

# Emissie van broeikasgassen uit veenbodems en watersystemen

## Onderliggende processen en kansen voor mitigatie

De landelijke inspanningen voor klimaatadaptatie en -mitigatie vragen steeds meer van het water- en natuurbeheer. Hoe kunnen we de Nederlandse wateren en veenbodems beheren, nu en voor de toekomst? De vraagstukken zijn complex. Kennis over waterkwantiteit, -kwaliteit en -beheer is essentieel om effecten van beheer en planologie inzichtelijk te maken en tot grootschalige oplossingen te komen. Dit artikel biedt een bondige synthese van de huidige kennis over de effecten en interacties van verschillende landschapsoverkoepelende processen op broeikasgasemissies en -mitigatie, met de nadruk op veengebieden en oppervlaktewateren.

In het coalitieakkoord 2021-2025 heeft het demissionaire kabinet een verhoogde ambitie voor klimaat vastgelegd, om hiermee invulling te geven aan het klimaatakkoord van Parijs (2016). Het streven is om voor 2030 tenminste 55% reductie van de CO<sub>2</sub>-emissie te realiseren en uiterlijk in 2050 klimaatneutraal te zijn. Om deze doelen te kunnen behalen is een breed pakket aan maatregelen noodzakelijk.

Als het gaat over reductie van broeikasgasemissies wordt met name gedoeld op drie belangrijke broeikasgassen: koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>), methaan (CH<sub>4</sub>) en lachgas (N<sub>2</sub>O). Deze worden door zowel natuurlijke processen als menselijke activiteiten geproduceerd en uitgestoten naar de atmosfeer, waar ze warmtestraling absorberen en warmte vasthouden: het 'broeikas-effect'. Dit effect is op een tijdsschaal van 100 jaar voor methaan 27 keer en voor lachgas zelfs 273 keer zo sterk als voor koolstofdioxide (Forster et al., 2021).

De emissie van broeikasgassen is sterk afhankelijk van milieufactoren, zoals temperatuur, grondwaterstand en nutriëntenrijkdom. Menselijk gebruik van het landschap, zoals drainage van veenbodems en

bemesting van agrarische percelen, heeft dus invloed op de productie en emissie van broeikasgassen. Landschapstypen met hoge emissies zijn onder andere (gedraineerde) veengebieden en (nutriëntenrijke) open wateren. Ook klimaatverandering heeft effect op broeikasgasemissies door onder meer stijgende temperaturen, veranderende neerslagpatronen en een stijgende zeespiegel. Zo zullen afbraakprocessen sneller verlopen onder hogere temperaturen en hebben zowel veranderingen in neerslagtekorten en -overschotten als in zeespiegelstijging effect op de hydrologie en verzilting van het oppervlaktewater.

### Broeikasgasemissies vanuit veenbodems

Voordat de mens grootschalig ingreep in het landschap bestond een groot deel van Nederland uit veen- en moerasland, met uitgestrekte laag- en hoogvenen met uitlopers in de beekdalen. Omdat veen ontstaat door ophoping van niet geheel afgebroken plantenresten, bevatten veenbodems verhoudingsgewijs veel koolstof per oppervlak. Wereldwijd beslaan veenbodems maar 3% van het landoppervlak, maar deze 3% slaat wel 30%

klimaatverandering  
broeikasgasemissies  
kaderrichtlijn water  
vernatting  
veenvorming  
natuurbeheer

**G. (Gijs) van Dijk**  
Onderzoekcentrum B-WARE;  
Afdeling Ecologie, Radboud  
Universiteit Nijmegen,  
Postbus 6558, 6503 GB  
Nijmegen;  
g.vandijk@b-ware.eu

**S.F. (Sarah Faye)  
Harpenslager**  
Onderzoekcentrum B-WARE

**T. (Thomas) Gremmen**  
Onderzoekcentrum B-WARE

**C. (Christian) Fritz**  
Radboud Universiteit  
Nijmegen

**S. (Sarian) Kosten**  
Radboud Universiteit  
Nijmegen

**A.J.P. (Fons) Smolders**  
Onderzoekcentrum B-WARE,  
Radboud Universiteit  
Nijmegen

Foto **Mark van Veen**. Het Bargerveen, een van de grotere hoogveengebieden van Nederland waar volop aan hoogveenherstel wordt gewerkt.



van alle koolstof in de bodem op (Leifeld & Menichetti, 2018). Onder natuurlijke omstandigheden zijn veenbodems waterverzadigd en zorgen zuurstofloze condities in de bodem ervoor dat het veen niet of maar zeer langzaam afbreekt. De meeste Nederlandse veenbodems zijn inmiddels gedraineerd, waardoor deze worden blootgesteld aan zuurstof, met versnelde veenafbraak, bodemdaling en broeikasgasemissies tot gevolg. Uit schattingen blijkt dat ongeveer 30% van de wereldwijde broeikasgasemissies voortkomt uit de aantasting, drainage en turfwinning van veenbodems (Erkens et al., 2016; Friedlingstein et al., 2022; Leifeld & Menichetti, 2018). Gedraineerde veenbodems worden gekenmerkt door fluctuerende grondwaterstanden, waardoor koolstofdioxide en lachgas vrijkomen onder



**Figuur 1** Onderzoek naar de productie van lisdodde op een vernatte veenbodem. Op de voorgrond is een drijvende kamer geplaatst waarmee broeikasgasemissies gemeten worden. Foto: Stefan Weideveld.

**Figure 1** Research into the production of cattail on a rewetted peat soil. The floating chamber in front is used to measure greenhouse gas emissions. Photo: Stefan Weideveld.

droge omstandigheden, terwijl tijdens periodes met hoge grondwaterstanden methaan uitgestoten wordt (Wilson et al., 2016; Tiemeyer et al., 2020).

Het permanent vernatten van al gedraineerde veenbodems kan veenafbraak en broeikasgasemissies verminderen of zelfs voorkomen (Wilson et al., 2016; Temmink et al., 2022). Hoewel een verhoging van de grondwaterstand in gedraineerde veenbodems tot dicht onder maaiveld op korte termijn kan leiden tot een verhoogde uitstoot van methaan, leidt het op lange termijn tot behoud van de aanwezige veenbodem en tot veengroei (Günther et al., 2020; Temmink et al., 2022), terwijl drainage altijd leidt tot veenafbraak, bodemdaling en broeikasgasemissies.

In het Nederlandse veenweidelandschap wordt momenteel volop geëxperimenteerd met verschillende maatregelen om gedraineerde veen(weide)bodems te vernatten en/of de grondwaterstandfluctuaties te verminderen, zoals het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV), het Friese Veenweideprogramma en het Veenweide Innovatie Programma (VIP NL). Zo worden de effecten van maatregelen als waterinfiltratiesystemen (WIS; actief en passief), verhoogd slootpeil, greppel-infiltratie, ontwikkeling van nieuwe natte natuur en alternatieve (natte) teelten onderzocht (zie figuur 1). De eerste resultaten van het NOBV indiceren dat waterinfiltratiesystemen de grondwaterstand stabiliseren, waardoor dominante bodemprocessen veranderen (Boonman et al., 2024; Harpenslager et al., 2024a). Ook de broeikasgasemissies kunnen door waterinfiltratiesystemen beïnvloed worden (Boonman et al., 2022), maar dat geldt niet op alle locaties (Weideveld et al., 2021). Mogelijk zijn er regionale verschillen die de effectiviteit van maatregelen beïnvloeden. Het is echter nog te vroeg om conclusies te trekken over de langetermijneffecten van deze maatregelen op veenafbraak en broeikasgasemissies.

### Broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren

Oppervlaktewateren zijn belangrijke elementen in het landschap, niet alleen vanuit ecologisch en economisch oogpunt, maar ook omdat er veel koolstof wordt opgeslagen. Met name waterbodems zijn rijk aan organisch koolstof afkomstig van waterplanten en algen. Behalve koolstofopslag vindt er ook koolstofemissie plaats. De meeste oppervlaktewateren stoten koolstofdioxide uit omdat er veel terrestrisch organisch materiaal wordt afgebroken en er ook koolstofrijk grondwater instroomt. In voedselrijke systemen kan de primaire productie ervoor zorgen dat de emissie van koolstofdioxide overdag gering is of dat er zelfs opname van koolstof plaatsvindt (zie o.a. Hendriks et al., 2024). Sloten stoten niet alleen koolstofdioxide uit maar ook methaan: hoe eutrofer een watersysteem hoe meer methaan wordt uitgestoten (Aben et al., 2022a; Beaulieu et al., 2019). Oppervlaktewateren dragen in grote mate bij aan de totale Nederlandse methaanuitstoot. Geschat wordt dat in Nederland alleen sloten al 7-16% van de totale methaanuitstoot voor hun rekening nemen (Peacock et al., 2021; Koschorreck et al., 2020). Dit aandeel kan verder toenemen als de watertemperatuur door klimaatverandering toeneemt. Voor iedere graad opwarming neemt de methaanuitstoot uit waterbodems met 6-20% toe (Aben et al., 2022b) omdat methaan voornamelijk onder zuurstofloze omstandigheden, zoals in waterbodems, gevormd wordt door methaanproducerende micro-organismen. Hoewel andere micro-organismen methaan weer kunnen omzetten in koolstofdioxide, wordt er ook een aanzienlijke hoeveelheid methaan uitgestoten naar de atmosfeer. Dit gebeurt via diffusie, via bellen (ebullitie) en via vegetatie.

Vooral de methaanuitstoot via ebullitie is erg variabel in ruimte en tijd. Met behulp van drijvende kamers en ebullitievallen kunnen broeikasgasemissies uit



**Figuur 2** Moderne drijvende automatische meetsystemen die met hoge frequentie broeikasgasemissies uit het oppervlaktewater kunnen meten. Aan de blauwe drijvers zijn ebullitievallen opgehangen waarin bellen met broeikasgassen worden opgevangen. Foto: Judith van der Knaap.

**Figure 2** Modern floating automatic measuring systems can carry out high frequency measurements of greenhouse gas emissions from surface water. The blue floaters contain ebullition traps to capture greenhouse gas emission via bubbles. Photo: Judith van der Knaap.

oppervlaktewateren gemeten worden (figuur 2).

Sommige ondergedoken waterplanten kunnen de methaanuitstoot verminderen, doordat zuurstofverlies uit hun wortels de methaanproductie remt en methaanconsumptie stimuleert (Aben et al., 2022b). Ook leven op stengels en bladeren van waterplanten methaanconsumerende micro-organismen die de methaanuitstoot uit oppervlaktewater kunnen verminderen (Esposito et al., 2023). Waterplanten en algen kunnen de methaanproductie echter ook stimuleren door de vorming van gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal (Bodmer et al., 2024). Dit geldt ook voor helofyten, zoals riet en lisdodde, die bovendien ook kunnen fungeren als 'schoorstenen' die methaan vanuit het sediment naar de lucht transporteren (Dingemans et al., 2011). Het



netto-effect van planten op de methaanuitstoot hangt dus sterk af van de aanwezige plantensoorten en van de milieuomstandigheden. Vanuit klimaatoptiek lijken voedselarme milieus met ondergedoken, in het sediment wortelende waterplanten het gunstigst zijn.

### Effecten van zeespiegelstijging

Een van de effecten van klimaatverandering is verzilting van oppervlaktewateren (KNMI, 2021). Verzilting kan meerdere oorzaken hebben: (1) een stijgende zeespiegel en verhoogde invloed van brak en/of zout grondwater, (2) lagere zoetwatertoevoer vanuit de rivieren en (3) verhoogde verdamping in droge periodes. Waterschappen hebben dan ook steeds vaker te maken met een tekort aan zoet oppervlaktewater en de verwachting is dat dit toe zal nemen. Naast temperatuur en nutriëntenbeschikbaarheid blijkt ook de saliniteit van het oppervlaktewater de productie en emissie van broeikasgassen te beïnvloeden (Van Dijk, 2017; Van Dijk et al, 2020). Zo blijkt verzilting met name

de productie van methaan in onderwaterbodems te verlagen, doordat methaanproducerende micro-organismen zowel te maken krijgen met meer competitie van sulfaatreducerende bacteriën als met zoutstress (Herbert et al., 2015). Uit een landelijke studie aan broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren kwam het zoutgehalte ook als sturende factor naar voren (Schep et al., 2023). Verzilting zou dus de methaanuitstoot uit oppervlaktewater wat kunnen verlagen. Deze bevindingen zijn gebaseerd op studies naar verzilting van onderwaterbodems, maar het is nog onduidelijk of, en in welke mate, broeikasgasemissies afnemen als het hele ecosysteem beïnvloed wordt door verhoogde saliniteit. Het is mogelijk dat het vernatten van veenbodems met verzilt oppervlaktewater de methaanproductie gedurende natte periodes zal afremmen. Maar het is ook mogelijk dat het de veenafbraak en CO<sub>2</sub>-uitstoot in droge periodes op (semi)terrestrische percelen juist zal stimuleren. Dit is een kennislacune.

### Mitigatie van broeikasgasemissies in de praktijk – makkelijker gezegd dan gedaan

Water- en natuurbeheerders nemen de effecten van beheer- en herstelmaatregelen op de koolstofkringloop steeds vaker mee in hun besluitvorming. In de praktijk is dit echter makkelijker gezegd dan gedaan. Voor een goede inschatting van de effecten op de broeikasgasemissie moet er namelijk inzicht zijn in de huidige emissie, de emissie die gepaard gaat met de werkzaamheden (o.a. door machines, afvoeren van grond en gebruikte materialen) en moeten er betrouwbare schattingen zijn van de emissies die na herstel verwacht worden.

Recentelijk heeft Natuurmonumenten een overzicht opgesteld met kentallen van emissies behorende bij verschillende natuurdoeltypen, ten behoeve van klimaatslim natuurbeheer (Richardson, 2023). Ook is in opdracht van Natuurmonumenten en de VBNE een adviesrapport opgesteld van de beschikbare kennis over broeikasgasemissie bij natuurherstel (Harpenslager et al., 2024b). Er wordt ook onderzoek aan maatregelen verricht. Zo heeft Natuurmonumenten Onderzoekcentrum B-WARE en de Radboud Universiteit gevraagd om de effecten van

inrichting- en herstelmaatregelen in gebieden als de Wieden en het Witteveen op de broeikasgasbalans te onderzoeken. In het kader van biodiversiteitsherstel zijn in de Wieden verlande petgaten (inmiddels verdroogd elzenbroekbos) weer opengegraven om verlanding te stimuleren (figuur 3). Om een inschatting te maken van de effecten van deze herstelmaatregel op de broeikasgasbalans worden na de werkzaamheden nog twee jaar lang metingen gedaan op de nieuwgevormde legakkers, in de petgaten en in een referentiebroekbos.



### Klimaatverandering is geen toekomstmuziek

Uit de hierboven beschreven processen komt duidelijk naar voren dat zowel klimaatverandering als menselijk gebruik en beheer van het landschap een sterke invloed hebben op de uitstoot van broeikasgassen. Hieruit volgt dat keuzes in water- en natuurbeheer kunnen bijdragen aan mitigatie van deze emissies, ook onder klimaatverandering. Door (1) stijgende gemiddelde temperatuur, (2) veranderende neerslagpatronen (nattere winters en drogere zomers) en (3) een stijgende zeespiegel bestaat er een urgentie om op regionale, nationale én internationale schaal met deze problematiek rekening te houden. En de effecten van klimaatverandering spelen zich niet alleen in de toekomst af, ze zijn nu al merkbaar. Als er geen veranderingen in de inrichting en het beheer van

het landschap worden doorgevoerd, is het onmogelijk om, zoals is afgesproken in Parijs, klimaatneutraal te worden in 2050.

Om het Nederlandse landschap weerbaarder te maken tegen klimaatverandering en de uitstoot van broeikasgassen te verlagen, zal het landschap anders ingericht moeten worden. Het afremmen of zelfs stoppen van bodemdaling in veengebieden kan in theorie gerealiseerd worden door vernatting van veenbodems. Vernatting van gedraineerde veenbodems zal de uitstoot van koolstofdioxide kunnen omdraaien in netto koolstofvastlegging. Hoewel dit technisch gezien mogelijk is, zal het wel verre gaande sociaal-economische gevolgen hebben. Ook kan gedacht worden aan het anders inrichten van het watersysteem, waardoor water op landschaps-

**Figuur 3** Oude situatie (links) en nieuwe situatie (rechts) in de Wieden, waar oude, verlande petgaten met elzenbroekbos opengegraven zijn voor biodiversiteitsherstel. B-WARE en de Radboud Universiteit voeren metingen uit om de broeikasgasemissie te bepalen voor en na herstelmaatregelen. Foto's: Sarah Faye Harpenslager.

*English caption: see next page.*

**Figure 3** (previous page) The old situation (left) and new situation (right) in the Wieden, where terrestrialized peat pits overgrown with wet alder forest have been dug open for biodiversity restoration. B-WARE Research Center and Radboud University carry out measurements to determine greenhouse gas emissions before and after restoration measures. Photos: Sarah Faye Harpenslager

schaal langer vastgehouden wordt om over een grotere zoetwatervoorraad te beschikken in drogere perioden. Hiertoe zouden hydrologische bufferzones rondom veengebieden moeten worden gerealiseerd. Vernatting van veenbodems en het inrichten van natte bufferzones zouden ook deels gecombineerd kunnen worden met agrarisch gebruik in de vorm van paludicultuur (teelten op (ver)natte veenbodem) (Fritz et al., 2014; Wichtmann et al., 2016). Deze vorm van landgebruik kan zorgen voor het behoud van veenbodems en daarbij kansen bieden voor biodiversiteitsherstel (natuurbeheer) of alternatieve bedrijfsvoering (landbouw).

Op dit moment wordt onderzoek verricht aan de toepasbaarheid, opschaling en economische haalbaarheid van paludicultuur (o.a. lisdodde, riet, veenmos en elzen). Daarnaast zijn concepten beschikbaar om landschappen te vernatten en

## Summary

### Greenhouse gas emissions from Dutch peat soils and water systems. Underlying processes and opportunities for mitigation

Gijs van Dijk, Sarah Faye Harpenslager, Thomas Gremmen, Christian Fritz, Sarian Kosten, Fons Smolders

[climate change](#), [greenhouse gas emissions](#), [water framework directive](#), [rewetting](#), [peat formation](#), [nature management](#)

The national effort on climate adaptation and mitigation is demanding more and more from water and nature management. In recent decades research has increasingly focused on this topic on a national and international scale, but the issues remain complex. Knowledge about water quantity, water quality and water management is essential to understand effects of management and formulate large-scale solutions. Research shows that both climate change and human use and management of the landscape have a strong influence on greenhouse gas emissions. Choices in water and nature management can therefore also con-

weerbaarder te maken tegen klimaatverandering, zoals ‘wetscapes’ (Temminck et al., 2023).

We hebben kennis over waterkwantiteit en -kwaliteit nodig om keuzes te kunnen maken in het water- en natuurbeheer en de inrichting van ons landschap, om te kunnen komen tot grootschalige oplossingen voor de toekomst. Hoewel aanvullende kennis op dit vlak nodig is, kunnen op basis van de huidige kennis al *no regret*-maatregelen genomen worden om de uitstoot van broeikasgassen vanuit watersystemen en veenbodems te verlagen, zoals vernatting van ecosystemen en oppervlaktewateren (Smolders et al., dit nummer). Door een integrale aanpak van de problemen en een goede samenwerking tussen beheer, inrichting en landgebruik kunnen grote stappen gezet worden richting het halen van de klimaatdoelen.

tribute to mitigation of these emissions, even under climate change. To make the Dutch landscape more resilient to climate change and reduce greenhouse gas emissions, the landscape will have to be designed differently. Although additional knowledge is needed in this area, based on current knowledge, “no-regret” measures can already be taken to reduce greenhouse gas emissions from water systems and peat soils, such as rewetting peat soils and reducing eutrophication of ecosystems and surface waters.

## Literatuur

Aben, R.C.H., Oliveira Junior, E.S., Carlos, A.R., Van Bergen, T.J.H.M., Lamers, L.P.M. & Kosten, S. (2022a). 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.

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

Beaulieu, J.J., DelSontro, T. & Downing, J.A. (2019). Eutrophication will increase methane emissions from lakes and impoundments during the 21st century. *Nature communications* 10(1), 1375.

Bodmer, P., Vroom, R., Stepina, T., Del Gorgio, P.A. & Kosten, S. (2024). Methane dynamics in vegetated habitats in inland waters: quantification, regulation, and global significance. *Frontiers in Water* 5, 1-8.

Boonman, J., Harpenslager, S.F., Van Dijk, G., Smolders, A.J.P., Hefting, M.M., Van de Riet, B. & Van der Velde, Y. (2024). Redox potential is a robust indicator for decomposition processes in drained agricultural peat soils: A valuable tool in monitoring peatland wetting efforts. *Geoderma*, 441, 116728.

Boonman, J., Hefting, M.M., Van Huissteden, C.J.A., 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.

Dingemans, B.J.J., Bakker, E.S. & Bodelier, P.L.E. (2011). Aquatic herbivores facilitate the emission of methane from wetlands. *Ecology*, 92(5), 1166-1173.

Erkens, G., Van Der Meulen, M. J. & Middelkoop, H. (2016). Double trouble: Subsidence and CO<sub>2</sub> respiration due to 1,000 years of Dutch coastal peatlands cultivation. *Hydrogeology Journal*, 24(3), 551-568.

Esposito, C., Nijman, T.P.A., Veraart, A.J., Audet, J., Levi, E.E., Lauridsen, T.L. & Davidson, T.A. (2023). Activity and abundance of methane-oxidizing bacteria on plants in experimental lakes subjected to different nutrient and warming treatments. *Aquatic Botany* 185, 103610.

Forster, P., Storelvmo, T., Armour, K., Collins, W., Dufresne, J.-L., Frame, D., ... Zhao, S. (2021). The Earth's energy budget, climate feedbacks and climate sensitivity. In: IPCC (Red.). *Climate Change 2021. The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, 923-1054.

Friedlingstein, P., Jones, M.W., O'Sullivan, M., Andrew, R.M., Bakker, D.C.E., Hauck, J., ... Zeng, J. (2022). Global Carbon Budget 2021. *Earth System Science Data* 14(4), 1917-2005.

Fritz, C., Lamers, L.P.M., Van Dijk, G., Smolders, A.J.P. & Joosten, H. (2014). Paludicultuur - kansen voor natuurontwikkeling en landschappelijke bufferzones op natte gronden. *Vakblad Natuur Bos en Landschap* 105(5), 4-9.

Günther, A., Barthelmes, A., Huth, V., Joosten, H., Juransinski, G., Koebisch, F. & Couwenberg, J. (2020). Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions. *Nature Communications*, 11(1), 1644.

Harpenslager, S.F., Van Dijk, G., Boonman, J., Weideveld, S.T., Van de Riet, B.P., Hefting, M.M. & Smolders, A.J. (2024a). Rewetting drained peatlands through subsoil infiltration stabilises redox-dependent soil carbon and nutrient dynamics. *Geoderma*, 442, 116787.

Harpenslager, S.F., Van Dijk, G., Smolders, A.J.P., Van Duinen, G.A., Fritz, C. & Kosten, S. (2024b). Effecten van natuurherstel op de broeikasgasbalans van natuurgebieden. Een eerste stap richting kengetallen. Onderzoekcentrum B-WARE. Rapport RP-23.116.23.75.

Hendriks, L., Weideveld, S.T.J., Fritz, C., Stepina, T., Aben, R., Fung, N.E. & Kosten, S. (2024). Drainage ditches are year-round greenhouse gas hotlines in temperate peat landscapes. *Freshwater Biology*, 69(1), 143-156.

Herbert, E.R., Boon, P., Burgin, A.J., Neubauer, S.C., Franklin, R.B., Ardón, M., ... Gell, P. (2015). A global perspective on wetland salinization: ecological consequences of a growing threat to freshwater wetlands. *Ecosphere*, 6(10), 1-43.

KNMI (2021). *KNMI Klimaatsignaal'21: hoe het klimaat in Nederland snel verandert*. KNMI.

Koschorreck, M., Downing, A.S., Hejzlar, J., Marcé, R., Laas, A., Arndt, W.G., ... Korsten, S. (2020). Hidden treasures: Human-made aquatic ecosystems harbour unexplored opportunities. *Ambio*, 49(2), 531-540.

Leifeld, J. & Menichetti, L. (2018). The underappreciated potential of peatlands in global climate change mitigation strategies. *Nature Communications* 9(1), 1071.

Peacock, M., Audet, J., Bastviken, D., Futter, M.N., Gauci, V., Grinham, A., ... Evans, C.D. (2021). Global importance of methane emissions from drainage ditches and canals. *Environmental Research Letters*, 16(4), 044010.

Richardson, T. (2023). *Klimaatsslim natuurbeheer: kentallen en beheeropties voor natte natuur op veenbodems en in kwelders*. Natuurmonumenten.

Schep, S.A., Kox, M., Troost, T., De Rijk, S., Brederveld, R.J., Van Dijk, G., ... Slagter, L. (2023). *BlueCAN: Helder water voor het klimaat. Resultaten van drie jaar onderzoek*. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA). Rapport 2023-13.

Temminck, R.J., Lamers, L.P.M., Angelini, C., Bouma, T., Fritz, C., Van de Kopel, J., ... Van der Heide, T. (2022). Recovering wetland biogeomorphic feedbacks to restore the world's biotic carbon hotspots. *Science* 376(6593).

Temminck, R.J., Robroek, B.J.M., Van Dijk, G., Koks, A.H.W., Käärmelahti, S.A., Barthelmes, A., ... Smolders, A.J.P. (2023). Wetscapes: Restoring and maintaining peatland landscapes for sustainable futures. *Ambio* 52, 1519-1528.

Tiemeyer, B., Freibauer, A., Borraz, E. A., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., ... Dröslér, M. (2020). A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. *Ecological Indicators* 109, 105838.

Van Dijk, G. (2017). *Peatlands affected by biogeochemical stressors*. Onderzoekcentrum B-WARE & Radboud Universiteit. PhD-thesis.

Van Dijk, G., Smolders, A.J.P., Van 't Veer, R., Loeb, R., Lamers, L.P.M., Nijp, J.J., ... Westendorp, P.-J. (2020). De toekomst van voormalige brakwatervenen. De abiotische effecten van verhoogde zoutconcentraties. *Landschap* 2020(3), 20-27.

Weideveld, S.T.J., Liu, W., Van Den Berg, M., Lamers, L.P.M. & Fritz, C. (2021). Conventional subsoil irrigation techniques do not lower carbon emissions from drained peat meadows. *Biogeosciences*, 18(12), 3881-3902.

Wichtmann, W., Schröder, C. & Joosten, H. (2016). *Paludiculture-productive use of wet peatlands: climate protection-biodiversity-regional economic benefits*. Schweizerbart Science Publishers.

Wilson, D., Farrell, C.A., Fallon, D., Mosler, G. Müller, C. & Renou-Wilson, F. (2016). Multiyear greenhouse gas balances at a rewetted temperate peatland. *Global Change Biology* 22(12), 4080-4095.