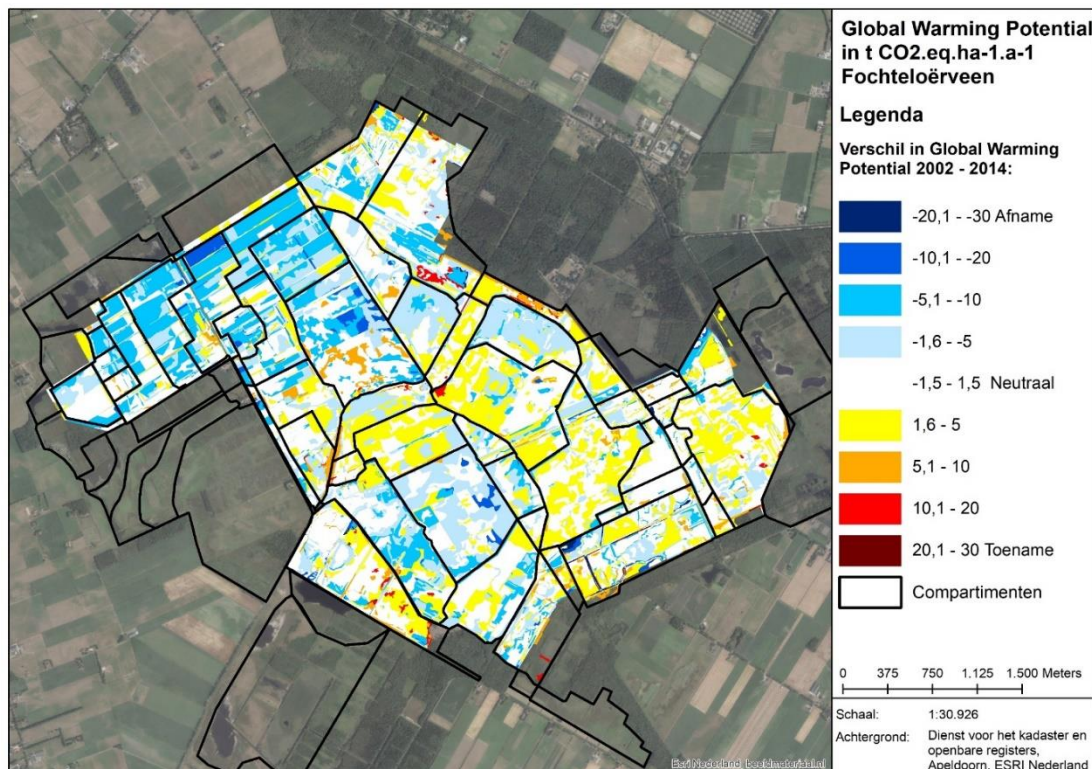
*\*De genoemde emissiefactoren voor bossen zijn niet gecorrigeerd voor houtoogst. Binnen GEST is koolstofexport door oogst wel meegenomen.*

Het voorspellen van de effecten van herstelmaatregelen op de broeikasgasbalans blijft een grove inschatting, omdat de emissies na herstel sterk afhangen van de mate van verstoring die veroorzaakt wordt door de werkzaamheden, de mate waarin het beoogde natuurtype zich ontwikkelt (succes van de maatregelen) en de tijd die nodig is om weer een stabiele situatie te bereiken. Een inschatting kan echter wel een verwachte richting geven en een inschatting van de orde grootte en bandbreedte voor de broeikasgasbalans van verschillende scenario's. Dit kan helpen bij het maken van keuzes tussen verschillende maatregelen.

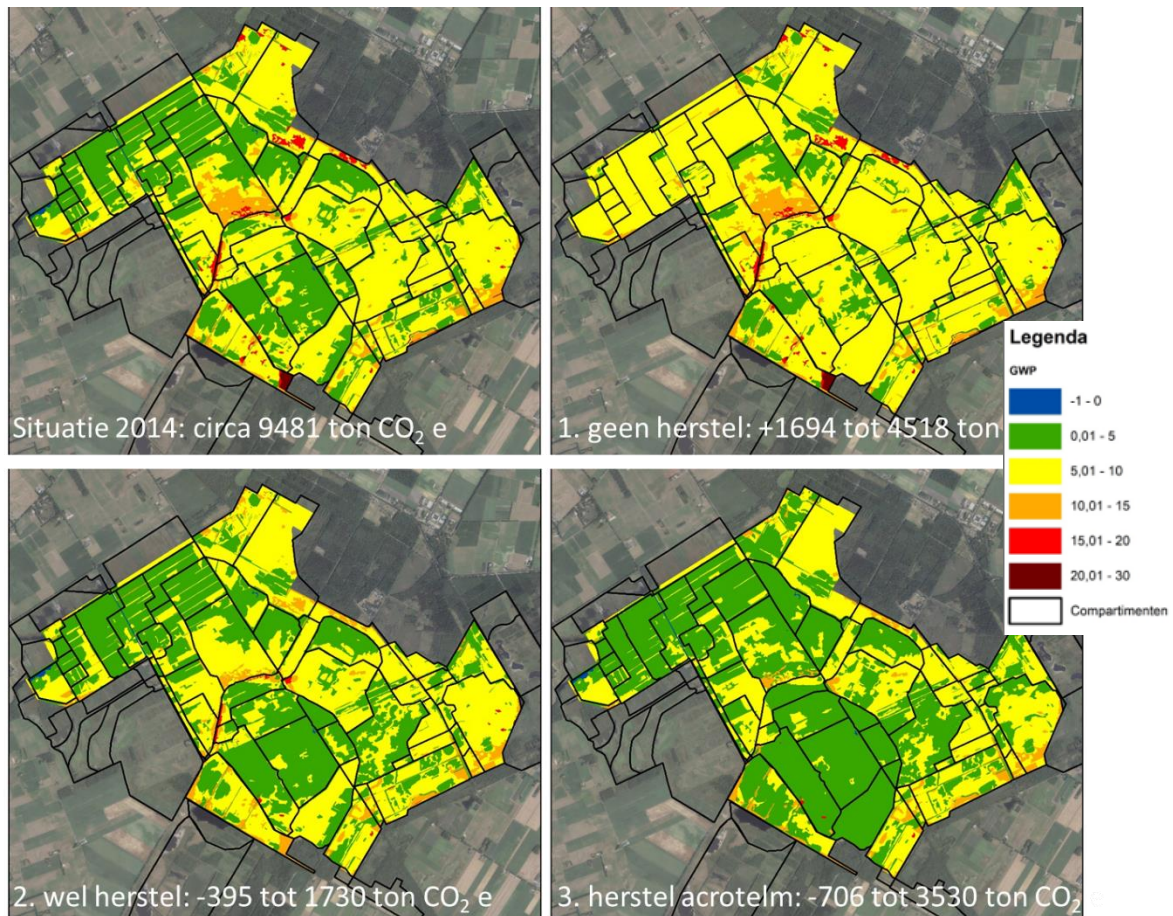
#### **Kader 4.1 Veranderingen in broeikasgasemissie in het Fochteloërveen - Inschatting met de GEST-methode**

In het Fochteloërveen zijn de afgelopen 30 jaar maatregelen genomen om het hoogveen te behouden en te herstellen door de hydrologische situatie te verbeteren. Nadat lekkages ontstonden in de damwanden die tijdens de herstelmaatregelen geplaatst waren, deed zich de vraag voor wat de gevolgen van verdroging en van mogelijke nieuwe herstelmaatregelen zouden zijn op de broeikasgasbalans van het gebied. Een verhoging of verlaging van de grondwaterstanden zal effect hebben op de vegetatieontwikkeling (o.a. de mogelijkheid tot herstel van bultvormende veenmossen, met hoge CO<sub>2</sub> vastlegging en lage productie van CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O) en op de uitstoot van CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O uit veenbodems.

Voor de inschatting van de effecten van herstelmaatregelen op de broeikasgasbalans is gewerkt met de Greenhouse gas Emission Site Types (GEST) methode (Couwenberg et al. 2011). Belangrijke overwegingen waren dat gebruik kon worden gemaakt beschikbare data (vegetatiekarteringen uit 2002 en 2014 en gegevens over veendikte en waterstanden) en er geen tijdrovende en kostbare metingen uitgevoerd hoefden te worden. Op basis van de gemeten waterstanden en de maaiveldhoogte is voor 2002 en 2014 de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) bepaald, waarna delen van het gebied zijn ingedeeld in waterstandsklassen. Bij de indeling in waterstandsklassen (o.a. voor compartimenten zonder waterstandsmetingen) is daarnaast gebruik gemaakt van indicatorsoorten. Op basis van de vegetatietypen en de waterstandsklassen werden de GESTs toegewezen.



Figuur 4.1; Berekende broeikasgasemissies in het Fochteloërveen (in GWP) voor de situaties in 2002 en 2014



Figuur 4.2 Broeikasgasemissies (in GWP) voor de situatie in 2014 (linksboven) en voor scenario's met 1) geen herstel (rechtsboven), 2) wel herstel (linksonder) en 3) herstel inclusief uitbreiding acrotelm (rechtsonder).

Eerst werden de broeikasgasemissies (in Global Warming Potentials, GWPs) voor de situaties in 2002 en 2014 bepaald (Figuur 4.1). In de figuur wordt weergegeven in welke delen van het gebied een toename en waar een afname in emissie werd bepaald. Vervolgens werden aanvullende berekeningen uitgevoerd om de situatie in 2014 te vergelijken met een verdrogingsscenario (geen herstelmaatregelen uitvoeren), een herstelscenario (herstel d.m.v. vernatting) en een 'koolstofscenario' (uitgebreid herstel met sterke uitbreiding acrotelmontwikkeling). De resultaten hiervan zijn te vinden in Figuur 4.2.

Dit voorbeeld van het Fochteloërveen laat zien dat verbeteringen van de omstandigheden voor koolstofopslag en veenbehoud zichtbaar gemaakt kunnen worden met behulp van de GEST methode op basis van bestaande vegetatie-, bodem- en waterstandgegevens. Een vergelijking tussen de berekende emissies in 2002 en 2014 laten zien dat de maatregelen die in het verleden genomen zijn tot een duidelijke afname van emissies hebben geleid. De verschillende toekomstscenario's laten echter ook zien dat er nog meer potentie tot emissiereductie is door een herstelstrategie (herstelscenario) of een nog sterkere vernatting (koolstofscenario) te volgen, terwijl bij een verdrogingsscenario de emissies juist sterk toenemen.

Bron: Fritz & van Duinen, 2020

## 4.2 Aanpassen van het waterpeil

Door eeuwenlange drainage, versnelde waterafvoer en grondwaterwinning zijn Nederlandse landschappen vaak sterk verdroogd. Deze verdroging heeft een grote invloed op de broeikasgasbalans van verschillende landschapstypen.<sup>2</sup> De emissie van CO<sub>2</sub> uit organische bodems (veen, moerige gronden) neemt toe naarmate deze dieper worden ontwaterd, waardoor zuurstof dieper in de bodem kan indringen. Het veen dat grotendeels geconserveerd werd dankzij de zuurstofloze (anaerobe) omstandigheden onder de (grond)waterspiegel, komt na ontwatering in contact met zuurstof (aerobe omstandigheden), waardoor het versneld gaat afbreken en er meer CO<sub>2</sub> vrijkomt. Uit een recente meta-analyse van Butterbach-Bahl et al., (2023) is gebleken dat een verlaagde (grond)waterstand in natuurlijke veensystemen een omslag veroorzaakt van netto C-opslag (NEE  $-1,2 \pm 1,0$  t CO<sub>2</sub>/ha/j) naar netto C-emissie (NEE  $+3,4 \pm 1,0$  t CO<sub>2</sub>/ha/j). Daarnaast zorgt de verhoogde veenoxidatie voor bodemdaling. Gedraineerde gebieden worden niet alleen gekenmerkt door dalende, maar juist ook door sterker fluctuerende (grond)waterstanden, met lage waterstanden van circa april tot en met september en hoge waterstanden van oktober tot en met maart. Vooral in het najaar kan de stijging in (grond)waterstand gepaard gaan met een piek in CH<sub>4</sub>-emissie, doordat gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal anaeroob en bij relatief hoge temperaturen wordt afgebroken.

Herstel van zowel hoog- als laagveengebieden is meestal gericht op (her)vernatten om veenafbraak tegen te gaan en om habitatherstel ten behoeve van biodiversiteitsdoelen te stimuleren. Hiervoor worden onder meer sloten gedempt, dammen aangelegd, peilen verhoogd en bomen verwijderd. De grootste effecten van aangepaste waterpeilen (oppervlakte- én grondwaterpeil) worden verwacht op de productie en afbraak van organisch materiaal en hiermee op broeikasgasemissies. Deze effecten kunnen ingeschat worden met berekeningen op basis van bodemtype, vegetatietype en waterstanden, zoals bij de eerdergenoemde GEST-methode (zie het voorbeeld van het Fochteloërveen in Kader 4.1). Daarnaast zijn er de afgelopen tijd veel studies uitgevoerd waarin de broeikasgasfluxen in gedraineerde en hervernatte veensystemen werden gemeten. In Tabel 5 zijn hiervan enkele voorbeelden opgenomen. Vernatting levert in vrijwel alle gevallen een netto reductie van de broeikasgasemissie van venen op (Tabel 5). Slechts in enkele gevallen verslechterde de klimaatbalans na vernatting, bijvoorbeeld in studies waar de metingen kort na vernatten waren uitgevoerd (Kandel et al., 2020; Nugent et al., 2019). Vrijwel alle studies in Tabel 5 rapporteren een reductie in CO<sub>2</sub> emissie, maar tegelijk 2 tot 5 keer hogere CH<sub>4</sub>-emissie na vernatten tot nabij of boven maaiveld.

Een recente studie uit het Verenigd Koninkrijk laat zien dat elke 10 cm verhoging van de grondwaterstand tot 30 cm onder maaiveld, leidt tot een emissiereductie van 3 t CO<sub>2</sub>-eq/ha/j (Evans et al., 2021). Bij aanwezigheid van veenvormende vegetatie kan dit effect zelfs tot 5 t CO<sub>2</sub>-eq/ha/j zijn (Couwenberg et al., 2011; Fritz et al., 2017). Tussen 30 en 10 cm onder maaiveld is de emissie nagenoeg nul. Langdurige plas-dras of geïnundeerde omstandigheden leiden tot (sterk) verhoogde CH<sub>4</sub>-emissies. Dit komt doordat er tussen waterstand en CH<sub>4</sub>-emissie een non-lineaire relatie bestaat (Couwenberg et al., 2011; Evans et al., 2021; Tiemeyer et al., 2020). Doordat methaan een circa 28 keer sterker effect heeft als broeikasgas dan CO<sub>2</sub> (over 100 jaar), doet deze toename van CH<sub>4</sub>-uitstoot de 'winst' die

---

<sup>2</sup> Hoewel in dit rapport de nadruk ligt op veen- en moerasgebieden, spelen de effecten van verdroging ook een grote rol in o.a. open wateren, het rivierengebied en op de hogere zandgronden.

bereikt wordt door verminderde CO<sub>2</sub>-uitstoot deels teniet. Als de herstelmaatregelen echter succesvol zijn en veenvormende vegetatie terugkeert, wordt tegelijkertijd CO<sub>2</sub> vastgelegd, waardoor de netto uitstoot in CO<sub>2</sub>-equivalenten neutraal of negatief (C-opname) zal zijn. Verder is het zo dat het sterkere broeikasgas CH<sub>4</sub> in de atmosfeer binnen circa 10-15 jaar wordt afgebroken tot CO<sub>2</sub> (IPCC, 2021). CO<sub>2</sub> is qua effect een zwakker broeikasgas dan CH<sub>4</sub>, maar heeft een langere verblijftijd in de atmosfeer. Oftewel, het sterkere negatieve klimaateffect door verhoogde CH<sub>4</sub>-emissie na vernatting is tijdelijk, terwijl de voortdurende drainage van veengebieden leidt tot een blijvende CO<sub>2</sub>-uitstoot. Een recente modelstudie laat zien dat het vernatten van veengebieden op de korte termijn (scenario: alle gedraineerde veengebieden worden vernat in de periode 2020-2024) leidt tot een halvering van de *radiative forcing* (een maat voor het broeikas effect) in 2100 ten opzichte van het voortzetten van de huidige ontwatering (Günther et al., 2020)

De hoge CH<sub>4</sub>-emissies na vernatting zijn vaak ook het gevolg van voedselrijke omstandigheden. Dit is met name het geval als voedselrijke systemen onder water komen te staan bij overstroming of wanneer deze ingericht worden als hydrologische buffer. Daarnaast zien we een toename van CH<sub>4</sub>-emissie uit wetlands als gevolg van menselijke activiteiten, bijvoorbeeld door rijstteelt, bemesting of aanvoer van (makkelijk afbreekbaar) organisch koolstof door bijvoorbeeld afspoeling of erosie uit aangrenzende gebieden. Er is namelijk een sterke relatie tussen de CH<sub>4</sub>-emissie en de hoeveelheid makkelijk afbreekbaar organisch materiaal of de nutriëntenrijkdom van een systeem. Dit CH<sub>4</sub> kan door diffusie of - in geval van inundatie - via gasbellen (ebulitie), in de atmosfeer komen. Deze emissie zal mettertijd afnemen naarmate de voorraad makkelijk afbreekbaar materiaal en nutriënten opraaft. Het kan echter decennia duren voordat een hersteld veen weer een natuurlijk functionerend systeem is (Schaller et al., 2022; Stichnothe, 2022). Daarnaast neemt de CH<sub>4</sub>-emissie ook toe met de temperatuur (Aben et al., 2017), waardoor ook klimaatverandering hierin een belangrijke rol speelt.

Afplaggen kan een groot deel van de terrestrische CH<sub>4</sub>-emissie als gevolg van vernatting voorkomen (Harpenslager et al., 2015; Huth et al., 2022; Quadra et al., 2023) al is de uiteindelijke uitstoot ook afhankelijk van hoe het afgeplagde materiaal verwerkt wordt. Daarnaast kan de vegetatieontwikkeling sterk van invloed zijn op de uitstoot van CH<sub>4</sub>. Zo kan een dichte veenmosvegetatie bijvoorbeeld methaanemissie reduceren door een symbiose met methaan oxiderende bacteriën. Deze bacteriën zetten CH<sub>4</sub> om in CO<sub>2</sub>, wat de veenmossen vervolgens kunnen opnemen om biomassa te vormen (Kip et al., 2012; Raghoebarsing et al., 2005). Door deze symbiose treedt vastlegging van dit broeikasgas op in plaats van emissie. Emissie van CH<sub>4</sub> kan ook gecompenseerd worden door CO<sub>2</sub> vastlegging door andere veenvormende vegetatie, zoals riet of zegge. Deze soorten groeien ook sneller onder voedselrijkere omstandigheden en hogere temperaturen. De factoren die zorgen voor een hoge CH<sub>4</sub>-uitstoot, stimuleren dus tegelijkertijd ook hogere C-vastlegging. Dit kan bijvoorbeeld een reden zijn om te kiezen voor paludicultuur (Günther et al., 2015; Mrotzek et al., 2020; Temmink et al., 2023).

Tabel 5; Meetresultaten van emissie van CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> in gedraineerde en (her)vernatte systemen (in t CO<sub>2</sub>-eq/ ha/j). Onder klimaatwinst wordt de toename (rood) of afname (groen) van de gezamenlijke emissie van CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> (in t CO<sub>2</sub>-eq/ha/j) na vernatten weergegeven.

Systeem	CO <sub>2</sub> gedraineerd	CO <sub>2</sub> hervernat	CH <sub>4</sub> gedraineerd	CH <sub>4</sub> hervernat	Klimaatwinst	Herstel (jaar)	Bron
Laagveen (IPCC Tier 1)	14,3 tot 23,5	2,7	1,6 tot 1,8	4,0	<b>9,2 tot 18,6</b>	-	Bonn et al., 2014
Hoogveen (IPCC Tier 1)	3,9 tot 32,1	0,0	0,7	1,7	<b>2,9 tot 31,1</b>	-	Bonn et al., 2014
Weiland op veen (IPCC Tier 1)	13,2	1,8	2,2	9,8	<b>3,8</b>	-	Humpenöder et al., 2020
Bos (IPCC Tier 1)	9,5	1,8	0,3	9,8	<b>-1,8</b>	-	Humpenöder et al., 2020
Veenweide (metadata)	13,6 tot 22,3	-0,4	2,1	5,8	<b>10,3-19,0</b>	-	Günther et al., 2020
Veenweide (agrarisch; Duitsland)	58	15,1	5,0	26,0	<b>21,9</b>	2	Huth et al., 2022
Veenweide (Agrarisch; vernatten & plaggen; Duitsland)	58	6,4	5,0	0,9	<b>47,5</b>		Huth et al., 2022
Veenweide (duitsland)	6 tot 30	-4,0	-	-	<b>10 tot 34</b>	20	Mrotzek et al., 2020
Veenweide (CA, USA)	12,5	-13,5 tot -14,6	2,2 tot 4,3	14,4 tot 19,8	<b>8,4 tot 17</b>	2-15	Knox et al., 2015
Schraalgrasland op veen (Ierland)	2,9 tot 8,4	-1,4 tot 7,7	0,4 tot 0,5	1,6 tot 3,4	<b>-7,8 tot 8,7</b>	15	Renou-Wilson et al., 2016
Hoogveen (Ierland)	5,5	2,4	0,0	1,9	<b>1,2</b>	2	Renou-Wilson et al., 2019
Hoogveen (Ierland)	5,1	2,1	0,0	0,1 tot 5,0	<b>-2 tot 2,9</b>	7-11	Wilson et al., 2016
Hoogveen (Canada)	16,3	18,5 5,3 -3,3	0,2	0,4 1,6 1,6	<b>-2,4 9,8 18,2</b>	1 4 15	Nugent et al., 2019
Wetland (Wales)	-	-	1,7	8,0	-	10	Fenner et al., 2011
Beekdal (Drentse Aa)	14,4	9,6	0,8	2,5	<b>3,1</b>	20	Liu et al., 2020
Veenweide (Denemarken)	-16,8 tot -12,5	-19,7 tot -16,8	1,0 tot 2,6	22,9 tot 32,6	<b>-19 tot -31,6</b>	1-2	Kandel et al., 2020
Veenweide (Metadata; Duitsland)	38,9	18,3	0,1	0,6	<b>20,1</b>	-	Tiemeyer et al., 2016
Veenweide (NL)	4,0	-13,5	4,8	5,4	<b>16,9</b>	7-10	Schrier-Uijl et al., 2014
Hoogveen (Canada)	4,6	1,0	0,0	0,3	<b>3,3</b>	10	Strack & Zuback, 2013

### 4.3 Afgraven, uitgraven of baggeren

Het afgraven van bodemmateriaal wordt meestal uitgevoerd om ofwel een systeem te verschromen (o.a. verwijderen nutriëntenrijke toplaag of baggeren), ofwel nieuw open water te creëren. Om tot een broeikasgasbalans te komen van deze maatregelen, moeten de emissies van zware machines, afbraak van het afgegraven materiaal én van de oude en nieuwe situatie meegenomen worden. De C-emissie die gepaard gaat met de uitstoot van machines en de afbraak van de afgevoerde bodem is reeds in Hoofdstuk 3 besproken.

Indien de graafwerkzaamheden worden uitgevoerd om open water te creëren, kan dit leiden tot verhoogde CH<sub>4</sub>-emissies vanuit het nieuw gecreëerde open water. De uitstoot van CH<sub>4</sub> is erg variabel in ruimte en tijd, omdat dit niet alleen diffuus gebeurt, maar ook via gasbellen (ebullitie). Daarnaast kunnen plantenstengels van bijvoorbeeld riet en lisdodde, fungeren als een soort schoorsteen voor CH<sub>4</sub> dat in de bodem wordt gevormd. Vooral als deze soorten worden gemaaid (of aangevreten door herbivoren) of afsterven in het najaar kan dit leiden tot een forse tijdelijke methaanpiek (Petruzzella et al., 2015). Over het algemeen hangt de emissie van CH<sub>4</sub> met name af van factoren als de diepte van afgraven, de samenstelling van de nieuw ontstane waterbodems, de waterkwaliteit en de temperatuur. Oppervlaktewateren dragen in grote mate bij aan de totale Nederlandse CH<sub>4</sub>-uitstoot. Deze uitstoot is deels natuurlijk (natte systemen en oppervlaktewateren stoten vrijwel altijd CH<sub>4</sub> uit), maar wordt ook deels veroorzaakt door de voedselrijkheid van Nederlandse wateren. Zo is ingeschat dat in Nederland alleen sloten al 7-16% van de totale CH<sub>4</sub>-uitstoot voor hun rekening nemen (Koschorreck et al., 2020; Peacock et al., 2021). Dit aandeel kan verder toenemen als de watertemperatuur door klimaatverandering toeneemt, aangezien de CH<sub>4</sub>-uitstoot uit onderwaterbodems sterk toeneemt met temperatuur (Aben et al., 2017; Aben et al., 2022). Uit het BlueCan project, waar broeikasgasemissie uit het sediment van verschillende oppervlaktewateren werd gemeten, bleek dat CH<sub>4</sub>-emissie deels te verklaren is door het organisch koolstofgehalte, de nutriëntenbeschikbaarheid en de pH (Schep et al., 2023). Hoe dit zich vertaalt naar emissies vanuit het water naar de atmosfeer hangt onder andere af van de methaanoxidatie in het water en de primaire productie. In Tabel 4 zijn enkele emissiewaarden van oppervlaktewater opgenomen. Daarnaast wordt in Kader 4.2 een casestudy beschreven uit de Wieden, waar nieuwe petgaten gegraven werden ter bevordering van de biodiversiteit. Het openen van oude, verlandende petgaten wordt nog regelmatig gedaan om de successie terug te zetten en opnieuw verlanding op gang te brengen. In de praktijk blijkt het echter nog erg lastig om verlanding weer goed op gang te brengen, wat onder andere toegeschreven wordt aan veranderde kwelstromen, vraat en hoge nutriëntenbelasting (Loeb et al., 2016).



#### **Kader 4.2: Herstel petgaten in de Wieden**

*In het kader van biodiversiteitsherstel zijn in de Wieden recent oude, verlandende petgaten weer open gegraven zodat nieuwe, open petgaten ontstaan. Hierbij werd gebruik gemaakt van de zogenoemde '3-in-1-methode', waarbij het afgegraven materiaal binnen het gebied verwerkt werd. Het totale gebied waar werkzaamheden plaatsvonden beslaat 9.2 ha. Vóór herstel waren de percelen welke afgegraven werden begroeit met elzen (broek)bos. Als we inschatten dat dit voor 50% bestond uit (veenvormend) broekbos en 50% uit droger elzenbos, komen we op een vastlegging van 27,6 ton CO<sub>2</sub>-eq per jaar. In de berekening gaan we ervan uit dat er gedurende 30 jaar verlanding van de petgaten plaatsvond en emissie vanuit de legakkers (droog rietland), waarna er 20 jaar een elzenbroekbos groeide. In totaal zou er in de 50 jaar vóór herstel daarmee netto 582 ton CO<sub>2</sub>-eq zijn vastgelegd.*



*Figuur 4.3 Nieuw gegraven petgaten in de Wieden, circa 6 maanden na oplevering. Foto: S.F. Harpenslager.*

*Tijdens de uitvoering is bos verwijderd, zijn petgaten gegraven en is de vrijgekomen grond en biomassa verwerkt in legakkers. De emissie die gepaard ging met deze werkzaamheden is bepaald op basis van het aangeleverde brandstofverbruik van de aannemer (15.013 l diesel) en de emissiefactor van (fossiele) diesel (3,47 kg CO<sub>2</sub>-eq/l). De totale emissie door gebruik van machines was 52 t CO<sub>2</sub>-eq. In de 9,2 ha van het gebied stonden ongeveer 16.500 bomen, waarvan 70% met een diameter tot 20 cm, 25% van 20-30 cm en 5% >30 cm. Op basis hiervan kon de totale biomassa (hout) worden ingeschat. Uitgaande van een gemiddeld C-gehalte van 50% kan berekend worden dat dit hout in totaal 1.015 t C bevatte. Wij gaan ervan uit dat 5% van dit C per jaar door afbraakprocessen vrijkomt, wat neerkomt op 20 t CO<sub>2</sub>-eq/ha/j. Voor het graven van de petgaten (ca. 3,8 ha.) is in totaal ca. 40.500 m<sup>3</sup> grond afgegraven. Deze bodem bevat ca. 1.400 t C (gemeten). Uitgaande van een afbraak van 5% C per jaar, zal hierdoor 47 t CO<sub>2</sub>-eq/ha/j vrijkomen. Wij gaan er in dit rekenvoorbeeld uit van een verstoringsfase van 5 jaar waarin deze afbraak plaatsvindt.*

*Na deze 5 jaar is de verwachting dat de legakkers bedekt zijn met (rietland) vegetatie, waarvoor we uitgaan van een emissie van ca. 3,5 t CO<sub>2</sub>-eq/ha/j voor een periode van 45 jaar. Daarnaast zal het open water (petgaten) zo'n 25 t CO<sub>2</sub>-eq/ha/j uitstoten (gebaseerd op gemiddelde emissies vanuit meren en*

sloten). Op basis van historische data (Bakker et al., 1997), zou dit zo'n 20 jaar open water blijven, waarna het zo'n 10-15 jaar semi-aquatiscche verlandingsvegetatie is en vervolgens 10-15 jaar kragge. In de praktijk blijkt het echter lastig om verlanding weer op gang te brengen, en het risico bestaat dan ook dat de petgaten (deels) open water blijven, waardoor de uitstoot vele malen hoger uitkomt voor de periode na herstel.

Tabel 6. Rekenvoorbeeld C-emissie voor, tijdens en na natuurherstel aan petgaten in de Wieden

Periode	Type emissie	Opp. (ha)	Duur	Emissie (t CO <sub>2</sub> -eq)	Totaal (t CO <sub>2</sub> -eq)
<b>Vóór herstel</b>	Elzen (Broek)bos	9,2	20 j	-552	
	Emissie legakkers	1,6	30 j	768	
	<u>Verlandingsvegetatie</u>	7,6	30 j	-798	<b>-582</b>
<b>Uitvoering en verstoringsfase</b>	Bomen verwijderen	9,2			
	Graven petgaten	3,8	28 d	52	
	Afbraak hout/ organische bodems	5,4	5 j	1812	
	Emissie open water	3,8	5 j	475	<b>2339</b>
<b>Na herstel</b>	Emissie open water	3,8	20 j	1900	
	<u>Verlandingsvegetatie</u>	3,8	10 j	-133	
	Kragge	3,8	20 j	-6	
	Emissie legakkers / rietland vegetatie	5,4	45 j	851	<b>2612</b>

Plaggen wordt vaak uitgevoerd wanneer gebieden met hoge nutriëntenbeschikbaarheid in de bodem heringericht worden als schraallanden of als deze vernat worden (Zie Kader 4.3 *Natuurontwikkeling Vlijmens Ven*). In dat laatste geval kan namelijk mobilisatie van voedingsstoffen uit de bodem optreden, die een belasting kunnen vormen voor het omliggende oppervlaktewater. Daarnaast heeft het verwijderen van de nutriëntenrijke toplaag een effect op de CH<sub>4</sub>-emissie, zoals hierboven beschreven. Er zijn verschillende studies waarin de effecten van plaggen op de broeikasgasemissies gerapporteerd worden, zowel vanuit experimenten die in een laboratorium zijn uitgevoerd als vanuit veldexperimenten. Over het algemeen laten deze studies zien dat de methaanemissie vóór plaggen zeer hoog is. Bodems verzameld in het IJperveld laten bijvoorbeeld een emissie zien van 0,2 tot 1,1 g CH<sub>4</sub>-C/m<sup>2</sup>/d, terwijl deze emissie gereduceerd wordt tot 0,00015 tot 0,0025 g CH<sub>4</sub>-C/m<sup>2</sup>/d wanneer de toplaag verwijderd wordt (Harpenslager et al., 2015). Ook in een intensief beheerd grasland in Duitsland werden 30-400 keer lagere methaanemissies gemeten na plaggen vergeleken met een niet-geplagd perceel (Huth et al., 2022). Emissies van CO<sub>2</sub> bleken in een soortgelijk experiment ook veel hoger wanneer de toplaag niet verwijderd werd, met steeds lagere emissies hoe meer materiaal afgegraven werd. Terwijl de niet-geplagde bodem ca. 6,5 g CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/d uitstootte, was dat voor bodems waarvan 5, 10, 15, 20 en 25 cm verwijderd werd respectievelijk 2,7; 2,0; 1,3; 1,4 en 0,6 g CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/d (Quadra et al., 2023).

#### **Kader 4.3: Natuurontwikkeling Vlijmens Ven door middel van plaggen**

In 2015 is gestart met de ontwikkeling van nieuwe natuur en natuurherstel in het Vlijmens Ven, de Moerputten en de Bossche Broek. In totaal beslaat het gebied 225 ha. Vóór herstel was het grootste deel van het gebied in gebruik als intensief beheerd grasland en voor akkerbouw (o.a. mais en prei). Bij de werkzaamheden is tot ongeveer 40 cm bodem afgeplagd. Hiervoor is 600.000 m<sup>3</sup> grond afgegraven, waarvan ca. een derde is hergebruikt bij aanleg of versterking van kades in het waterbergingsgebied ten westen van 's Hertogenbosch. Het afgeplagde gebied wordt ingericht als nat schraalland, met als doel ontwikkeling van blauwgrasland (momenteel ca. 25 ha).

In Tabel 7 is een grof rekenvoorbeeld weergegeven, waarin uitgegaan wordt van een historische situatie met 50% akkerbouw en 50% intensief grasland. De uitstoot die gepaard ging met de uitvoering komt voor het grootste deel door de afbraak van organisch materiaal in de afgegraven bodem. Hier is uitgegaan van een gemengd organisch-minerale bodem, met een koolstofgehalte van 30%. Er is uitgegaan van een periode van 5 jaar waarin de herstelmaatregelen werden uitgevoerd. Daarna wordt gerekend met een natuurtype "nat schraalland" en de bijbehorende emissies. In werkelijkheid is een mozaïeklandschap ontstaan, met zowel nat schraalland, als percelen met hoge natuurwaarden zoals blauwgrasland. Het gebied wordt jaarlijks gemaaid, waarbij 2000 ton maaisel vrijkomt. Deze grove berekening laat zien dat de herstelmaatregelen niet alleen bijdragen aan de natuurwaarde van het gebied, maar waarschijnlijk ook leiden tot een reductie in de broeikasgasemissie.

Tabel 7; Rekenvoorbeeld natuurherstel Vlijmens Ven

Periode	Type emissie	Opp. (ha)	Duur	Emissie (t CO <sub>2</sub> -eq)	Totaal (t CO <sub>2</sub> -eq)
<b>Vóór herstel</b>	Intensief gebruikt grasland	112,5	50	158.625	
	Akkerbouw	112,5	50	177.750	<b>336.375</b>
<b>Uitvoering en verstoringfase</b>	Plaggen (40 cm; 600.000 m <sup>3</sup> )	225	5	2.142	
	Afbraak organisch materiaal (400.000 m <sup>3</sup> )	-	5	21.000	<b>9.162</b>
<b>Na herstel</b>	Nat schraalland	225	45	75.937	
	Maaisel (2000 ton/j)	-	45	2.567	<b>78.504</b>

#### **4.4 Boskap (en verwijdering van andere vegetatie)**

Het verwijderen van bos(opslag) in of rondom het doelgebied kan worden uitgevoerd om verdroging tegen te gaan. Door verminderde opname en verdamping van water door bomen kan een hogere en meer stabiele grondwaterstand in het gebied worden bereikt. Wanneer de kap plaatsvindt in een intrekgebied kan het verwijderen van bos leiden tot een verhoogde grondwateraanvoer in het doelgebied. Daarnaast kan de extra open ruimte ten goede komen aan het ontwikkelen van een meer biodiverse vegetatie.

Bossen zijn systemen waarin veel koolstof opgeslagen ligt, zowel in de bodem (150 tot 230 ton C ha<sup>-1</sup>, Temmink et al., 2022), als in de boven- en ondergrondse biomassa. Bij het kappen en afvoeren van het hout komt dit opgeslagen koolstof op termijn vrij als CO<sub>2</sub> of CH<sub>4</sub>. De snelheid waarmee koolstof vastgelegd wordt, hangt sterk af van de leeftijd van het bos en de soortensamenstelling. In Tabel 4 zijn enkele kengetallen van de broeikasgasbalans van gematigde bossen opgenomen.

Naast boskap zijn er vele andere wegen waarin tijdens natuurbeheer natuurlijke biomassa en vegetatie verwijderd worden (bijvoorbeeld d.m.v. jaarlijks maaien). De verwijdering van vegetatie heeft direct invloed op de broeikasgasbalans doordat koolstof in de vorm van biomassa afgevoerd wordt. Daarnaast kan het ook indirect effect hebben doordat er minder koolstof opgeslagen kan worden en er minder koolstof beschikbaar is voor afbraak in het systeem zelf. Tevens heeft het actief afvoeren van biomassa (zoals maaien en afvoeren) op de langere termijn een effect op de vegetatiesuccessie en hiermee op termijn op het natuurtype. Indirect kunnen keuzes in natuurbeheer zoals het wel of niet toepassen van een maatregel als maaien en afvoeren hiermee invloed hebben op de successie en de broeikasgasemissie van een gebied. Hiermee zou het afplaggen van een voedselrijke toplaag qua broeikasgasemissies wel eens gunstiger kunnen zijn dan het extra verschrallingsbeheer dat nodig is in de vorm van het frequent maaien en afvoeren van de vegetatie.

## 5 Effecten van natuurherstel op de broeikasgasbalans van natuurgebieden

### 5.1 Waar staan we?

Gezien de mondiale inspanningen voor mitigatie van klimaatverandering en het reduceren van broeikasgasemissies, zoals afgesproken in het klimaatakkoord van Parijs, wordt de impact van menselijk handelen op broeikasgasemissies steeds meer getoetst. Hoewel natuurherstel gericht is op het behoud en herstel van natuurwaarden en biodiversiteit is het niet verwonderlijk dat ook hier meer aandacht is de effecten van maatregelen op de uitstoot van CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O.

In dit rapport is de huidige kennis samengevat en zijn vanuit verschillende bronnen kengetallen verzameld, waarmee een indicatie verkregen kan worden van de impact van veelvoorkomende natuurherstelmaatregelen. Hierbij moet de kanttekening geplaatst worden dat een deel van de kengetallen gebaseerd is op een beperkt aantal metingen of modelberekeningen en dat er voor enkele natuurtypen en/of herstelmaatregelen geen gegevens beschikbaar zijn. Dit gaat vooral om de kengetallen die gekoppeld zijn aan de broeikasgasbalans van verschillende natuurtypen (Tabel 4). Ondanks deze onzekerheid zijn de kengetallen die in dit rapport gepresenteerd worden, gecombineerd met kennis van processen die de emissie van broeikasgassen sturen, geschikt om de ordegrrootte van emissies vóór, tijdens en na herstel te kunnen schatten.

Omdat bekend is dat met name de emissies van CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O grote spreiding in ruimte en tijd vertonen en er minder metingen beschikbaar zijn, hebben deze kengetallen een grotere mate van onzekerheid. Voor N<sub>2</sub>O is zo weinig bekend en zijn de variatie en onzekerheid zodanig groot dat dit broeikasgas bij de kengetallen in dit rapport buiten beschouwing is gelaten. Wel is bekend dat het beëindigen van drainage en bemesting, bijvoorbeeld bij omvorming van landbouw naar natuur, gepaard gaat met een sterke daling van N<sub>2</sub>O-emissie. Voor natuurtypen waar minder meetgegevens van bekend zijn, zoals bossen, heide en schraallanden, bestaat ook een grotere onzekerheid dan voor natuurtypen, zoals veensystemen, waar meer onderzoek naar gedaan is. Kengetallen van de C-impact van materialen, emissie door machines en afbraak van organisch materiaal zijn meer gestandaardiseerd, omdat hier ook in andere sectoren, zoals in de bouw, gebruik van wordt gemaakt.

### 5.2 Hoe nu verder?

Wij adviseren om een database te ontwikkelen waarin gestandaardiseerde kengetallen van broeikasgasemissies vanuit verschillende natuur- en landschapstypen en herstelmaatregelen opgenomen worden. Deze database door een overheidsinstantie up-to-date moeten worden gehouden, onafhankelijk gevalideerd worden en enkel moeten bestaan uit getallen uit gepubliceerde studies. De getallen die gebruikt worden in de GEST-methode worden bijvoorbeeld ook regelmatig

---

aangepast op basis van nieuwe inzichten en studies. Aanvullend zouden ook de meest invloedrijke processen die de koolstofcyclus, broeikasgasemissies en levenscyclus van materialen beïnvloeden in de database beschreven kunnen worden. Met een dergelijke database zou vervolgens een toegankelijke rekentool ontwikkeld kunnen worden waarmee beheerders en beleidsmakers voor verschillende scenario's meer inzicht kunnen krijgen in de broeikasgasemissies. In samenspraak met beheerders zou ook een lijst opgesteld kunnen worden van regelmatig voorkomende werkzaamheden en ingrepen waarvan bekend is dat ze tot een grote verandering in de klimaatvoetafdruk van een (natuur)gebied zullen leiden. In dit rapport zijn het verwijderen van bos, het afgraven van grond en het vernatten van verdroogde systemen als voorbeelden gebruikt.

Op basis van de beschikbare kengetallen kunnen er inschattingen worden gemaakt van de impact van natuurherstelmaatregelen op broeikasgasemissies. De kennislacunes en onzekerheidsmarges van emissiefactoren zijn voor veel natuurtypen en natuurherstelmaatregelen wel zodanig dat dit nauwkeurige voorspellingen nog in de weg staat. Het wordt dan ook aangeraden om in toekomstige projecten metingen uit te voeren van de uitstoot van broeikasgasemissies vóór, tijdens en na uitvoering. Daarna kan een goede monitoring betere inzichten geven op de effecten van natuurherstel op de langere termijn. Hierdoor zal de uitstoot van broeikasgassen vanuit verschillende systemen en (herstel)maatregelen steeds beter ingeschat kunnen worden.

## 6 Literatuur

- Aben, R. C., Barros, N., Van Donk, E., Frenken, T., Hilt, S., Kazanjian, G., Lamers, L. P., Peeters, E. T., Roelofs, J. G., & de Senerpont Domis, L. N. (2017). Cross continental increase in methane ebullition under climate change. *Nature Communications*, 8(1), 1–8.
- Aben, R. C. H., Oliveira Junior, E. S., Carlos, A. R., van Bergen, T. J. H. M., Lamers, L. P. M., & Kosten, S. (2022). Impact of plant species and intense nutrient loading on CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes from small inland waters: An experimental approach. *Aquatic Botany*, 180, 103527. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2022.103527>
- Akselsson, C., Berg, B., Meentemeyer, V., & Westling, O. (2005). Carbon sequestration rates in organic layers of boreal and temperate forest soils—Sweden as a case study. *Global Ecology and Biogeography*, 14(1), 77–84. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2004.00133.x>
- Arets, E. J. M. M., Van Der Kolk, J., Hengeveld, G. M., Lesschen, J. P., Kramer, H., Kuikman, P., & Schelhaas, N. (2020). Greenhouse gas reporting for the LULUCF sector in the Netherlands: Methodological background, update 2020 (Statutory Research Tasks Unit for Nature and the Environment, pp. 2352–2739).
- Bakker, S. A., Jasperse, C., & Verhoeven\*, J. T. A. (1997). Accumulation rates of organic matter associated with different successional stages from open water to carr forest in former turbaries. *Plant Ecology*, 129(2), 113–120. <https://doi.org/10.1023/A:1009780328275>
- BIJ12. (2022). Standaardkostprijs directe werkzaamheden natuur- en landschapsbeheer.
- Bodmer, P., Vroom, R. J., Stepina, T., Del Giorgio, P. A., & Kosten, S. (2024). Methane dynamics in vegetated habitats in inland waters: Quantification, regulation, and global significance. *Frontiers in Water*, 5, 1332968.
- Bonn, A., Reed, M. S., Evans, C. D., Joosten, H., Bain, C., Farmer, J., Emmer, I., Couwenberg, J., Moxey, A., Artz, R., Tanneberger, F., von Unger, M., Smyth, M.-A., & Birnie, D. (2014). Investing in nature: Developing ecosystem service markets for peatland restoration. *Ecosystem Services*, 9, 54–65. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.06.011>
- Boosten, M., Lerink, B., Lokin, V., & Schelhaas, M.-J. (2022). Praktische handreiking voor effectief klimaatslim bos- en natuurbeheer en toepassing van hout. - Herziening 2022. WUR.
- Butterbach-Bahl, K., Baggs, E. M., Dannenmann, M., Kiese, R., & Zechmeister-Boltenstern, S. (2013). Nitrous oxide emissions from soils: How well do we understand the processes and their controls? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1621), 20130122.
- Butterbach-Bahl, K., Ma, L., Gettel, G., Werner, C., Kiese, R., Zuo, H., Niu, S., Wang, J., Chen, X., Xia, L., Zhu, Y., & Ciais, P. (2023). Declines of peatland water table forces climate warming despite methane emission drawdown [Preprint]. In Review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2839705/v1>
- Cleary, J., Roulet, N. T., & Moore, T. R. (2005). Greenhouse Gas Emissions from Canadian Peat Extraction, 1990–2000: A Life-cycle Analysis. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 34(6), 456–461. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-34.6.456>
- CO2 Emissiefactoren. (2024). [dataset].
-

- Couwenberg, J. (2021). GESTs Database [dataset].
- Couwenberg, J., Thiele, A., Tanneberger, F., Augustin, J., Bärtsch, S., Dubovik, D., Liashchynskaya, N., Michaelis, D., Minke, M., Skuratovich, A., & Joosten, H. (2011). Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy. *Hydrobiologia*, 674(1), 67–89. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0729-x>
- Daun, C., Huth, V., Gaudig, G., Günther, A., Krebs, M., & Jurasinski, G. (2023). Full-cycle greenhouse gas balance of a Sphagnum paludiculture site on former bog grassland in Germany. *Science of The Total Environment*, 877, 162943. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162943>
- Evans, C. D., Peacock, M., Baird, A. J., Artz, R. R. E., Burden, A., Callaghan, N., Chapman, P. J., Cooper, H. M., Coyle, M., Craig, E., Cumming, A., Dixon, S., Gauci, V., Grayson, R. P., Helfter, C., Heppell, C. M., Holden, J., Jones, D. L., Kaduk, J., ... Morrison, R. (2021). Overriding water table control on managed peatland greenhouse gas emissions. *Nature*, 593(7860), Article 7860. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03523-1>
- Fenner, N., Williams, R., Toberman, H., Hughes, S., Reynolds, B., & Freeman, C. (2011). Decomposition 'hotspots' in a rewetted peatland: Implications for water quality and carbon cycling. *Hydrobiologia*, 674(1), 51–66. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0733-1>
- Fritz, C., Geurts, J. J. M., Weideveld, S. T. J., Temmink, R. J. M., Bosma, N., Wichern, F., Smolders, A. J. P., & Lamers, L. P. M. (2017). Meten is weten bij bodemdaling-mitigatie: Effect van peilbeheer en teeltkeuze op CO<sub>2</sub>-emissies en veenoxidatie. *Bodem: Kwartaalblad Voor Informatie-Uitwisseling En Discussie over Bodembescherming En Bodemsanering*, 27(2), 20–22.
- Fritz, C., & van Duinen, G.-J. (2020). Broeikasgasemissie in het Fochteloërveen; Inschatting met de GEST-methode.
- González-García, S., Berg, S., Feijoo, G., & Moreira, M. T. (2009). Environmental impacts of forest production and supply of pulpwood: Spanish and Swedish case studies. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(4), 340–353. <https://doi.org/10.1007/s11367-009-0089-1>
- Günther, A., Barthelmes, A., Huth, V., Joosten, H., Jurasinski, G., Koebisch, F., & Couwenberg, J. (2020). Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions. *Nature Communications*, 11(1), 1644. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15499-z>
- Günther, A., Huth, V., Jurasinski, G., & Glatzel, S. (2015). The effect of biomass harvesting on greenhouse gas emissions from a rewetted temperate fen. *GCB Bioenergy*, 7(5), 1092–1106. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12214>
- Harpenslager, S. F., van Den Elzen, E., Kox, M. A., Smolders, A. J., Ettwig, K. F., & Lamers, L. P. (2015). Rewetting former agricultural peatlands: Topsoil removal as a prerequisite to avoid strong nutrient and greenhouse gas emissions. *Ecological Engineering*, 84, 159–168.
- Hendriks, C., Arets, E., Huijstee, J. van, & Teenstra, E. (2021). LULUCF: Land Use, Land-Use Change and Forestry: Interactieve PDF. <https://doi.org/10.18174/545713>
- Hendriks, L., Weideveld, S., Fritz, C., Stepina, T., Aben, R. C. H., Fung, N. E., & Kosten, S. (2024). Drainage ditches are year-round greenhouse gas hotlines in temperate peat landscapes. *Freshwater Biology*, 69(1), 143–156. <https://doi.org/10.1111/fwb.14200>



- Humpenöder, F., Karstens, K., Lotze-Campen, H., Leifeld, J., Menichetti, L., Barthelmes, A., & Popp, A. (2020). Peatland protection and restoration are key for climate change mitigation. *Environmental Research Letters*, 15(10), 104093. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abae2a>
- Huth, V., Günther, A., Bartel, A., Gutekunst, C., Heinze, S., Hofer, B., Jacobs, O., Koebisch, F., Rosinski, E., Tonn, C., Ullrich, K., & Jurasinski, G. (2022). The climate benefits of topsoil removal and Sphagnum introduction in raised bog restoration. *Restoration Ecology*, 30(1), e13490. <https://doi.org/10.1111/rec.13490>
- IPCC. (2013). 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. <https://www.ipcc.ch/publication/2013-supplement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories-wetlands/>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (1st ed.)*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Jansen Group, 2022. (n.d.). CO2 Emissie Rapportage 2021; Janssen Group Beatrixhaven Maastricht B.V.; Conform ISO 14064-1; Opgesteld door Marcel Kersten, Corio Consultancy b.v., 8 april 2022. <https://www.janssen-group.com/cms/files/filemanager/files/doc-id3a-co2-emissie-rapportage-2021-janssen-beatrixhaven-maastricht-versie-7.0.pdf>
- Joosten, H., Brust, K., Couwenberg, J., Gerner, A., Holsten, B., Permien, T., Schäfer, A., Tanneberger, F., Trepel, M., & Wahren, A. (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.).
- Kandel, T. P., Karki, S., Elsgaard, L., Labouriau, R., & Lærke, P. E. (2020). Methane fluxes from a rewetted agricultural fen during two initial years of paludiculture. *Science of The Total Environment*, 713, 136670. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136670>
- Kip, N., Fritz, C., Langelaan, E. S., Pan, Y., Bodrossy, L., Pancotto, V., Jetten, M. S. M., Smolders, A. J. P., & Op den Camp, H. J. M. (2012). Methanotrophic activity and diversity in different Sphagnum magellanicum dominated habitats in the southernmost peat bogs of Patagonia. *Biogeosciences*, 9(1), 47–55. <https://doi.org/10.5194/bg-9-47-2012>
- Knox, S. H., Sturtevant, C., Matthes, J. H., Koteen, L., Verfaillie, J., & Baldocchi, D. (2015). Agricultural peatland restoration: Effects of land-use change on greenhouse gas (CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>) fluxes in the Sacramento-San Joaquin Delta. *Global Change Biology*, 21(2), 750–765.
- Koschorreck, M., Downing, A. S., Hejzlar, J., Marcé, R., Laas, A., Arndt, W. G., Keller, P. S., Smolders, A. J. P., van Dijk, G., & Kosten, S. (2020). Hidden treasures: Human-made aquatic ecosystems harbour unexplored opportunities. *Ambio*, 49(2), 531–540. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01199-6>
- Lal, R., Lorenz, K., Hüttl, R. F., Schneider, B. U., & Von Braun, J. (Eds.). (2012). *Recarbonization of the Biosphere: Ecosystems and the Global Carbon Cycle*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4159-1>
- LandbouwMechanisatie. (2014). Dieserverbruik onder de loep.
-

- Liu, W., Grootjans, A., 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, 02.
- Loeb, R. (2016). Verlanding in laagveenpetgaten; Speerpunt voor natuurherstel in laagvenen (2016/OBN208-LZ; KNNV Uitgeverij). VBNE, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren.
- Luysaert, S., Inglima, I., Jung, M., Richardson, A. D., Reichstein, M., Papale, D., Piao, S. L., Schulze, E.-D., Wingate, L., Matteucci, G., Aragao, L., Aubinet, M., Beer, C., Bernhofer, C., Black, K. G., Bonal, D., Bonnefond, J.-M., Chambers, J., Ciais, P., ... Janssens, I. A. (2007). CO<sub>2</sub> balance of boreal, temperate, and tropical forests derived from a global database. *Global Change Biology*, 13(12), 2509–2537. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01439.x>
- Morison, J., Matthews, R., Miller, G., Perks, M., Randle, T., Vanguelova, E., White, M., & Yamulki, S. (2012). Understanding the carbon and greenhouse gas balance of forests in Britain (Forestry Commission Edinburgh). <https://cdn.forestryresearch.gov.uk/2022/02/fcrp018-3.pdf>
- Mrotzek, A., Michaelis, D., Günther, A., Wrage-Mönnig, N., & Couwenberg, J. (2020). Mass Balances of a Drained and a Rewetted Peatland: On Former Losses and Recent Gains. *Soil Systems*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/soilsystems4010016>
- Nugent, K. A., Strachan, I. B., Roulet, N. T., Strack, M., Froking, S., & Helbig, M. (2019). Prompt active restoration of peatlands substantially reduces climate impact. *Environmental Research Letters*, 14(12), 124030. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab56e6>
- Paranaíba, J. R., Struik, Q., Erdociain, M., van Dijk, G., Smolders, A. J. P., van der Knaap, J., Veraart, A. J., & Kosten, S. (2023). CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O emissions from dredged material exposed to drying and zeolite addition under field and laboratory conditions. *Environmental Pollution*, 337, 122627. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122627>
- Paranaíba, J. R., Struik, Q., Erdociain, M., Van Dijk, G., Smolders, A. J. P., Van der Knaap, J., Veraart, A. J., & Kosten, S. (in prep.). CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O emissions from dredged material exposed to drying and zeolite addition under field and laboratory conditions.
- Peacock, M., Audet, J., Bastviken, D., Futter, M. N., Gauci, V., Grinham, A., Harrison, J. A., Kent, M. S., Kosten, S., Lovelock, C. E., Veraart, A. J., & Evans, C. D. (2021). Global importance of methane emissions from drainage ditches and canals. *Environmental Research Letters*, 16(4), 044010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abeb36>
- Peacock, M., Ridley, L. M., Evans, C. D., & Gauci, V. (2017). Management effects on greenhouse gas dynamics in fen ditches. *Science of The Total Environment*, 578, 601–612. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.005>
- Petruzzella, A., Guariento, R. D., Gripp, A. da R., Marinho, C. C., Figueiredo-Barros, M. P., & Esteves, F. de A. (2015). Herbivore damage increases methane emission from emergent aquatic macrophytes. *Aquatic Botany*, 127, 6–11. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2015.07.003>
- Quadra, G. R., Boonman, C. C. F., Vroom, R. J. E., Temmink, R. J. M., Smolders, A. J. P., Geurts, J. J. M., Aben, R. C. H., Weideveld, S. T. J., & Fritz, C. (2023). Removing 10 cm of degraded peat mitigates unwanted

- effects of peatland rewetting: A mesocosm study. *Biogeochemistry*, 163(1), 65–84. <https://doi.org/10.1007/s10533-022-01007-6>
- 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 carbon for photosynthesis in peat bogs. *Nature*, 436(7054), 1153–1156. <https://doi.org/10.1038/nature03802>
- Renou-Wilson, F., Moser, G., Fallon, D., Farrell, C. A., Müller, C., & Wilson, D. (2019). Rewetting degraded peatlands for climate and biodiversity benefits: Results from two raised bogs. *Ecological Engineering*, 127, 547–560. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.02.014>
- Renou-Wilson, F., Müller, C., Moser, G., & Wilson, D. (2016). To graze or not to graze? Four years greenhouse gas balances and vegetation composition from a drained and a rewetted organic soil under grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 222, 156–170. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.02.011>
- Richardson, T. (2023). *Klimaatlim natuurbeheer: Kentallen en beheeropties voor natte natuur op veenbodems en in kwelders*.
- Rietstra, R., Van Beek, C., & Harmsen, J. (2009). *Uitspoeling van stikstof en fosfaat en emissies van CO<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>O na toediening slootbagger op veengrond (Rapport 1984)*. Alterra.
- R.J. Vermeulen, N.E. Ligterink, & P.J. van der Mark. (2021). *Real-world emissions of non-road mobile machinery (TNO 2021 R10221; TNO)*.
- Schaller, C., Hofer, B., & Klemm, O. (2022). Greenhouse Gas Exchange of a NW German Peatland, 18 Years After Rewetting. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 127(2), e2020JG005960. <https://doi.org/10.1029/2020JG005960>
- Schep, S. A., Kox, M., Troost, T., de Rijk, S., Brederveld, R. J., van Dijk, G., van Deelen, E. E., Poelen, M., & Slagter, L. (2023). *BlueCAN: Helder water voor het klimaat (115669/23-003.591)*.
- Schrier-Uijl, A. P., Kroon, P. S., Hendriks, D. M. D., Hensen, A., Van Huissteden, J., Berendse, F., & Veenendaal, E. M. (2014). Agricultural peatlands: Towards a greenhouse gas sink – a synthesis of a Dutch landscape study. *Biogeosciences*, 11(16), 4559–4576. <https://doi.org/10.5194/bg-11-4559-2014>
- Schrier-Uijl, A. P., Veraart, A. J., Leffelaar, P. A., Berendse, F., & Veenendaal, E. M. (2011). Release of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> from lakes and drainage ditches in temperate wetlands. *Biogeochemistry*, 102(1), 265–279. <https://doi.org/10.1007/s10533-010-9440-7>
- Stichnothe, H. (2022). Life cycle assessment of peat for growing media and evaluation of the suitability of using the Product Environmental Footprint methodology for peat. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 27(12), 1270–1282. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02106-0>
- Strack, M., & Zuback, Y. C. A. (2013). Annual carbon balance of a peatland 10 yr following restoration. *Biogeosciences*, 10(5), 2885–2896. <https://doi.org/10.5194/bg-10-2885-2013>
- Temmink, R. J. M., Lamers, L. P. M., Angelini, C., Bouma, T. J., Fritz, C., van de Koppel, J., Lexmond, R., Rietkerk, M., Silliman, B. R., Joosten, H., & van der Heide, T. (2022). *Recovering wetland*
-

- biogeomorphic feedbacks to restore the world's biotic carbon hotspots. *Science*, 376(6593), eabn1479. <https://doi.org/10.1126/science.abn1479>
- Temming, R. J. M., Vroom, R. J. E., van Dijk, G., Käärmelahti, S. A., Koks, A. H. W., Joosten, H., Krebs, M., Gaudig, G., Brust, K., Lamers, L. P. M., Smolders, A. J. P., & Fritz, C. (2023). Restoring organic matter, carbon and nutrient accumulation in degraded peatlands: 10 years *Sphagnum* paludiculture. *Biogeochemistry*. <https://doi.org/10.1007/s10533-023-01065-4>
- Tiemeyer, B., Albiac Borraz, E., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer, C., Drösler, M., Ebli, M., Eickenscheidt, T., Fiedler, S., Förster, C., Freibauer, A., Giebels, M., Glatzel, S., Heinichen, J., Hoffmann, M., Höper, H., Jurasinski, G., Leiber-Sauheitl, K., ... Zeitz, J. (2016). High emissions of greenhouse gases from grasslands on peat and other organic soils. *Global Change Biology*, 22(12), 4134–4149. <https://doi.org/10.1111/gcb.13303>
- Tiemeyer, B., Freibauer, A., Borraz, E. A., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer, C., Ebli, M., Eickenscheidt, T., Fiedler, S., Förster, C., Gensior, A., Giebels, M., Glatzel, S., Heinichen, J., Hoffmann, M., Höper, H., Jurasinski, G., Laggner, A., ... Drösler, M. (2020). A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. *Ecological Indicators*, 109, 105838. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105838>
- TP productcatalogus (2023) Retrieved May 15, 2024, from [https://www.tpchipper.com/media/o2rpsbpu/linddana\\_mobile-catalogue-tp215-280\\_ndl\\_web.pdf](https://www.tpchipper.com/media/o2rpsbpu/linddana_mobile-catalogue-tp215-280_ndl_web.pdf)
- van Bergen, T. J. H. M., Barros, N., Mendonça, R., Aben, R. C. H., Althuizen, I. H. J., Huszar, V., Lamers, L. P. M., Lürling, M., Roland, F., & Kosten, S. (2019). Seasonal and diel variation in greenhouse gas emissions from an urban pond and its major drivers. *Limnology and Oceanography*, 64(5), 2129–2139. <https://doi.org/10.1002/lno.11173>
- van den Berg, M., Ingwersen, J., Lamers, M., & Streck, T. (2016). The role of Phragmites in the CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> fluxes in a minerotrophic peatland in southwest Germany. *Biogeosciences*, 13(21), 6107–6119. <https://doi.org/10.5194/bg-13-6107-2016>
- van den Born, G. J., Bouwer, L. M., Goosen, H., Huitema, D., & Schrijver, R. (2002). Klimaatwinst in Veenweidegebieden (IVM Report; Nr. R-02/05).
- Van der Knaap, J., van Dijk, G., Smolders, A. J. P., & Kosten, S. (in prep.). Mitigation of greenhouse gas emissions from sludge from inland waters: Effectiveness mitigation measures composition dependent.
- Van Duinen, G., Fritz, C., & Couwenberg, J. (2015). Effecten van herstelmaatregelen op vastlegging en emissie van broeikasgassen in de Deurnsche Peel en Mariapeel.
- Van Duinen, G., Fritz, C., & Couwenberg, J. (2018). Winst van hoogveenherstel voor de broeikasgasbalans van de Groote Peel.
- Verbeek, M., & Van Grinsven, A. (2020). Factsheet vrachtwagens en trekker opleggers op diesel (TNO TNO 2020 R10784-9). <https://www.pianoo.nl/sites/default/files/media/documents/Factsheet9-vrachtwagens-en-trekker-opleggers-op-diesel-juli2020.pdf>

Wilson, D., Farrell, C. A., Fallon, D., Moser, G., Müller, C., & Renou-Wilson, F. (2016). Multiyear greenhouse gas balances at a rewetted temperate peatland. *Global Change Biology*, 22(12), 4080–4095. <https://doi.org/10.1111/gcb.13325>

Zwaan Opperdoes BV. (2021). Voortgangsrapportage ketenanalyse onderaannemer. <https://www.zwaanopperdoes.nl/wp-content/uploads/2021/02/Voortgangsrapportage-ketenanalyse-februari-2021-voor-website.pdf>

---

## 7 Verklarende woordenlijst

**Acrotelm:** de laag levend veenmos in een veengebied (meestal 10-50 cm dik).

**Aeroob:** zuurstofrijke omstandigheden (bijv. met betrekking tot microbiële processen en veenafbraak)

**Anaeroob:** zuurstofarme omstandigheden

**Bokashi:** Bodemverbeteraar op basis van gefermenteerd organisch materiaal

**(Netto) Broeikasgasbalans:** De resultante van de uitstoot en vastlegging van broeikasgassen

**C-footprint:** De hoeveelheid koolstof (uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten) die gebruikt wordt bij grondstofwinning, productie, gebruik en afvalverwerking van een product of activiteit.

**CO<sub>2</sub>-equivalent:** maat voor het effect van een broeikasgas, gestandaardiseerd naar het broeikasgas CO<sub>2</sub>. De uitstoot van één kg CO<sub>2</sub>-eq staat gelijk aan de effecten van 1 kg CO<sub>2</sub>. De uitstoot van 1 kg CH<sub>4</sub> gelijk staat aan 27 kg CO<sub>2</sub>-eq; voor 1 kg N<sub>2</sub>O is dit 273 kg CO<sub>2</sub>-eq.

**Ebullitie:** Methaangas kan zowel diffuus als via ebullitie uitgestoten worden. Bij ebullitie komt het gas vrij als bellen, waarbij er dus in één keer een grote hoeveelheid in de atmosfeer terecht komt. De emissie via deze bellen is zeer variabel in tijd en ruimte, en kan gestimuleerd worden door verstoring (omwoelen van de bodem, verschillen in luchtdruk, windwerking).

**Emissiefactor (EF):** geeft een inschatting van de milieu-impact van een product of activiteit. De EF wordt meestal uitgedrukt in kg CO<sub>2</sub>-equivalenten per eenheid en/of periode, en kan worden gebruikt om een C-footprint te berekenen.

**Global Warming Potential (GWP):** Het Global Warming Potential (GWP) geeft het aardopwarmingsvermogen van een broeikasgas aan ten opzicht van CO<sub>2</sub>. Het wordt dan ook uitgedrukt in kg CO<sub>2</sub>-equivalenten. Meestal wordt uitgegaan van een periode van de GWP-100: het opwarmingsvermogen van 1 kg van het broeikasgas ten opzichte van 1 kg CO<sub>2</sub> over 100 jaar.

**Greenhouse gas Emission Site Types (GEST):** refereert naar vegetatietypen die voorkomen bij een bepaalde waterstandsklasse. Aan elk type is een emissie (in CO<sub>2</sub>-eq) gekoppeld. Door op basis van vegetatiekaarten en peilgegevens een gebied te verdelen in verschillende typen, kan de totale broeikasgasemissie van dit gebied geschat worden. De GESTs kunnen ook gebruikt worden om de emissie van toekomstige of historische scenario's in te schatten en te vergelijken.

**Habitattype:** wordt gebruikt binnen Natura2000 voor een type ecosysteem op het land of in het water met kenmerkende eigenschappen.

**Halfwaardetijd:** geeft aan hoe lang het duurt voordat de helft van een stof is afgebroken. De halfwaardetijd van hout gebruikt in meubels geeft aan hoe lang het duurt voordat de koolstof die is opgeslagen in het hout weer vrijkomt als CO<sub>2</sub>.

**Koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>):** is een gas dat vrijkomt bij de volledige, aerobe verbranding van organisch materiaal.

**Koolstofkringloop:** alle processen waarbij koolstof wordt opgenomen, getransformeerd of uitgestoten.

**Koolstofvastlegging:** Koolstof wordt in de vorm van CO<sub>2</sub> opgenomen door planten bij fotosynthese en ingebouwd in biomassa. Bij het meten van broeikasgasemissies wordt dit gekwantificeerd als GPP (Gross Primary Production, oftewel bruto primaire productie).

**Lachgas (N<sub>2</sub>O):** is een sterk broeikasgas, wat vrijkomt bij verschillende processen in de stikstofcyclus. Doordat verschillende processen betrokken zijn bij de productie van N<sub>2</sub>O, is de uitstoot erg variabel in tijd en ruimte. Over het algemeen is de uitstoot hoog in gebieden met stikstofbemesting en wisselende waterpeilen, en laag in oligotrofe systemen die permanent nat of permanent droog zijn.

**Lifecycle assessment (LCA):** In een LCA is een ketenanalyse waarin de milieueffecten voor de hele levenscyclus van een activiteit of product worden geïnventariseerd, inclusief de winning van grondstoffen, het productieproces, het gebruik en de afvalverwerking.

**Meta-analyse:** Een wetenschappelijke studie, waarin de resultaten van een groot aantal onderzoeken worden gecombineerd om algemene patronen te identificeren.

**Methaan (CH<sub>4</sub> – ook moerasgas genoemd):** is de eenvoudigste vorm van koolwaterstoffen (stoffen bestaande uit enkel koolstof en waterstof). Het komt vrij bij anaerobe afbraak van organisch materiaal.

**Methaan-oxidatie:** Bij methaanoxidatie wordt CH<sub>4</sub> omgezet in CO<sub>2</sub> door methaan-oxiderende bacteriën (methanotrofen). Dit gebeurt meestal met zuurstof (O<sub>2</sub>), maar anaerobe methaanoxidatie bestaat ook.

**Natuurtype:** wordt gebruikt om natuurgebieden in te delen op basis van abiotische condities voor beleidsdoeleinden.

**Paludicultuur:** Het telen van gewassen bij een waterstand rond of boven maaiveld, vaak op veengronden met veenbehoud als (aanvullende) doelstelling. Enkele voorbeelden van natte teelten zijn riet, lisdodde, wilgen en veenmos.

**Radiative forcing:** Een maat voor het broeikaseffect, dat aangeeft hoeveel warmte die binnenkomt door straling van de zon vastgehouden wordt in de atmosfeer (dit wordt o.a. versterkt door de toename van broeikasgassen in de atmosfeer).

**Well-to-wheel (WTW) emissie:** De emissie die gepaard gaat met het produceren (well), transporteren en consumeren (wheel) van brandstoffen. Dit is feitelijk een LCA voor voertuigen.

---



Ministerie van Landbouw,  
Natuur en Voedselkwaliteit



OBN Natuurkennis wordt gecoördineerd door de VBNE en gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en BIJ12.



Alle publicaties en producten van OBN Natuurkennis zijn te vinden op  
[www.natuurkennis.nl](http://www.natuurkennis.nl)