



## Deltafact - Broeikasgasemissies uit zoetwater

Broeikasgassen uit landgebruik hebben een aandeel van 2-3% van de Nederlandse jaarlijkse uitstoot, waarvan oppervlaktewateren een groot aandeel in hebben. In veel gevallen zijn oppervlaktewateren met een slechte waterkwaliteit grote uitstoters. Maatregelen die gericht zijn op schoner water, zoals KRW-maatregelen, hebben dus ook een positieve uitkomst voor het klimaat. In deze Deltafact duiken we in de kennis aangaande de uitstoot van broeikasgassen uit zoete oppervlaktewateren. Door steeds meer wetenschappelijk onderzoek wordt duidelijk wat de invloed is van deze watersystemen op de nationale uitstoot. Door de diversiteit aan oppervlaktewater in Nederland is niet ieder watertype met elkaar te vergelijken. Er wordt een perspectief geboden voor maatregelen en onderzoek. Gedetailleerde beschrijvingen van systemen en processen worden gegeven in achtergronddocumenten.

### INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING
2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS
3. STRATEGIE
4. SCHEMATISCHE WEERGAVE
5. WERKING
6. KOSTEN EN BATEN
7. RANDVOORWAARDEN
8. GOVERNANCE
9. PRAKTIJKERVARING EN LOPENDE INITIATIEVEN
10. KENNISLEEMTEN
11. BRONNEN & LINKS
12. DISCLAIMER

## 1. Inleiding

Om de schadelijke gevolgen van klimaatverandering te beperken heeft Nederland zich gecommitteerd om de uitstoot van broeikasgassen te verlagen. Een post die hierin tot nu toe nog weinig onder de aandacht is geweest, zijn de emissies uit oppervlaktewateren. In de huidige rapportages veroorzaken deze emissies 0.2% van de nationale uitstoot, maar dit komt vooral doordat er gesteld wordt dat het merendeel van de wateren geen uitstoot veroorzaken. Hoewel dit voor aanstaande rapportages wordt aangepast, is het duidelijk dat er kennis over de processen nodig is.

Sloten, kanalen, meren, plassen en vijvers zijn voorbeelden van oppervlaktewateren die bronnen kunnen vormen van de broeikasgassen koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>), methaan (CH<sub>4</sub>) en lachgas (N<sub>2</sub>O). Wereldwijd worden dergelijke emissies geduid als zeer variabel en lijken menselijke activiteiten bij te dragen aan de verhoging ervan ([Rosentreter et al., 2021](#); [Lauerwald et al., 2023](#); [Rocher-Ros et al., 2023](#)). Een huidige schatting is dat 2% van de jaarlijkse uitstoot veroorzaakt wordt door zoetwatersystemen ([zie achtergronddocument Uitstootberekening](#)). Nederlandse wateren zijn in verhouding tot het buitenland meer belast met nutriënten en organische stof. Hierdoor is er steeds meer data die wijst op een hogere broeikasgasuitstoot. Er zijn diverse kanttekeningen te plaatsen bij deze berekeningen, waardoor het getal hoger en/of lager kan zijn ([zie het achtergronddocument](#)). Ook is er sprake van een verschil tussen kort-cyclische en lang-cyclische CO<sub>2</sub>-uitstoot. Kort-cyclische uitstoot is bijvoorbeeld het verbranden van biomassa en de jaarlijkse groei van planten. Lang-cyclische uitstoot is het verbranden van fossiele brandstoffen, maar ook als landgebruik door de mens veranderd wordt. Voor de uitstoot van natuurlijke systemen is het verschil tussen kort- en lang-cyclische uitstoot moeilijker te duiden doordat er een jaarlijkse CO<sub>2</sub>-opname en -uitstoot cyclus is vanwege primaire productie. De uitstoot van lachgas en methaan wordt vaak gedefinieerd als lang-cyclische uitstoot, maar voor de CO<sub>2</sub>-uitstoot hangt dit dus af van de gebruikte rekenkaders.

Emissies uit oppervlaktewateren worden beïnvloed door klimaatverandering. Hogere temperaturen kunnen leiden tot een hogere productiviteit van het ecosysteem. Dit heeft daardoor gevolgen voor de productie van broeikasgassen. Naar verwachting zullen de broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren in de toekomst toenemen als gevolg van hogere temperaturen, door een hogere primaire productie en een

versterkte (microbiële) afbraak van koolstof in het water ([Aben et al., 2017](#); [Velthuis et al., 2018](#); [Davidson et al., 2018](#); [Rosentreter et al., 2021](#)).

Voor een goede beschouwing van uitstoot van broeikasgassen uit oppervlaktewater moet niet alleen naar de broeikasgasemissies worden gekeken, maar ook naar de vastlegging van CO<sub>2</sub> in het watersysteem. Oppervlaktewateren zijn in staat om koolstof vast te leggen in de waterbodem, wat kan leiden tot een lagere netto-uitstoot. De verhouding tussen de broeikasgasemissie en -vastlegging bepaalt uiteindelijk of een watersysteem negatief of positief bijdraagt aan klimaatverandering. Om dit te bepalen is een analyse van de gehele koolstofcyclus van een waterlichaam nodig, inclusief het (bagger)beheer.

## 2. Gerelateerde onderwerpen en Deltafacts

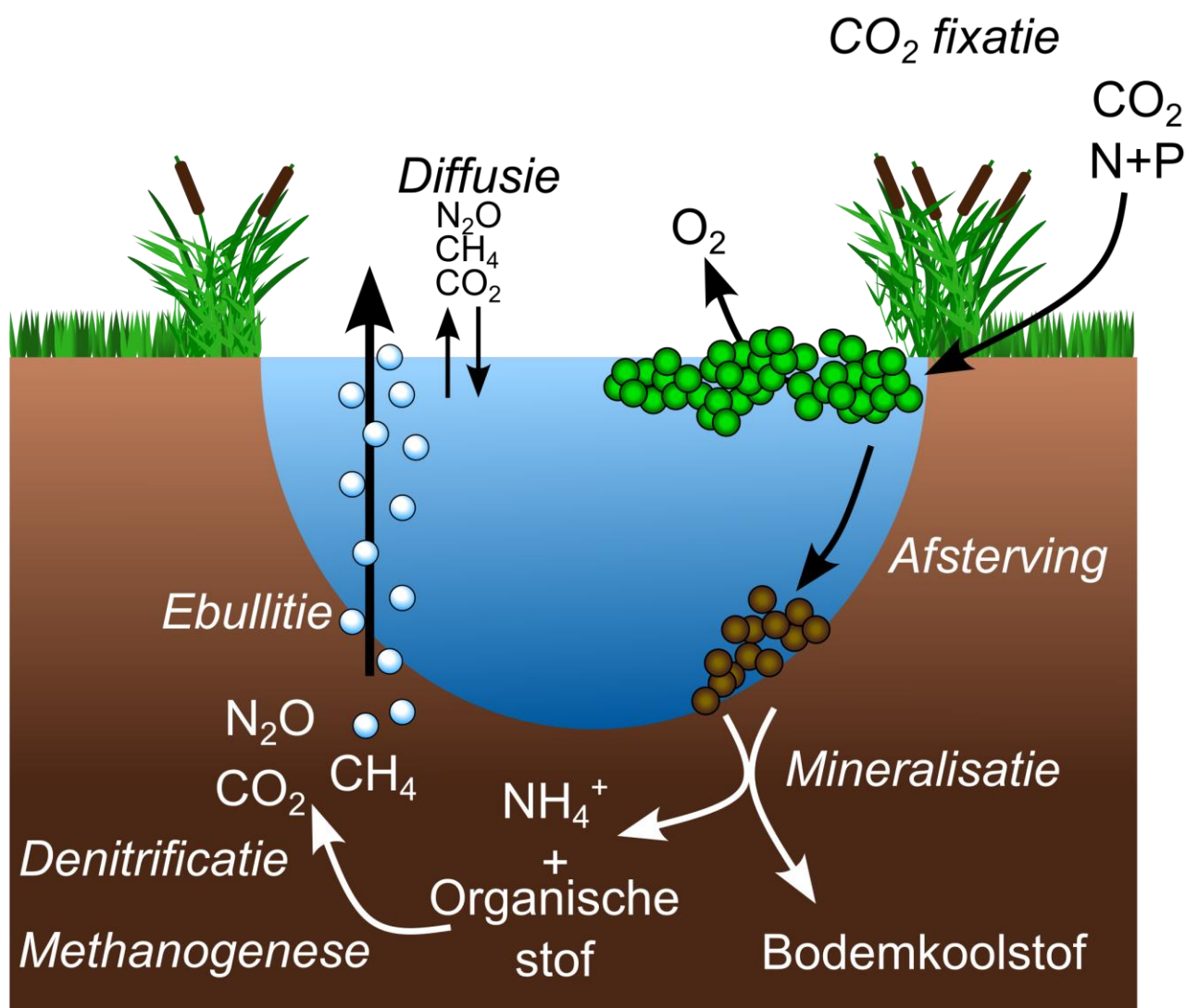
Trefwoorden: Klimaatverandering, zoetwater, broeikasgas (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O), broeikasgasemissie, eutrofiëring, klimaatadaptatie.

Relevante Deltafacts: [Effecten klimaatverandering op landbouw](#); [Effecten klimaatverandering terrestrische natuur](#); [Klimaatverandering en grondwaterbeheer](#); [Bodemdaling](#); [Onderwaterdrainage](#); [Dynamisch peilbeheer](#); [Nutriënten en het ecologisch functioneren van oppervlaktewateren](#)

## 3. Strategie

Deze Deltafact is opgesteld in het kader van het thema 'Klimaatadaptatie' en 'Waterkwaliteit'. Voor de Nederlandse watersector is broeikasgasuitstoot een thema dat steeds belangrijker wordt, omdat het samenhangt met waterbeheer, gebiedsinrichting en nutriëntbelasting.

#### 4. Schematische weergave



Afbeelding 1. Schematische en sterk vereenvoudigde weergave van de processen die broeikasgassen veroorzaken in een watersysteem.

De uitstoot van broeikasgassen uit zoetwatersystemen is het gevolg van microbiële omzettingen van koolstof in de waterbodem. Deze omzettingen zijn onderhevig aan menselijke handelen, waardoor watersystemen in Nederland over het algemeen in een staat zitten dat zij meer uitstoot veroorzaken dan ongerepte natuur ([Davidson et al., 2018](#); [Nguyen et al., 2022](#)). In afbeelding 1 is een schematische weergave te zien van de processen die tot broeikasgasuitstoot of -opname kunnen zorgen. Meer uitleg staat beschreven in het [achtergronddocument Processen](#).

#### 5. Werking

Om te beginnen is er opname van CO<sub>2</sub> uit de lucht door planten en algen (CO<sub>2</sub> **fixatie**). Deze opname kan gestimuleerd worden door nutriënten zoals stikstofverbindingen en fosfaten. Bijvoorbeeld door uitspoeling van landbouwgronden of riooloverstort. Te veel nutriënten kan leiden tot een algenbloei. Als planten en algen **afsterven**, bezinken deze tot op de waterbodem. Dit materiaal is zeer rijk in organische stof. De afbraak hiervan (**mineralisatie**) leidt tot een milieu waar geen zuurstof meer aanwezig is.

In deze zuurstofloze toestand kan het organische stof nog twee kanten op. Het wordt opgeslagen in de waterbodem (**bodemkoolstof**) of het wordt langzaam afgebroken in de afwezigheid van zuurstof. Als er nog nitraat in de bodem aanwezig is, zal dit worden omgezet tot stikstofgas door een speciale groep bacteriën (**denitrificatie**). Als er een grote overmaat is aan nitraat leidt dit tot de uitstoot van N<sub>2</sub>O. Organische stof kan zonder nitraat of zuurstof ook door ijzeroxiden en sulfaat microbieel worden omgezet tot CO<sub>2</sub>. Als al deze stoffen afwezig zijn, wat in zoetwatersystemen vaak voorkomt, wordt het organische stof omgezet naar CH<sub>4</sub> (**methanogenese**). Het slecht oplosbare CH<sub>4</sub> bereikt de atmosfeer in de vorm van gasbelletjes (**ebullitie**). Een deel van het CH<sub>4</sub> wordt langzaam uitgestoten doordat het opgelost gas vanwege een concentratieverschil naar de atmosfeer gaat (**diffusie**). In de waterlaag wordt CH<sub>4</sub> dat wel oplost microbieel afgebroken tot CO<sub>2</sub> (**methaanoxidatie**), waardoor niet al het geproduceerde CH<sub>4</sub> de atmosfeer bereikt.

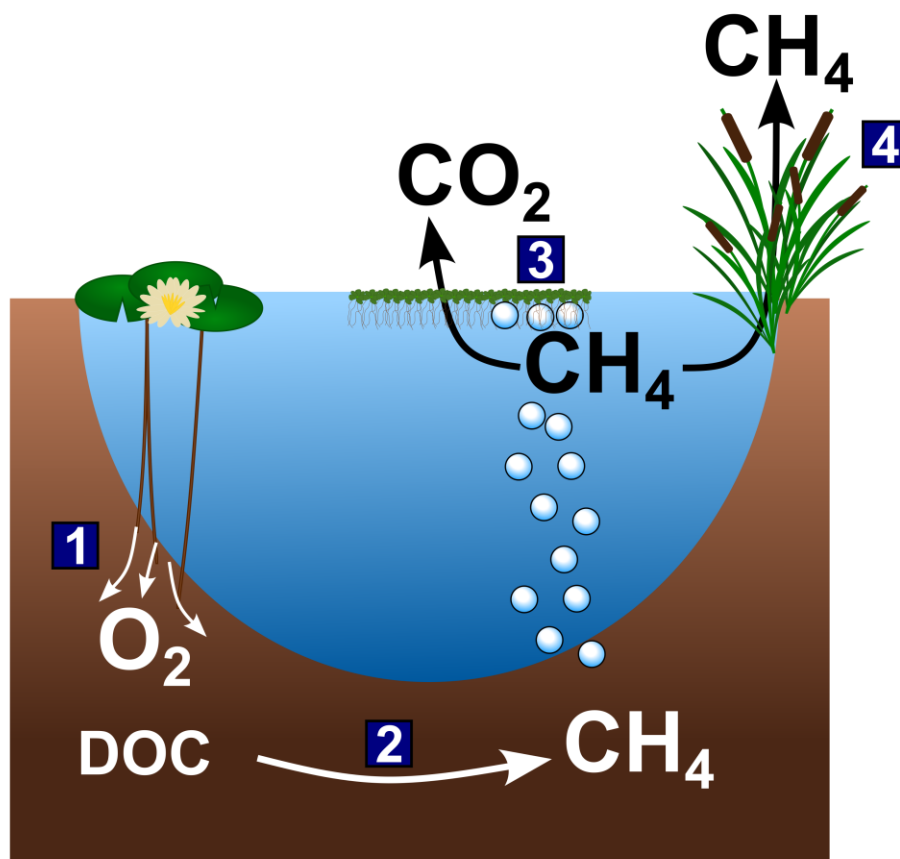
### **Invloed van planten**

Water- en moerasplanten kunnen invloed uitoefenen op de broeikasgas balans ([Vroom et al., 2022](#); [Bastviken et al., 2023](#)). In afbeelding 2 zijn enkele voorbeelden schematisch weergegeven.

- 1)** Planten kunnen door afgifte via hun wortels zuurstof in de bodem brengen, waardoor er meer organische stof naar CO<sub>2</sub> wordt omgezet dan naar CH<sub>4</sub> ([Armstrong & Armstrong, 1988](#)).
- 2)** Wortels kunnen ook oplosbaar organische stof (DOC) uitscheiden. Dit kan in een zuurstofloos milieu juist de methaanproductie vergroten ([Turner et al., 2020](#)).
- 3)** Methaanbellen die vrijkomen kunnen worden opgevangen door drijvende planten ([Kosten et al., 2016](#); [Oliveira Junior et al., 2021](#)). Dit kan de methaanconsumptie door bacteriën bevorderen, waardoor de totale methaanuitstoot daalt.
- 4)** Moerasplanten zoals de lisdodde kunnen CH<sub>4</sub> uit het sediment direct aan de atmosfeer uitstoten via aerenchym, een hol plantenweefsel ([Yavitt & Knapp, 1995](#);

[Bastviken et al., 2023](#); [Bodmer et al., 2024](#)). Hierdoor kan het niet geoxideerd worden in de waterkolom en is deze route vergelijkbaar met ebullitie.

Voor de broeikasgas emissie uit oppervlaktewater zijn drie broeikasgassen van belang:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  en  $\text{N}_2\text{O}$ . De laatste twee worden minder geproduceerd, maar zijn wel veel sterkere broeikasgassen dan  $\text{CO}_2$ . Om het effect van de emissies van deze drie gassen te vergelijken, wordt naar het Aard-opwarmend vermogen (Global Warming Potential, GWP) van elk gas gekeken. Dit wordt meestal uitgedrukt in  $\text{CO}_2$ -equivalenten. Bij het bepalen van de GWP wordt mede rekening gehouden met de levensduur van de gassen in de atmosfeer. Een overzicht van het GWP per broeikasgas (over een periode van 100 jaar) is weergegeven in Tabel 4.1 ([Forster et al., 2021](#)).



Afbeelding 2. Routes hoe de vegetatie de uitstoot van broeikasgassen kan beïnvloeden. 1) Planten kunnen door afgifte via hun wortels zuurstof in de bodem brengen, waardoor er meer organische stof naar  $\text{CO}_2$  wordt omgezet dan naar  $\text{CH}_4$ . 2) Wortels kunnen ook oplosbaar organische stof (DOC) uitscheiden. Dit kan in een zuurstofloos milieu juist de methaanproductie vergroten. 3) Methaanbellen die vrijkomen kunnen worden opgevangen door drijvende planten. 4) Moerasplanten zoals de lisdodde kunnen  $\text{CH}_4$  uit het sediment via aerenchym, een hol plantenweefsel.

Tabel 1. Broeikasgaskarakteristieken op basis van het meest recente IPCC-rapport (opwarmingsvermogen in een periode van 100 jaar; [Forster et al., 2021](#))

		<b>Bijdrage aan nationale emissie (2022)</b>	<b>Levensduur in de atmosfeer [jaar]</b>	<b>GWP g CO<sub>2</sub>/g broeikasgas</b>
Koolstofdioxide	CO <sub>2</sub>	83%	5 - 200	1
Methaan	CH <sub>4</sub>	12%	12	27
Lachgas	N <sub>2</sub> O	4%	109	273

### **Invloed van nutriënten**

Omdat de bijdrage van CO<sub>2</sub> zal dalen door een toename van hernieuwbare energie, wordt het aandeel van de broeikasgasuitstoot uit landgebruik relatief groter. Om de broeikasgasuitstoot van oppervlaktewateren te beperken is het van belang om de processen te beïnvloeden, waarbij het in ieder geval verstandig is om de emissie van de sterkste broeikasgassen (CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O) zo veel mogelijk te beperken. De aanvoer van organisch materiaal, de zuurstofbeschikbaarheid en de concentraties van nutriënten bepalen voor een belangrijk deel hoe hoog de uitstoot is. Over het algemeen zijn nutriëntrijke wateren, zoals sloten, sneller zuurstofarm en wordt het organische stof sneller omgezet naar CH<sub>4</sub> dan naar CO<sub>2</sub>. Hetzelfde geldt voor een verhoogde aanvoer van organisch materiaal, zoals door rivierslib dat wordt ingevangen. Voedselarme systemen kennen dan ook vaak een lage emissie van broeikasgassen, terwijl voedselrijke systemen juist een hoge emissie hebben (afbeelding 3; [Rocher-Ros et al., 2023](#)). Sturing op het verminderen van de nutriënttoevoer heeft de potentie om ook de broeikasgasuitstoot te verlagen.

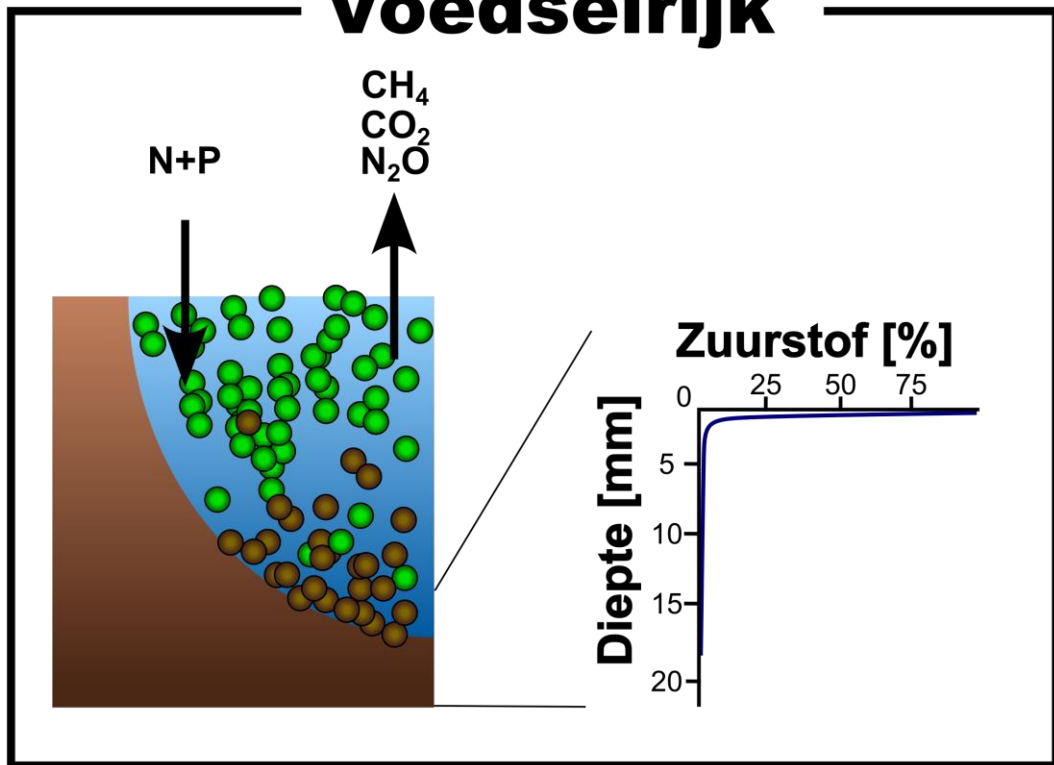
In voedselrijke watersystemen is er daarnaast vaak sprake van meer aanvoer van aanvullend (terrestrisch) organisch materiaal en opgelost CO<sub>2</sub> dan in voedselarmere watersystemen, bijvoorbeeld door uitspoeling vanuit deeltjes uit (veen)percelen, invallend blad of oevererosie ([van Beek et al., 2007](#)). Dit versterkt nog eens de afbraakprocessen, waarbij nog meer CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O worden gevormd.

Voedselarme systemen worden gekenmerkt door een lage nutriëntenbelasting. Er is weinig primaire productie (fotosynthetische groei) in deze heldere en plantenrijke wateren. Afgestorven planten zinken naar de bodem waardoor een organische

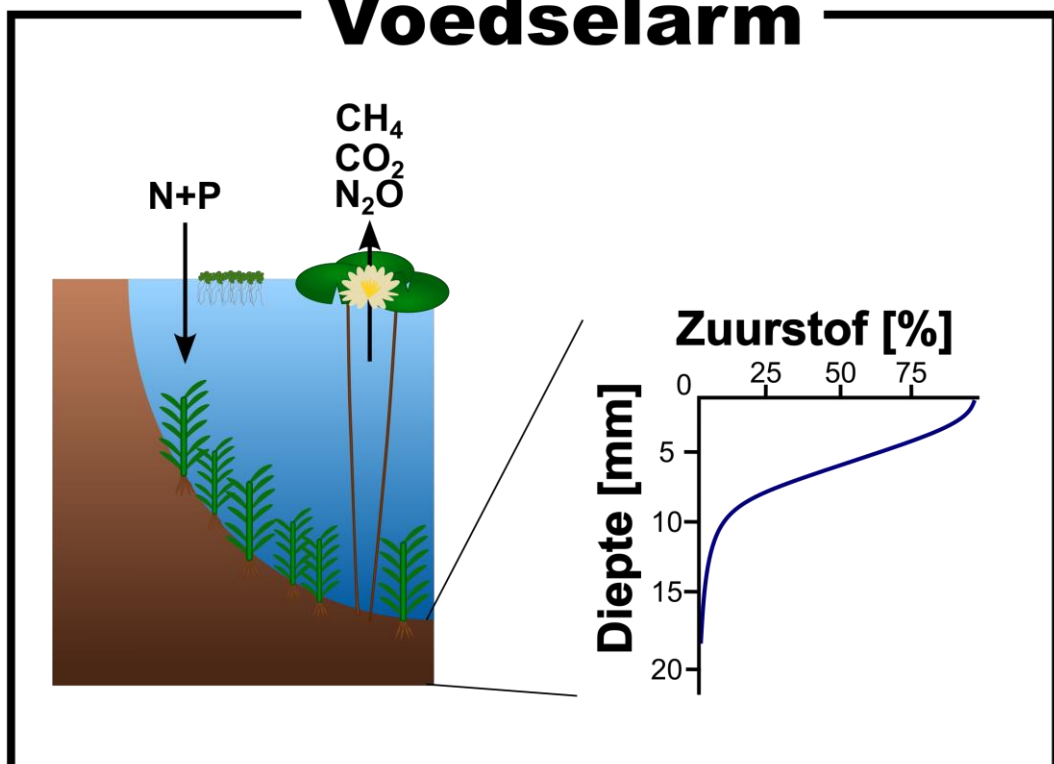
sliblaag wordt gevormd. Het afbraakproces verloopt langzaam, omdat de plantenresten veelal grof zijn en complex qua structuur. Door het relatief langzaam verlopen van de afbraakprocessen is de zuurstofvraag lager en blijft de waterbodem langer zuurstofrijk. Dit leidt tot een toestand waar er hoofdzakelijk CO<sub>2</sub> gevormd wordt. Als het beschikbare zuurstof verbruikt is, begint de anaerobe afbraak met een andere elektron acceptor dan zuurstof, bijvoorbeeld nitraat, ijzer of sulfaat. Voedselarme systemen kunnen onder bepaalde condities zelfs netto koolstof vastleggen, namelijk als de afbraak langzamer verloopt dan de sedimentatie van organisch materiaal en er bij de afbraak grotendeels CO<sub>2</sub> vrijkomt.



## Voedselrijk



## Voedselarm



Afbeelding 3. Voedselrijke en voedselarme systemen hebben een ander zuurstofprofiel in de waterbodem. In het voedselrijke milieu domineren algen door de overmaat aan stikstof- en fosforverbindingen. In het voedselarme milieu zijn (ondergedoken) waterplanten dominant. Zuurstofprofielen betreffen een schets van de situatie.

## **Invloed van temperatuur op broeikasgasuitstoot**

De temperatuur speelt een belangrijke rol bij biologische processen, zoals de groei van algen, planten en bacteriën. Over het algemeen geldt dat hogere temperaturen leiden tot snellere processen, maar voor biologische processen is dit niet altijd even duidelijk ([Mundim et al., 2020](#)). Grote meta-analyses van wetenschappelijke studies zien een verband tussen temperatuur en de methaanuitstoot bij stilstaande wateren, maar voor stromende wateren is er geen direct verband ([Yvon-Durocher et al., 2014](#); [Rocher-Ros et al., 2023](#)). In gecontroleerde experimenten wordt er voor meren en plassen een verhoging van de uitstoot gemeten bij hogere temperaturen ([Velthuis et al., 2018](#); [Aben et al., 2022](#)). Ook leidt een verhoogde temperatuur tot een vergroting van de uitstoot via ebullitie ([Wik et al., 2016](#); [Aben et al., 2017](#)). Als de temperatuur én de nutriëntenbelasting verhoogd zijn, treedt een versterkend effect op, waarbij de emissies verder toenemen ([Davidson et al., 2018](#)). Oftewel, er lijkt sprake te zijn van een positief feedback mechanisme: klimaatverandering, waarbij de temperatuur hoger wordt, leidt tot meer broeikasgasemissie en dit leidt weer tot een versterkte klimaatverandering ([Dean et al., 2018](#)). Voor lijnvormige wateren is het onduidelijk of deze onderhevig zijn aan dezelfde veranderingen door verhoogde temperaturen.

## **6. Kosten en baten**

Maatregelen om broeikasgasuitstoot uit oppervlaktewater te reduceren brengen kosten met zich mee. Er bestaan initiatieven waarmee het reduceren van broeikasgasuitstoot (deels) gefinancierd kan worden, bijvoorbeeld via 'carbon credits'. Dit zijn koolstofcertificaten die een waarde toekennen aan de bewerkstelligde emissiereductie door een specifieke maatregel. Dit hangt samen, maar is niet hetzelfde, als het European Emission Trading System (ETS) waar de energiesector en grote industrieën emissierechten verhandelen. Landgebruik en agrarische activiteiten zijn op dit moment niet onderdeel van de ETS. Initiatieven die voor landgebruik- en gebiedsmaatregelen koolstofcertificaten uitgeven zijn Verra (<https://verra.org/>), Gold Standard (<https://www.goldstandard.org/>), PeatlandCode (VK; <https://www.iucn-uk-peatlandprogramme.org/peatland-code-0>), Moorfutures (Duitsland; <https://www.moorfutures.de/>) en binnen Nederland de Stichting Nationale Koolstofmarkt (<https://nationaleco2markt.nl>). Dit is echter een vrijwillige koolstofmarkt, waardoor het draagvlak nog groeiende is. Het handelen in koolstofcertificaten kan een manier zijn om maatregelen (deels) te subsidiëren. Deze

manier van financiering kan gezien worden als een kans bovenop ander beleid, zoals het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid en aanverwante subsidies.

## 7. Randvoorwaarden

Het reduceren van de broeikasgasuitstoot uit zoete wateren is niet mogelijk met een simpele oplossing. Vaak is het onduidelijk voor een specifiek water wat de uitstoot is, waar de meeste nutriënten en organisch koolstof vandaan komen en wat de beste oplossing is. Voor de nationale broeikasgasrapportage wordt vanaf volgend jaar (2025) meer gerapporteerd over de uitstoot uit sloten. Ook geeft het [IPCC](#) (2019) handvatten om op een robuuste manier met lokale gegevens een broeikasgasbalans op te stellen. Hieronder volgen suggesties van de berekeningen en metingen die nodig zijn om tot een dergelijke berekening te komen, die ook bijdragen aan de kennis van het (stroom)gebied.

### **Water- en stofbalans**

Water- en stofbalansen helpen om de water-, koolstof- en nutriëntenstromen te kwantificeren als basis voor de verdere analyse. Waterschappen hebben deze vaak al op orde voor het bepalen van de nutriëntenbelasting van hun watersystemen. Hierbij is het van belang om, naast de aanvoer van nutriënten, ook naar de aanvoer en afvoer van koolstof (organisch en anorganisch) te kijken. Koolstof en nutriënten zijn bepalend voor de ecologische toestand, de dominante processen, de koolstofvastlegging en de broeikasgasemissies.

### **Metingen**

Veld- en laboratoriummetingen zijn noodzakelijk om de grootte van de broeikasgasuitstoot te bepalen en de koolstofstromen per watertype in kaart te brengen. Er bestaan verschillende methoden voor het bepalen van de actuele emissie, ieder met eigen voor- en nadelen. Een combinatie van methoden is wenselijk, omdat bijvoorbeeld zowel inzicht in de directe emissie naar de lucht gewenst is als in de gevoeligheid van slib voor de vorming van broeikasgassen. Bovendien geven puntmetingen in tijd en ruimte door de gevoeligheid van broeikasgasuitstoot beperkt inzicht en is het wenselijk continu te meten. Daarnaast is het monitoren van de effecten van beheersmaatregelen essentieel, vanwege de complexiteit van de processen die ten grondslag liggen aan de uitstoot van broeikasgassen. Ten slotte zijn metingen nodig voor het vergroten van de

kennisbasis en validatie van modellen. Een uitgebreidere beschrijving van de meetmethoden is te lezen in [het achtergronddocument](#).

### **Kansrijke maatregelen**

Er kunnen nu al maatregelen genomen worden om de nutriëntbelasting te verlagen, ook al is het effect van maatregelen systeemspecifiek. In algemene zin lijken vooral maatregelen gericht op een vermindering van de productiviteit een effectief middel om de uitstoot van broeikasgassen te reduceren. Echter kan een hoogproductief systeem ook meer koolstof opslaan. De balans tussen deze twee toestanden zoeken is daarom van belang voor iedere maatregel. Gezien de rapportage van broeikasgassen uit door de mens aangepaste wateren vanaf het jaar 2025 (zie [van Baren et al., 2024](#)) ligt er voor de watersector de taak om de uitstoot beter uit te zoeken en te beperken. Een manier om de emissie uit een watersysteem effectief en langdurig te verminderen, is het noodzakelijk om de nutriëntbelasting te reduceren. Hierbij moet rekening gehouden worden met zowel de interne als de externe belasting. Een lage nutriëntbelasting vormt de basis voor minder makkelijk afbreekbaar organische stof in de waterbodem. In deze wateren wordt hoofdzakelijk CO<sub>2</sub> uitgestoten (soms vergelijkbaar met de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die wordt vastgelegd).

### **Baggeren**

Het verwijderen van de organische sliblaag uit lijnvormige wateren is een regelmatig toegepaste maatregel om de doorstroom te garanderen. Het baggerslib kan op de kant worden gezet, in een weiland- of slibdepot opgeslagen worden, of gerijpt tot klei. Als het slib dun over het land verspreid wordt, zal er voornamelijk CO<sub>2</sub> vrijkomen ([Paranaíba et al., 2023](#)). In grote slibdepots zal de zuurstofloosheid blijven en worden er dus nog steeds broeikasgassen uitgestoten worden, maar op een andere plek. Als er door het baggeren een onderliggende laag met organisch rijk materiaal vrij komt te liggen, kan de emissie toenemen. Baggeren leidt dan juist tot meer afbraak en dus meer uitstoot. Voor de balans is het ook noodzakelijk om de uitstoot door dieselgebruik te reduceren door middel van elektrificatie ([Harpenslager et al., 2024](#)).

## **8. Governance**

De Nederlandse overheid heeft in het Akkoord van Parijs in 2015 aangegeven een emissiereductie van 49% te realiseren voor 2030 en een netto uitstoot van 0 voor 2050. Deze ambitie is aangescherpt in 2023 met de Klimaatwet naar een reductie

van 55% in het jaar 2030. Het klimaatakkoord benoemt maatregelen in watersystemen als optie om deze reductie te bereiken waarbij de behoefte door PBL is geuit het emissie-reducerend effect nader te onderbouwen ([PBL, 2019](#)).

Nederland rapporteert jaarlijks over broeikasgasemissies conform de afspraken met de Verenigde Naties. De emissies uit zoetwatersystemen worden door Nederland jaarlijks gerapporteerd onder LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry; overzichtelijk weergegeven in een [interactieve pdf](#)) onder de sector 'Wetlands' (Amstelmeer, IJsselmeer, alle overige kanalen etc.) en een deel onder grasland (sloten). Vanaf 2024 worden er met aparte emissiefactoren gerekend voor sloot en grasland. Onder wetlands wordt vanaf 2024 onderscheid gemaakt met verschillende emissiefactoren tussen 'reservoirs' (open water) en overstroombaar land (uiterwaarden en draslanden; [van Baren et al., 2024](#)).

Europese verordeningen zoals de Natuurherstelverordening en de Kaderrichtlijn Water eisen ook een verbetering van de kwaliteit van zoete oppervlaktewateren. Het voldoen aan de gestelde doelen voor natte natuur en nutriënten kan gezien worden als een meekoppelkans voor het Klimaatakkoord.

## 9. Praktijkervaringen en lopend onderzoek

### **BlueCAN**

In het project [BlueCAN](#) zijn een groot aantal meren gemonitord op chemische waterkwaliteit en broeikasgasuitstoot. Hieruit is opgemerkt dat er een grote variatie is in de ruimte en de tijd. Een model is gepresenteerd samen met een online tool (BlueSCAN; <https://bluecan.azurewebsites.net/>).

### **Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV)**

Hoewel het NOBV (<https://nobveenweiden.nl>) voornamelijk is gericht op de uitstoot uit de veenweide percelen zelf, is er een onderzoekslijn die de broeikasgasuitstoot uit de sloten in kaart brengt. Uit een eerste schatting is berekend dat de uitstoot circa [1,6 Mton CO<sub>2</sub>-eq](#) per jaar bedraagt voor al het oppervlaktewater in veengebieden. Dat staat gelijk aan 1% van de totale jaarlijkse broeikasgasuitstoot van heel Nederland.

## Andere initiatieven

Veel andere projecten meten ook de broeikasgasuitstoot of -opname. Hieronder volgt een lijst met enkele relevante projecten. [Zie ook de bijlage projectenlijst](#).

- Proeftuin Duurzame rivieren (<https://tkideltatechnologie.nl/proeftuin/proeftuin-duurzame-rivieren/>);
- Bioturbators drive greenhouse gas emissions from shallow inland waters (<https://www.nwo.nl/projecten/vividi203098>);
- DIGS: Decreasing greenhouse gas emissions from surface waters by climate-smart water management (<https://www.ru.nl/en/research/research-projects/digs>);
- REST-COAST: Large scale Restoration of coastal ecosystems through rivers to sea connectivity (<https://rest-coast.eu/>);
- DuNaG - Duurzaam Nat Grondverzet voor natuur en klimaat (<https://tkideltatechnologie.nl/project/del176-duurzaam-nat-grondverzet-voor-klimaat-en-natuur-dunag/>);
- STOWA-programma Veen & Water (<https://www.stowa.nl/onderwerpen/klimaatadaptatie/zoetwatertekort-droogte/programma-veen-en-water>).

## 10. Kennisleemten

De uitstoot van broeikasgassen uit watersystemen wordt steeds beter in kaart gebracht. In deze Deltafact zijn de meest recente inzichten vanuit het wetenschappelijk onderzoek samengevat. Er blijven ook enkele vragen over die beantwoord moeten worden voor een goede aanpak. Hieronder worden een aantal voorbeelden gegeven van onderwerpen waar kennis mist.

### Modelontwikkeling

In 2023 is een prototype-model ontwikkeld ([BlueCAN](#)) waarmee een eerste inschatting van de jaarlijkse broeikasgasuitstoot van meren en plassen gemaakt kan worden. Voor lijnvormige wateren is dit model nog niet gevalideerd. Een emissiemodel voor percelen op veengronden, SOMERS, is ontwikkeld door het NOBV (<https://www.nobveenweiden.nl/bevindingen-rekenregels/>). Hoewel er interactie is met omliggende drainagesloten, is er op dit moment nog geen CH<sub>4</sub>- of N<sub>2</sub>O uitstoot gemodelleerd.

### Uitspoeling van organische koolstof

Ondanks de kennis over de uitspoeling van nitraat en fosfaat is er nog geen systeembegrip wat betreft organische stof in oppervlaktewateren. Opgelost organische stof kan erg mobiel zijn en bij uitspoeling komt het precies terecht in het milieu waar het kan leiden tot de uitstoot van CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O. Om een stoffenbalans te kunnen sluiten en bij te dragen aan modelontwikkeling is de mobilisatie van organische (kool)stof een belangrijke onzekerheid.

### **Meerjarige metingen van alle water- en bodemtypen**

Dat er een verband tussen de chemische waterkwaliteit en de omvang van de emissies bestaat, wordt duidelijker. Wat de koolstofvastlegging en -uitstoot onder verschillende systeemtoestanden precies beïnvloed, is minder duidelijk. Hiervoor is het belangrijk om wetenschappelijk en praktijkonderzoek voort te zetten in verschillende type wateren. Daarbij is het belangrijk dat gedurende een langere tijd (liefst een combinatie van discreet en continu) metingen worden verricht. Zo kan de emissie met grotere nauwkeurigheid worden geschat en dit de input zijn voor een model. Er is een focus binnen Nederlands onderzoek op uitstoot van wateren op organische gronden, maar de uitstoot van wateren op minerale gronden is minder in kaart gebracht. Het IPCC heeft hier ook een aparte categorie voor. Een emissiefactor op basis van lokale metingen kan niet alleen ons begrip maar ook de rapportage verbeteren.

### **Methaanbellen als grootste uitstoot?**

Het methaan dat geproduceerd wordt in de bodems van plassen en meren wordt op verschillende manieren uitgestoten. Dit kan via diffusie maar ook doordat gasbellen zich vormen en direct naar de atmosfeer bewegen. Gezien het gemak van het meten van uitstoot via diffusie is er oververtegenwoordiging van dit type meting. Echter, emissies via gasbellen vormen een grote onzekere en vooral onregelmatige factor, die pas recent meer en meer in kaart wordt gebracht. Deze piekbelasting in emissie kan wel 50% van de totale broeikasgasemissie uit een waterlichaam vormen ([van Bergen et al., 2019](#); [Hendriks et al., 2024](#)). Omdat belvorming enorm varieert in zowel de ruimtelijke schaal als tijd, is beter begrip van het proces belvorming en uitstoot een prioriteit.

### **Emissie van lachgas nog weinig onderzocht**

De productie van N<sub>2</sub>O heeft veel relatie met de beschikbaarheid van stikstofverbindingen en de aanwezigheid van zuurstof ([Audet et al., 2024](#)).

Oppervlaktewateren die veel nutriënten ontvangen van agricultuur of zuiveringseffluent lijken meer uit te stoten dan andere watertypen ([Peterse et al., 2024](#)). Gerichte metingen zijn nodig om een beeld te schetsen van de huidige uitstoot en dynamiek in meren, sloten en kanalen.

### **Invloed van peilbeheer op broeikasgasuitstoot**

Het verhogen van het waterpeil is een maatregel die in het veenweidegebied bodemdaling en CO<sub>2</sub>-uitstoot kan tegengaan ([Boonman et al., 2022](#)). Op de korte termijn kan het verhogen van het waterpeil de productie van CH<sub>4</sub> (en N<sub>2</sub>O) stimuleren door de hoeveelheid beschikbare zuurstof in de organische laag te verminderen ([Buzacott et al., 2024](#); [Tiemeyer et al., 2024](#)). Hogere waterstanden hebben ook invloed op de zuurstofhuishouding in oppervlaktewater en kunnen ook de afvoersnelheden veranderen.

### **Broeikasbalans van stromende wateren**

Een verandering in stroomsnelheid kan de menging van zuurstof bevorderen en de uitstoot van CH<sub>4</sub> verminderen. Tegelijkertijd heeft stroming ook invloed op de koolstoftoevoer door verhoogde (of verlaagde) oevererosie. De effecten van beheerregimes zijn het waard om verder te verkennen wat betreft de koolstofcyclus.

## 11. Bronnen en links

[Aben, R. C., Barros, N., Van Donk, E., Frenken, T., Hilt, S., Kazanjian, G., ... & Kosten, S. \(2017\). Cross continental increase in methane ebullition under climate change. \*Nature Communications\*, 8\(1\), 1682.](#)

[Aben, R. C., Velthuis, M., Kazanjian, G., Frenken, T., Peeters, E. T., Van de Waal, D. B., ... & Kosten, S. \(2022\). Temperature response of aquatic greenhouse gas emissions differs between dominant plant types. \*Water research\*, 226, 119251.](#)

[Armstrong, J., & Armstrong, W. \(1988\). \*Phragmites australis\*—A preliminary study of soil-oxidizing sites and internal gas transport pathways. \*New phytologist\*, 108\(4\), 373-382.](#)



[Audet, J., Levi, E.E., Jeppesen, E. and Davidson, T.A. \(2024\), Nutrient enrichment—but not warming—increases nitrous oxide emissions from shallow lake mesocosms. \*Limnol Oceanogr.\*](#)

[van Baren, S. A., Arets, E. J. M. M., Hendriks, C. M. J., Kramer, H., Lesschen, J. P., & Schelhaas, M. J. \(2024\). \*Greenhouse gas reporting of the LULUCF sector in the Netherlands: Methodological background, update 2024\* \(No. 255\). WOT Natuur & Milieu.](#)

[Bastviken, D., Treat, C. C., Pangala, S. R., Gauci, V., Enrich-Prast, A., Karlson, M., ... & Sawakuchi, H. O. \(2023\). The importance of plants for methane emission at the ecosystem scale. \*Aquatic Botany\*, 184, 103596.](#)

[Van Beek, C. L., Droogers, P., Van Hardeveld, H. A., Van den Eertwegh, G. A. P. H., Velthof, G. L., & Oenema, O. \(2007\). Leaching of solutes from an intensively managed peat soil to surface water. \*Water, air, and soil pollution\*, 182, 291-301.](#)

[van Bergen, T. J., Barros, N., Mendonça, R., Aben, R. C., Althuizen, I. H., Huszar, V., Lamers, L.P.M., Lurling, 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.](#)

[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.](#)

[Boonman, J., Hefting, M. M., van Huissteden, C. J., van den Berg, M., van Huissteden, J., Erkens, G., ... & van der Velde, Y. \(2022\). Cutting peatland CO<sub>2</sub> emissions with water management practices. \*Biogeosciences\*, 19\(24\), 5707-5727.](#)

[Buzacott, A.J.V., Kruijt, B., Bataille, L., van Giersbergen, Q., Heuts, T.S., Fritz, C., Nouta, R., Erkens, G., Boonman, J., van den Berg, M., van Huissteden, J. and van der Velde, Y. \(2024\), Drivers and Annual Totals of Methane Emissions From Dutch Peatlands. \*Glob Change Biol\*, 30: e17590.](#)

[Davidson, T. A., Audet, J., Jeppesen, E., Landkildehus, F., Lauridsen, T. L., Søndergaard, M., & Syväranta, J. \(2018\). Synergy between nutrients and warming enhances methane ebullition from experimental lakes. \*Nature Climate Change\* 8, 156–160.](#)

[Davidson, T. A., Audet, J., Svenning, J. C., Lauridsen, T. L., Søndergaard, M., Landkildehus, F., Larsen, S. E., Jeppesen, E. \(2015\). Eutrophication effects on greenhouse gas fluxes from shallow-lake mesocosms override those of climate warming. \*Global Change Biology\*, 21\(12\), 4449–4463.](#)

[Dean, J. F., Middelburg, J. J., Röckmann, T., Aerts, R., Blauw, L. G., Egger, M., ... & Dolman, A. J. \(2018\). Methane feedbacks to the global climate system in a warmer world. \*Reviews of Geophysics\*, 56\(1\), 207-250.](#)

[Forster, P. et al. \(2021\). The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity. In \*Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change\*\]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 923–1054.](#)

[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.](#)

[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, 143–156.](#)

[IPCC \(2019\). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S.\(eds\). Published: IPCC, Switzerland.](#)

[Kosten, S., Piñeiro, M., de Goede, E., de Klein, J., Lamers, L. P., & Ettwig, K. \(2016\). Fate of methane in aquatic systems dominated by free-floating plants. \*Water Research\*, 104, 200-207.](#)

[Lauerwald, R., Allen, G. H., Deemer, B. R., Liu, S., Maavara, T., Raymond, P., ... & Regnier, P. \(2023\). Inland water greenhouse gas budgets for RECCAP2: 1. State-of-the-art of global scale assessments. \*Global Biogeochemical Cycles\*, 37\(5\), e2022GB007657.](#)

[Mundim, K. C., Baraldi, S., Machado, H. G., & Vieira, F. M. \(2020\). Temperature coefficient \(Q10\) and its applications in biological systems: Beyond the Arrhenius theory. \*Ecological Modelling\*, 431, 109127.](#)

[Nguyen, A. T., Némery, J., Gratiot, N., Dao, T. S., Le, T. T. M., Baduel, C., & Garnier, J. \(2022\). Does eutrophication enhance greenhouse gas emissions in urbanized tropical estuaries?. \*Environmental Pollution\*, 303, 119105.](#)

[Oliveira Junior, E. S., van Bergen, T. J., Nauta, J., Budiša, A., Aben, R. C., Weideveld, S. T., ... & Kosten, S. \(2021\). Water Hyacinth's effect on greenhouse gas fluxes: a field study in a wide variety of tropical water bodies. \*Ecosystems\*, 24\(4\), 988-1004.](#)

[Paranaíba, J. R., Struik, Q., Erdociain, M., van Dijk, G., Smolders, A. J., van der Knaap, 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.](#)

[PBL \(2019\), Effecten ontwerp Klimaatakkoord, Den Haag: PBL.](#)

[Peterse, I. F., Hendriks, L., Weideveld, S. T., Smolders, A. J., Lamers, L. P., Lücker, S., & Veraart, A. J. \(2024\). Wastewater-effluent discharge and incomplete denitrification drive riverine CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions. \*Science of The Total Environment\*, 951, 175797.](#)

[Rocher-Ros, G., Stanley, E.H., Loken, L.C. et al. Global methane emissions from rivers and streams. \*Nature\* \*\*621\*\*, 530–535 \(2023\).](#)

[Rosentreter, J.A., Borges, A.V., Deemer, B.R. et al. Half of global methane emissions come from highly variable aquatic ecosystem sources. \*Nat. Geosci.\* \*\*14\*\*, 225–230 \(2021\).](#)

[STOWA \(2023\). BlueCAN: helder water voor het klimaat. Resultaten van drie jaar onderzoek. 2023-13.](#)

[Tiemeyer, B., Heller, S., Oehmke, W., Gatersleben, P., Bräuer, M., & Dettmann, U. \(2024\). Effects of water management and grassland renewal on the greenhouse gas emissions from intensively used grassland on bog peat. \*Agricultural and Forest Meteorology\*, \*345\*, 109858.](#)

[Turner, J. C., Moorberg, C. J., Wong, A., Shea, K., Waldrop, M. P., Turetsky, M. R., & Neumann, R. B. \(2020\). Getting to the root of plant-mediated methane emissions and oxidation in a thermokarst bog. \*Journal of Geophysical Research: Biogeosciences\*, \*125\*\(11\), e2020JG005825.](#)

[Velthuis, M., Kosten, S., Aben, R., Kazanjian, G., Hilt, S., Peeters, E. T. H. M., Van Donk, E. & Bakker, E. S. \(2018\). Warming enhances sedimentation and decomposition of organic carbon in shallow macrophyte-dominated systems with zero net effect on carbon burial. \*Global Change Biology\*, \*24\*\(11\), 5231-5242.](#)

[Vroom, R. J. E., Van Den Berg, M., Pangala, S. R., van der Scheer, O. E., & Sorrell, B. K. \(2022\). Physiological processes affecting methane transport by wetland vegetation—a review. \*Aquatic Botany\*, \*182\*, 103547.](#)

[Wik, M., Varner, R. K., Anthony, K. W., MacIntyre, S., & Bastviken, D. \(2016\). Climate-sensitive northern lakes and ponds are critical components of methane release. \*Nature Geoscience\*, \*9\*\(2\), 99-105.](#)

[Yavitt, J. B., & Knapp, A. K. \(1995\). Methane emission to the atmosphere through emergent cattail \(\*Typha latifolia\* L.\) plants. \*Tellus B: Chemical and Physical Meteorology\*, \*47\*\(5\), 521-534.](#)

[Yvon-Durocher, G., Allen, A. P., Bastviken, D., Conrad, R., Gudas, C., St-Pierre, A., ... & Del Giorgio, P. A. \(2014\). Methane fluxes show consistent temperature dependence across microbial to ecosystem scales. \*Nature\*, 507\(7493\), 488-491.](#)

Auteurs:

K.A.J. Pelsma, M.A.R. Kox (Deltares)

Reviewers: J.A. Veraart (WEnR), F. Hoogland (Acacia Water)

## 12. Disclaimer

De in deze publicatie gepresenteerde kennis en diagnosemethoden zijn gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteur(s) en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit deze publicatie.